Strategi R&D IT Mandiri untuk Kedaulatan Teknologi Republik:

Pengalaman Onno W. Purbo

Buku ini Fokus pada:
Strategi Teknologi
Kebijakan Teknologi
Bukan Teknologi itu sendiri

Onno W. Purbo
onno@indo.net.id
Twitter : onnowpurbo

Institut Teknologi Tangerang Selatan
2025

Daftar Isi

Daftar Isi **2**
Kata Pengantar **5**
Disclaimer **6**
BAB: Falsafah Kemandirian Teknologi **7**
Prinsip Dasar 7
Tujuan 10
Pilar Strategi 11
BAB: Fondasi Internet Indonesia – Awal Perjuangan **13**
Inovasi 14
Dampak 17
Strategi 20
BAB: RT/RW-net – Revolusi Jaringan Komunitas **22**
Topologi 23
Perjuangan 24
Inovasi 27
Dampak 30
Strategi 33
BAB: Wajanbolic – Ikon Inovasi Teknologi Murah **37**
Skema Wajanbolic 37
Inovasi 39
Dampak 40
Strategi 42
BAB: VoIP Rakyat – Komunikasi Digital untuk Semua **45**
Topologi 45
Perjuangan 46
Inovasi 49
Dampak 50
Strategi 52
BAB: OpenBTS dan Jaringan Seluler Komunitas **54**
Topologi 54
Perjuangan 55
Inovasi 58
Dampak 60
Strategi 62
BAB: Keamanan Siber – Membangun Benteng Digital **64**
Inovasi 65
Perusahaan Keamanan Siber Lokal: Pilar Kemandirian Teknologi 65
XecureIT 65
Cyber Army Indonesia 65
Solusi Intek Indonesia 66
Riset dan Edukasi: Menyiapkan SDM untuk Masa Depan Siber 66
Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS) 66

OnnoCenter....67
Inovasi Teknologi dan Regulasi sebagai Fondasi Ekosistem....67
Riset dan Edukasi Keamanan Siber....69
Inovasi Teknologi Tambahan....69
Dampak....70
Strategi....73
Tahap 1: Pengembangan dan Distribusi Konten Edukasi Open-Source....73
Tahap 2: Penguatan Interaksi Komunitas melalui Media Sosial....73
Tahap 3: Perluasan Kolaborasi dengan Universitas dan Komunitas Lokal....74
Tahap 4: Evaluasi, Skalabilitas, dan Keberlanjutan (2027)....74
Ringkasan Estimasi....75
BAB: AI Mandiri – Dari Machine Learning ke LLM Lokal....76
Inovasi....76
Aplikasi AI, LLM, dan Machine Learning di Indonesia....77
Dataset untuk AI dan LLM....77
Hardware dan Server GPU Lokal....78
Inovasi dalam Pengembangan AI dan LLM....79
Evaluasi Kritis dan Rekomendasi....79
Dampak....81
Strategi....84
Tahap 1: Pengembangan R&D Berbasis Kebutuhan Lokal....84
Tahap 2: Kolaborasi Akademisi dan Industri....84
Tahap 3: Publikasi Pengetahuan melalui Buku, Kursus, dan Video....85
Tahap 4: Evaluasi, Skalabilitas, dan Keberlanjutan....85
Ringkasan Estimasi....86
BAB: Internet Offline – Pustaka Digital untuk Pendidikan....87
Inovasi....88
Dampak....90
Dampak pada Akses Pendidikan Digital di Daerah Terpencil....91
Pemberdayaan Guru melalui Pelatihan ICT....91
Tantangan dan Rekomendasi....91
Strategi....92
Tahap 1: Pengembangan dan Uji Coba Teknologi Sederhana....92
Tahap 2: Ekspansi dan Integrasi dengan Kurikulum Lokal....93
Tahap 3: Skalabilitas dan Keberlanjutan....94
Tahap 4: Evaluasi dan Replikasi Nasional....95
Ringkasan Estimasi....95
Evaluasi Kritis....96
Tantangan:....96
Rekomendasi:....96
Kesimpulan....96
BAB: Ekosistem Akademik dan Kolaborasi Global....98
Case Study Dampak....98
Strategi....100

BAB: Roadmap Kedaulatan Teknologi Nasional.....102
Blueprint R&D Mandiri.....103
Tahapan Strategis Blueprint R&D Mandiri.....103
Rekomendasi Strategi untuk Pemangku Kepentingan.....104
Peneguhan Visi: Menuju Kedaulatan Digital Indonesia.....104
BAB: Kemungkinan Pengembangan Teknologi Pertahanan Cyber Indonesia..... 106
Teknologi Pertahanan Siber: Potensi dan Tantangan..... 106
Teknologi Cyber Defence Existing.....106
Potensi Pengembangan Teknologi Berbasis AI dan Machine Learning.....107
Tantangan Teknis: Infrastruktur, Interoperabilitas, dan Skalabilitas.....108
Studi Kasus: Kebocoran Data dan Serangan Ransomware di Indonesia..... 109
Penguatan Sumber Daya Manusia (SDM) Keamanan Siber..... 110
Kesenjangan SDM Keamanan Siber.....110
Program Pelatihan dan Pendidikan Formal..... 111
Kolaborasi Universitas dan Sektor Swasta untuk Pengembangan Keterampilan.... 113
Strategi Kolaborasi untuk Pengembangan Teknologi.....116
Peran Pemerintah: Kebijakan dan Regulasi.....116
Kemitraan dengan Akademisi untuk Riset dan Inovasi..... 118
Kolaborasi Internasional: Transfer Teknologi dan Best Practices..... 120
Keterlibatan Sektor Swasta dalam Pendanaan dan Implementasi..... 122
Advokasi Kebijakan dan Dukungan Infrastruktur..... 124
Optimalisasi Kebijakan Spektrum dan Lisensi Teknologi..... 124
Penguatan Infrastruktur Kritis Nasional (Misalnya, Pusat Data)..... 126
Harmonisasi Regulasi Siber Lintas Sektor.....128
Insentif untuk Pengembangan Teknologi Siber Lokal..... 130
Implementasi dan Model Keberlanjutan.....132
Pengembangan Teknologi Siber Berbasis Open-Source.....132
Model Bisnis untuk Keberlanjutan: Langganan Mikro dan CSR.....133
Penerapan di Wilayah 3T untuk Ketahanan Siber Nasional..... 134
Evaluasi dan Pemantauan Dampak Teknologi Pertahanan Siber.....135
Kesimpulan dan Rekomendasi.....136
Visi Jangka Panjang: Indonesia sebagai Pusat Keamanan Siber ASEAN..... 137
BAB: Penutup.....138
Referensi.....140
Lampiran: Daftar Publikasi Onno W. Purbo.....142
Lampiran: Daftar Penghargaan.....147
Glosarium..... 149
Tentang Penulis.....151

Kata Pengantar

Lebih dari tiga dekade telah saya jalani dalam perjuangan membangun teknologi berbasis rakyat—perjalanan panjang yang dimulai dari eksperimen kecil di garasi rumah, menjadi jaringan komunitas RT/RW-net, hingga panggung global seperti World Summit on the Information Society (WSIS) dan Harvard University. Dari wajan bekas yang dijadikan antena WiFi, hingga server offline yang menyebarkan pengetahuan digital ke pelosok desa—semua lahir dari **keyakinan bahwa teknologi harus membebaskan, bukan membatasi**.

Buku ini hadir sebagai **refleksi 30+ tahun perjalanan itu**. Namun perlu saya sampaikan sejak awal, **ini bukanlah buku teknis**. Anda tidak akan menemukan uraian rinci tentang kode atau konfigurasi. Buku ini lebih dalam daripada sekadar teknologi. **Ini adalah buku strategi.** Sebuah peta jalan tentang bagaimana **kita sebagai bangsa bisa membangun R&D IT mandiri**, berbasis kebutuhan lokal, dengan semangat berbagi pengetahuan dan pemberdayaan komunitas.

Dalam lembar-lembar berikut, Anda akan menemukan kisah perjuangan teknologi rakyat: dari **RT/RW-net**, **VoIP berbasis open source**, **wajanbolic**, hingga proyek **Internet OFFLINE** dan **AI lokal** yang kini mulai berkembang. Tapi lebih penting dari teknologinya adalah **falsafah yang melandasi semua ini**: bahwa **solusi terbaik sering lahir dari keterbatasan**, dan keterbatasan bukanlah alasan untuk menyerah—melainkan **pemicu kreativitas**.

Visi buku ini jelas:

- **Mendokumentasikan strategi R&D IT mandiri** berbasis pengalaman nyata di lapangan.
- **Menginspirasi generasi muda dan pelaku kebijakan** untuk menjadikan inovasi sebagai alat pembebasan sosial.
- **Menyusun blueprint masa depan** demi mencapai kedaulatan teknologi yang sejati.

Saya menyadari bahwa tidak semua aktivis, kegiatan, dan inovasi penting dalam ekosistem R&D IT Indonesia dapat tertuang dalam buku ini. Keterbatasan waktu penulisan menjadi tantangan tersendiri. Karena itu saya mohon maaf bila banyak kontribusi luar biasa dari rekan-rekan yang belum tersentuh di sini. Namun saya percaya, semangatnya tetap utuh.

Buku ini mengajak kita untuk berhenti menjadi konsumen teknologi dan mulai menjadi **pengelola, pencipta, dan penggerak teknologi**. Di era ketika digitalisasi dibentuk oleh platform luar, kedaulatan teknologi tidak bisa ditunda. Ia harus dibangun dari bawah, oleh rakyat, dengan strategi yang berpihak pada keberdayaan lokal.

Saya berharap buku ini bisa menjadi referensi, inspirasi, dan—yang terpenting—**pemicu keberanian**. Keberanian untuk berpikir berbeda. Keberanian untuk berbagi. Dan keberanian untuk memperjuangkan masa depan digital Indonesia yang lebih mandiri, adil, dan berdaulat.

Selamat membaca, dan mari bergerak bersama

Jakarta, May 2025

Onno W. Purbo

Disclaimer

Kami menyadari bahwa tidak semua tokoh, aktivitas, dan kontribusi penting dalam ekosistem R&D IT Indonesia dapat terakomodasi dalam buku ini, mengingat keterbatasan waktu penulisan yang sangat singkat. Untuk itu, kami mohon pengertian dan apresiasi atas semangat kolektif yang tetap menjadi fondasi buku ini.

BAB: Falsafah Kemandirian Teknologi

Pada akhir abad ke-20, Indonesia menghadapi tantangan besar dalam membangun ekosistem teknologi informasi yang merata dan mandiri. Infrastruktur telekomunikasi dan Internet sangat terbatas, terutama di luar kota-kota besar, dengan sebagian besar wilayah pedesaan nyaris tidak memiliki akses ke jaringan komunikasi modern. Anggaran pemerintah untuk pengembangan teknologi juga minim, diperparah oleh krisis ekonomi pasca-1998, yang membuat investasi dalam infrastruktur canggih menjadi kemewahan yang sulit dijangkau. Di sisi lain, ketergantungan pada teknologi asing, seperti perangkat lunak proprietary dan perangkat keras impor, menciptakan hambatan finansial dan intelektual, di mana solusi teknologi sering kali tidak sesuai dengan kebutuhan lokal dan mahal untuk diadopsi secara luas. Dalam konteks inilah Onno W. Purbo muncul sebagai pelopor teknologi rakyat, dengan visi untuk mendemokratisasi akses teknologi melalui solusi yang murah, berbasis komunitas, dan mandiri. Berbekal pengalaman akademik dari ITB dan Ph.D. dari University of Waterloo, Onno tidak hanya melihat tantangan ini sebagai hambatan, tetapi sebagai peluang untuk menciptakan inovasi yang berpijak pada realitas Indonesia. Ia memimpin koneksi Internet pertama di ITB pada 1993 menggunakan teknologi sederhana seperti packet radio, memperkenalkan konsep WARNET untuk akses Internet murah, dan mengadvokasi liberalisasi pita WiFi 2.4 GHz. Melalui pendekatan open source dan kolaborasi komunitas, Onno berhasil mengubah paradigma bahwa teknologi canggih hanya milik elit, menjadikannya alat pemberdayaan rakyat yang dapat diakses oleh desa-desa terpencil hingga perkotaan, sekaligus meletakkan fondasi untuk kedaulatan teknologi nasional.



Prinsip Dasar

Pada inti perjuangan Onno W. Purbo dalam membangun kedaulatan teknologi Indonesia terdapat prinsip dasar yang kokoh: teknologi harus lahir dari kebutuhan masyarakat, berpijak pada realitas lokal, dan dapat diakses secara bebas oleh semua kalangan. Prinsip ini diwujudkan

melalui pendekatan open source dan copyleft, yang memastikan bahwa setiap inovasi tidak hanya tersedia tanpa biaya, tetapi juga dapat dimodifikasi dan disebarluaskan tanpa batasan oleh komunitas. Di awal 1990-an, ketika infrastruktur Internet di Indonesia masih sangat terbatas, Onno menyadari bahwa solusi teknologi tidak boleh bergantung pada produk proprietary yang mahal. Sebaliknya, ia memilih untuk memanfaatkan perangkat lunak bebas seperti Linux dan protokol terbuka untuk membangun jaringan pendidikan di Institut Teknologi Bandung (ITB). Pendekatan ini memungkinkan komunitas untuk mengadaptasi teknologi sesuai kebutuhan lokal, seperti saat ia mengembangkan jaringan berbasis packet radio AX.25 dengan perangkat sederhana seperti PC 286 bekas, menunjukkan bahwa teknologi rakyat dapat mengatasi keterbatasan infrastruktur.

Keterbatasan sumber daya, yang sering dianggap sebagai hambatan, justru menjadi katalis inovasi dalam filosofi Onno. Di tengah anggaran minim dan akses terbatas ke teknologi canggih, ia melihat peluang untuk menciptakan solusi kreatif yang murah dan praktis. Salah satu contoh nyata adalah pengembangan Wajanbolic, antena WiFi berbasis wajan dapur yang dirancang untuk memperluas jangkauan RT/RW-net. Dengan hanya bermodalkan bahan lokal seperti wajan dan pipa PVC, Onno dan komunitas berhasil menghubungkan ribuan desa ke Internet, membuktikan bahwa keterbatasan finansial dan teknis dapat diatasi dengan kreativitas dan pemikiran out-of-the-box. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan solusi yang terjangkau, tetapi juga menginspirasi masyarakat untuk percaya bahwa mereka mampu membangun teknologi sendiri tanpa ketergantungan pada pihak eksternal. Keterbatasan, dalam pandangan Onno, bukanlah akhir, melainkan awal dari inovasi yang berpijak pada realitas lokal.

Tulang punggung dari semua upaya ini adalah ekosistem diskusi, berbagi, dan kolaborasi yang dibangun melalui komunitas yang inklusif dan terbuka. Onno memahami bahwa inovasi tidak dapat terjadi dalam isolasi; ia memerlukan pertukaran ide yang dinamis antara mereka yang membutuhkan solusi dan mereka yang memiliki keahlian teknis. Sejak awal, ia memanfaatkan milis seperti telematika@yahoogroups.com dan indowli@yahoogroups.com untuk memfasilitasi diskusi teknis dan advokasi, seperti saat kampanye liberalisasi pita 2.4 GHz yang berhasil pada 2005. Ekosistem ini diperkuat dengan workshop intensif—sering kali 2–3 kali seminggu—serta publikasi buku dan e-book gratis seperti “VoIP Cookbook”. Melalui platform seperti lms.onnocenter.or.id dan YouTube OnnoCenter, yang kini memiliki 60.000+ pelanggan, Onno terus menyebarkan pengetahuan kepada 38.000+ peserta kursus daring dan 8.000+ guru. Kolaborasi lintas komunitas, akademisi, dan bahkan mitra internasional seperti IDRC Kanada dan ISIF Asia, memungkinkan replikasi solusi di berbagai negara, dari Bhutan hingga Afrika Selatan. Ekosistem ini tidak hanya menghasilkan teknologi, tetapi juga membangun SDM yang mandiri, mampu mengembangkan dan mengelola teknologi sesuai kebutuhan bangsa.

Ketiga prinsip ini—teknologi berbasis kebutuhan masyarakat, keterbatasan sebagai katalis, dan ekosistem kolaborasi—saling terhubung dan membentuk fondasi yang kokoh untuk R&D IT mandiri. Pendekatan open source dan copyleft menjamin akses universal, keterbatasan mendorong solusi kreatif seperti Wajanbolic dan VoIP Rakyat, dan ekosistem berbagi memastikan bahwa pengetahuan menyebar luas, dari desa terpencil hingga forum internasional seperti WSIS dan IETF. Narasi Onno W. Purbo adalah bukti bahwa kedaulatan teknologi dapat dicapai dengan memprioritaskan rakyat sebagai pusat inovasi, mengubah keterbatasan menjadi peluang, dan membangun komunitas yang saling mendukung.

Prinsip-prinsip ini tidak hanya relevan untuk masa lalu, tetapi juga menjadi panduan bagi generasi mendatang dalam menciptakan Indonesia yang merdeka secara digital.

Berikut adalah **ringkasan / kesimpulan** dalam bentuk tabel:

Aspek	Penjelasan
Prinsip Dasar	Teknologi harus berbasis kebutuhan masyarakat, berpijak pada realitas lokal, dan dapat diakses bebas oleh semua kalangan. Diterapkan melalui pendekatan open source dan copyleft.
Pendekatan Awal	Menggunakan perangkat lunak bebas (Linux) dan protokol terbuka. Contoh: jaringan pendidikan ITB berbasis AX.25 dengan PC 286 bekas.
Peran Keterbatasan	Keterbatasan dianggap sebagai pemicu inovasi, bukan hambatan. Contoh: Wajanbolic (antena WiFi dari wajan dan pipa PVC) yang memungkinkan ribuan desa terhubung ke Internet melalui RT/RW-net.
Inovasi Mandiri	Solusi seperti Wajanbolic, VoIP Rakyat, dan jaringan murah lainnya menunjukkan bahwa masyarakat bisa membangun teknologi sendiri tanpa ketergantungan pada teknologi mahal atau asing.
Ekosistem Kolaborasi	Inovasi ditopang oleh komunitas terbuka dan aktif: milis (telematika, indowli), workshop rutin, buku dan e-book gratis, serta platform daring (lms.onnocenter.or.id, YouTube OnnoCenter). Kolaborasi dengan akademisi dan mitra internasional mendukung penyebaran solusi.
Dampak & Replikasi Global	Solusi yang dikembangkan berhasil direplikasi di berbagai negara seperti Bhutan, Nepal, dan Afrika Selatan, menunjukkan kekuatan pendekatan lokal yang terbuka dan kolaboratif.
Kesimpulan Utama	Teknologi berbasis rakyat, keterbatasan sebagai peluang, dan ekosistem kolaboratif membentuk pondasi kokoh untuk R&D IT mandiri. Prinsip ini membuktikan bahwa Indonesia bisa merdeka secara digital melalui kekuatan komunitas dan pengetahuan terbuka.

Tujuan

Tujuan utama perjuangan Onno W. Purbo adalah **merumuskan strategi penelitian dan pengembangan (R&D) IT yang mandiri untuk mewujudkan kedaulatan teknologi Indonesia—membebaskan bangsa dari ketergantungan terhadap solusi asing yang mahal dan kerap tidak relevan dengan kebutuhan lokal.** Strategi ini menekankan pentingnya pengembangan teknologi berbasis realitas masyarakat, seperti akses Internet murah, komunikasi hemat biaya, dan pendidikan digital inklusif, dengan memanfaatkan sumber daya terbatas secara inovatif dan efisien. Melalui pendekatan open source dan copyleft, Onno membangun ekosistem terbuka di mana inovasi dapat diakses, dimodifikasi, dan diimplementasikan secara luas—baik oleh komunitas pedesaan maupun institusi akademik.



Langkah awal dari strategi ini adalah mendokumentasikan praktik nyata yang telah berhasil, seperti RT/RW-net, antena Wajanbolic, dan VoIP Rakyat—yang telah menghubungkan ribuan desa dan memungkinkan jutaan menit komunikasi gratis. Tujuan berikutnya yang tak kalah penting adalah menyediakan panduan praktis agar solusi ini dapat direplikasi oleh komunitas lain di seluruh Indonesia. Onno mewujudkannya melalui publikasi buku gratis seperti *“VoIP Cookbook”*, penyelenggaraan workshop teknis intensif, dan pengembangan platform pembelajaran daring seperti lms.onnocenter.or.id, yang kini telah menjangkau lebih dari 38.000 peserta dan 8.000 guru.

Panduan ini tidak hanya berisi langkah-langkah teknis seperti cara merakit antena Wajanbolic atau membangun server Internet offline, tetapi juga menanamkan nilai kolaborasi komunitas sebagai fondasi keberlanjutan. Melalui pendekatan ini, Onno tidak sekadar menciptakan teknologi yang mandiri, tetapi juga memberdayakan masyarakat untuk menjadi produsen teknologi—menjadikan kedaulatan digital sebagai gerakan kolektif yang berpijak pada kekuatan rakyat, bukan pada ketergantungan.

Pilar Strategi

Strategi pengembangan teknologi mandiri yang dipelopori Onno W. Purbo bertumpu pada tiga pilar utama: solusi kreatif dengan teknologi sederhana dan murah, kolaborasi lintas komunitas, akademisi, dan pemerintah, serta edukasi terbuka untuk memperkuat sumber daya manusia (SDM). **Pilar pertama, solusi kreatif dengan teknologi sederhana dan murah,** lahir dari realitas Indonesia yang penuh keterbatasan—anggaran minim, infrastruktur terbatas, dan ketergantungan pada teknologi asing. Onno mengubah tantangan ini menjadi peluang dengan menciptakan inovasi seperti Wajanbolic, antena WiFi berbasis wajan dapur yang hanya membutuhkan bahan lokal seperti pipa PVC, atau RT/RW-net, jaringan nirkabel komunitas yang lebih dari 60.000+ community network dan 3.000 desa tanpa dukungan operator besar. Pendekatan ini kritis karena menantang paradigma bahwa teknologi canggih harus mahal dan impor; namun, tantangannya terletak pada skalabilitas dan pemeliharaan jangka panjang, di mana solusi sederhana seringkali kekurangan dukungan teknis formal. Meski demikian, keberhasilan Wajanbolic dan VoIP Rakyat, yang menyediakan jutaan menit panggilan gratis, membuktikan bahwa teknologi rakyat dapat bersaing dengan solusi komersial, asalkan didukung oleh kreativitas dan adaptasi lokal.



Pilar kedua, kolaborasi lintas komunitas, akademisi, dan pemerintah, menjadi tulang punggung keberlanjutan dan dampak luas dari strategi Onno. Ia memahami bahwa inovasi tidak dapat berkembang dalam isolasi, sehingga ia membangun ekosistem kolaboratif yang inklusif. Komunitas seperti pengguna milis telematika@yahoogroups.com dan indowli@yahoogroups.com memainkan peran kunci dalam advokasi liberalisasi pita 2.4 GHz pada 2005, sementara kolaborasi dengan akademisi di ITB, UI, dan ITTS menghasilkan riset seperti pengembangan OpenBTS dan AI lokal. Dukungan pemerintah, meski sering

terlambat, terlihat pada Kepmen Kominfo 5/2016 yang mendukung uji coba OpenBTS, serta keterlibatan DISKOMINFO Tangerang Selatan dalam evolusi ke 5G komunitas. Secara internasional, kerja sama dengan IDRC Kanada dan ISIF Asia memungkinkan Onno berbagi pengalaman di 30+ negara. Namun, kolaborasi ini tidak tanpa kritik: koordinasi lintas sektor sering kali terhambat oleh birokrasi, kepentingan komersial, dan kurangnya visi bersama. Keberhasilan Onno terletak pada kemampuannya memobilisasi komunitas grassroots untuk menciptakan tekanan publik, seperti saat kampanye WiFi, tetapi tantangan ke depan adalah memastikan pemerintah dan swasta lebih proaktif mendukung inisiatif berbasis rakyat tanpa mengkomersialkannya secara berlebihan.

Pilar ketiga, edukasi terbuka untuk memperkuat SDM, adalah investasi jangka panjang Onno dalam membangun kapasitas bangsa. Ia menyadari bahwa teknologi mandiri hanya berkelanjutan jika didukung oleh SDM yang kompeten dan berdaya. Melalui platform seperti lms.onnocenter.or.id, yang melayani 65.000+ peserta dengan 700+ kursus, dan opencourse.itts.ac.id, Onno menyediakan akses gratis ke pengetahuan teknis, dari keamanan siber hingga AI. Lebih dari 8.000 guru di 40+ kota telah dilatih melalui workshop swadaya, sementara 3.400+ video di YouTube OnnoCenter (dengan 204.000+ pelanggan) menjawab pertanyaan teknis secara langsung. Pendekatan ini kritis karena menantang sistem pendidikan formal yang sering kali lambat beradaptasi dengan kebutuhan teknologi, seperti saat ICT dihapus dari kurikulum sekolah pada 2013. Namun, edukasi terbuka menghadapi tantangan seperti ketimpangan akses digital di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal) dan keberlanjutan pendanaan swadaya. Solusi Onno, seperti Internet Offline untuk perpustakaan digital di sekolah terpencil, menunjukkan komitmennya untuk inklusivitas, tetapi keberhasilan penuh memerlukan dukungan sistemik dari pemerintah untuk infrastruktur dan pelatihan berkelanjutan.

Ketiga pilar ini saling memperkuat: **solusi kreatif menyediakan teknologi yang terjangkau, kolaborasi memastikan adopsi dan dukungan luas, dan edukasi terbuka membangun SDM yang mampu mengelola dan mengembangkan teknologi tersebut.** Secara kritis, strategi ini berhasil karena berpijak pada kebutuhan rakyat dan memanfaatkan keterbatasan sebagai pendorong inovasi, seperti terlihat pada keberhasilan OpenBTS di Papua dan LLM lokal oleh ITTS. Namun, tantangan seperti birokrasi, kesenjangan digital, dan keberlanjutan pendanaan menunjukkan bahwa kedaulatan teknologi memerlukan komitmen kolektif yang lebih besar dari semua pemangku kepentingan. Pendekatan Onno W. Purbo menawarkan model yang inspiratif namun realistis: teknologi untuk rakyat hanya dapat tercapai melalui kreativitas, kolaborasi, dan pemberdayaan SDM yang inklusif dan terbuka.

BAB: Fondasi Internet Indonesia – Awal Perjuangan

Pada awal 1990-an, Indonesia menghadapi keterbatasan ekstrem dalam infrastruktur teknologi informasi, di mana akses Internet nyaris tidak ada, terutama di luar pusat kota besar seperti Jakarta dan Bandung. Telekomunikasi masih bergantung pada saluran telepon mahal dan jaringan X.25 yang lambat, sementara anggaran untuk inovasi teknologi sangat terbatas, membuat Indonesia tertinggal jauh dalam revolusi digital global. Dalam konteks inilah Onno W. Purbo, bersama sekelompok visioner teknologi seperti M. Samik-Ibrahim, Suryono Adisoemarta, Muhammad Ihsan, dan Robby Soebiakto, mempelopori koneksi Internet pertama di Institut Teknologi Bandung (ITB) antara 1993 hingga 2000, meletakkan fondasi untuk jaringan pendidikan nasional. Inovasi mereka berpusat pada pengembangan jaringan berbasis packet radio AX.25 dengan kecepatan hanya 1200 bps, menggunakan perangkat sederhana seperti PC 286 bekas dan walkie-talkie pada pita 2 meter—teknologi yang dioperasikan tanpa izin frekuensi resmi, mencerminkan keberanian dan semangat eksperimental paguyuban network. Semangat gotong royong ini, yang dikenal sebagai “paguyuban network,” menjadi ciri khas awal Internet Indonesia, di mana kolaborasi antar penggiat teknologi, amatir radio, dan akademisi mendorong terobosan di tengah keterbatasan. Inspirasi teknis berasal dari komunitas amatir radio ITB sejak 1986, dengan tokoh seperti Robby Soebiakto (YB1BG) yang memperkenalkan protokol TCP/IP melalui jaringan Bulletin Board System (BBS) global, serta mendorong Onno untuk mendalami TCP/IP saat berada di Kanada. Jaringan ini menghubungkan ITB dengan lembaga seperti BPPT, LAPAN, dan UI melalui packet radio, dengan gateway awal di BPPT dan LAPAN yang didukung oleh DLR Jerman. Meskipun sederhana, inovasi ini memungkinkan komunikasi data lintas lembaga dan bahkan lintas negara, seperti antara Indonesia dan Kanada melalui satelit OSCAR. Dokumentasi perjuangan ini, sebagian diambil dari penelitian Dr. Joshua Barker dan Dr. Merlyna Lim melalui proyek Social Construction of Technology (SCoT), diabadikan dalam Wikibook Sejarah Internet Indonesia, yang dimulai di id.wikibooks.org dan kemudian dipindahkan ke wikihost.org serta SpeedyWiki pada 2007. Namun, tantangan seperti kurangnya pengakuan resmi dari platform seperti Wikibooks dan keterbatasan infrastruktur digital untuk dokumentasi daring menunjukkan bahwa perjuangan tidak hanya teknis, tetapi juga kultural. Keberhasilan awal ini, yang dilaporkan di media seperti KOMPAS pada 1990–1991 dan Majalah Elektron ITB, membuktikan bahwa semangat komunitas dan pendekatan open source mampu mengatasi keterbatasan, menciptakan fondasi untuk Internet Indonesia yang lebih inklusif dan mandiri, meskipun perjalanan menuju komersialisasi di kemudian hari mulai menggeser semangat paguyuban ke arah individualisme.



Inovasi



Pada awal 1990-an, ketika infrastruktur teknologi di Indonesia masih sangat terbatas dan akses Internet hanya sebatas wacana, Onno W. Purbo bersama tim di Institut Teknologi Bandung (ITB) memulai langkah berani yang kelak menjadi fondasi bagi jaringan pendidikan nasional. Dengan kondisi yang serba minim, mereka memanfaatkan teknologi packet radio AX.25—sistem komunikasi data berbasis amatir radio yang hanya mampu mentransfer informasi pada kecepatan 1200 bps. Menggunakan komputer bekas PC 286 dan perangkat walkie-talkie di pita 2 meter, mereka berhasil menghubungkan berbagai institusi seperti ITB, BPPT, LAPAN, dan UI melalui protokol TCP/IP di atas AX.25. Salah satu komponen penting yang mereka gunakan adalah Terminal Node Controller (TNC) milik Muhammad Ihsan dari LAPAN, yang memungkinkan integrasi perangkat keras sederhana ke dalam jaringan data yang efisien.



Jaringan ini, yang dikenal dengan nama “paguyuban network,” tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga simbol semangat kolaborasi antara akademisi dan praktisi teknologi. Meskipun terbatas dalam kecepatan dan sering mengalami gangguan, sistem ini menunjukkan bahwa kreativitas dan gotong royong mampu menembus batas teknologi formal. Namun, keterbatasan teknis ini juga mendorong Onno untuk terus mencari pendekatan yang lebih maju dan berdaya jangkau luas.

Salah satu terobosan signifikan datang pada akhir 1990-an dengan pengembangan jaringan berbasis WaveLAN sebagai bagian dari inisiatif Paguyuban Network. Menggunakan kartu nirkabel pada frekuensi 2.4 GHz dengan kecepatan hingga 2 Mbps, sistem ini beroperasi dengan bantuan perangkat Karlbridge dan Karlnet. WaveLAN menjadi pionir konektivitas WiFi outdoor di Indonesia, memungkinkan koneksi nirkabel antar gedung di lingkungan ITB tanpa perlu menarik kabel fisik. Namun karena frekuensi 2.4 GHz belum dilegalkan pada saat itu, eksperimen ini sempat menempatkan Onno dalam posisi berisiko secara hukum, menandai keberaniannya dalam menantang batas-batas kebijakan demi kemajuan teknologi lokal.



Lompatan besar lainnya terjadi pada tahun 1996, ketika Onno menjalin kerja sama dengan dua tokoh dari Jepang, Suguru Yamaguchi dan Jun Murai dari WIDE Project. Melalui program Asia Internet Interconnection Initiatives (AI3), ITB berhasil mendapatkan koneksi satelit JCSat dengan bandwidth sebesar 1.5 Mbps—yang saat itu merupakan kecepatan luar biasa di Indonesia. Koneksi ini menjadikan ITB simpul utama dalam jaringan pendidikan nasional dan memungkinkan lebih dari 25 institusi terhubung melalui AI3 Indonesia pada periode 1997–1998. Selain mempercepat diseminasi pengetahuan, koneksi ini juga menyediakan akses Internet gratis bagi komunitas akademik.

Namun, seiring manfaat besar yang ditawarkan, proyek satelit ini juga menghadirkan tantangan baru, seperti tingginya biaya operasional dan ketergantungan terhadap mitra luar negeri. Hal ini mempertegas pentingnya investasi lokal dan regulasi frekuensi nasional agar infrastruktur teknologi strategis dapat berdiri secara mandiri dan berkelanjutan.

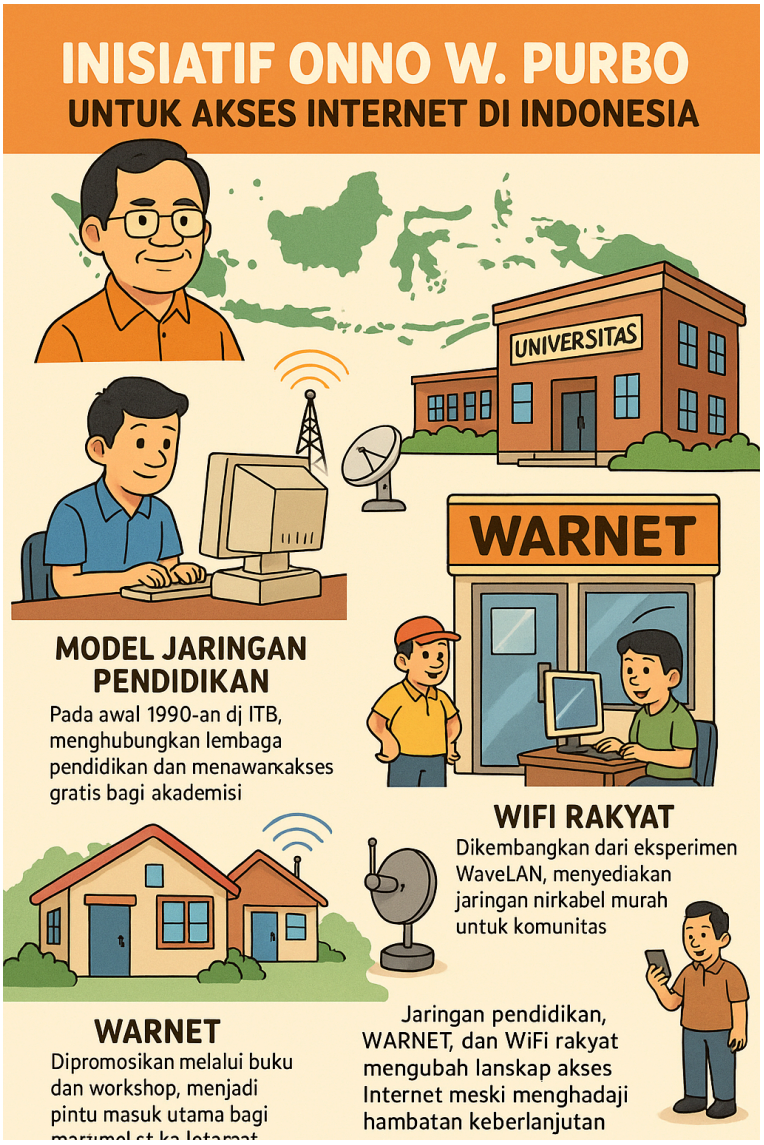
Secara keseluruhan, perjalanan inovatif Onno W. Purbo dalam mengembangkan packet radio, WaveLAN, dan koneksi satelit JCSat menunjukkan bahwa pendekatan berbasis komunitas dan open source mampu menjawab tantangan keterbatasan infrastruktur. Namun untuk mewujudkan dampak yang lebih luas dan legal, dibutuhkan pula advokasi kebijakan—seperti yang dilakukan Onno dalam memperjuangkan legalisasi frekuensi 2.4 GHz pada 2005. Ketiga inovasi ini menjadi titik awal gerakan teknologi rakyat di Indonesia, dengan WaveLAN sebagai cikal bakal WiFi outdoor modern yang kini menjadi tulang punggung infrastruktur nirkabel komunitas seperti RT/RW-net. Prinsip kolaborasi, keberanian, dan semangat berbagi yang mendasari inovasi-inovasi ini tetap menjadi inspirasi bagi pengembangan teknologi mandiri di tanah air hingga hari ini.

Berikut adalah **ringkasan** dalam bentuk tabel:

Aspek	Deskripsi
Konteks Awal	Awal 1990-an, infrastruktur teknologi Indonesia sangat terbatas; Internet masih wacana.
Inovasi Packet Radio AX.25	Menggunakan PC 286 bekas dan walkie-talkie pita 2m; kecepatan 1200 bps; protokol TCP/IP; menghubungkan ITB, BPPT, LAPAN, dan UI; memakai TNC pinjaman dari LAPAN.
Paguyuban Network	Jaringan kolaboratif berbasis semangat gotong royong antar akademisi; simbol kreativitas menghadapi keterbatasan teknis.
WaveLAN & WiFi Outdoor	Akhir 1990-an; gunakan kartu nirkabel 2.4 GHz (2 Mbps); perangkat Karlbridge dan Karlnet; pelopor WiFi outdoor Indonesia; menghadapi risiko hukum karena frekuensi belum legal.
Koneksi Satelit JCSat (AI3)	Tahun 1996; kerja sama dengan **Suguru Yamaguchi** & **Jun Mura**i; bandwidth 1.5 Mbps; hubungkan >25 lembaga; akses Internet gratis untuk akademisi; bagian dari inisiatif AI3.
Tantangan Infrastruktur	Biaya satelit tinggi dan ketergantungan pada mitra asing; pentingnya regulasi frekuensi dan investasi domestik untuk keberlanjutan.
Dampak & Warisan Teknologi	Tiga inovasi (Packet Radio, WaveLAN, JCSat) buktikan kekuatan solusi komunitas dan open source; dasar dari gerakan teknologi rakyat seperti RT/RW-net.
Advokasi Kebijakan	Onno memperjuangkan legalisasi pita 2.4 GHz pada 2005 untuk mendukung pengembangan WiFi legal dan meluas.
Nilai Utama	Kolaborasi, keberanian, dan semangat berbagi sebagai fondasi pengembangan teknologi mandiri Indonesia.

Dampak

Pada awal 1990-an, di tengah keterbatasan infrastruktur digital Indonesia, Onno W. Purbo dan timnya di Institut Teknologi Bandung (ITB) merintis fondasi akses Internet melalui teknologi sederhana. Mereka membangun model jaringan pendidikan pertama menggunakan packet radio AX.25 (1200 bps) dan koneksi satelit JCSat (1.5 Mbps), menghubungkan lebih dari 25 lembaga pendidikan melalui AI3 Indonesia pada 1997–1998. Jaringan ini, yang menawarkan akses Internet gratis bagi akademisi, menjadi inspirasi bagi kebijakan pemerintah untuk memperluas konektivitas nasional, seperti jaringan SMK yang mencakup 4.000+ sekolah pada 2006. Keberhasilan ini membuktikan bahwa konektivitas pendidikan dapat dicapai dengan sumber daya minim, namun ketergantungan pada mitra internasional, seperti WIDE Project Jepang, menimbulkan risiko keberlanjutan tanpa investasi lokal yang kuat. Model ini tidak hanya meletakkan dasar infrastruktur digital akademik, tetapi juga menanamkan visi bahwa Internet adalah kebutuhan publik yang harus dijangkau oleh semua lapisan masyarakat.



Kemunculan WARNET (warung internet) menjadi dampak nyata dari visi Onno untuk mendemokratisasi akses Internet. Dipopulerkan melalui buku “Warung Internet” dan workshop intensif, WARNET tumbuh pesat hingga mencapai sekitar 100.000 unit pada puncaknya (2000–2002). Warung-warung ini menjadi pintu masuk utama bagi masyarakat awam, terutama mereka yang tidak mampu memiliki komputer pribadi, untuk mengenal dan memanfaatkan Internet. Selain mempercepat adopsi teknologi, WARNET juga menggerakkan ekonomi lokal melalui usaha mikro, menciptakan lapangan kerja dan peluang bisnis. Namun, kehadiran Internet seluler yang kian terjangkau telah mengurangi jumlah WARNET menjadi sekitar 17.000 saat ini, menunjukkan tantangan adaptasi di era teknologi yang berubah cepat. Meski demikian, WARNET tetap menjadi simbol bagaimana teknologi dapat diakses secara inklusif melalui pendekatan berbasis komunitas.

Pengembangan jaringan WiFi outdoor menandai babak baru dalam upaya Onno untuk memperluas konektivitas hingga pelosok negeri. Berawal dari eksperimen WaveLAN pada akhir 1990-an di Paguyuban Network, teknologi ini berkembang menjadi RT/RW-net, jaringan nirkabel komunitas yang kini mencakup 60.000+ jaringan dan menghubungkan 3.000 desa. Keberhasilan ini didukung oleh advokasi Onno untuk liberalisasi pita 2.4 GHz pada 2005 dan inovasi seperti Wajanbolic, antena WiFi murah berbasis wajan dapur. WiFi rakyat menjadi tulang punggung akses Internet yang terjangkau, memungkinkan komunitas lokal membangun jaringan tanpa ketergantungan pada operator besar. Namun, tantangan seperti regulasi yang kurang mendukung, persaingan dengan penyedia komersial, dan kebutuhan pemeliharaan teknis mengancam keberlanjutan model ini. RT/RW-net menegaskan bahwa kemandirian teknologi dapat dicapai melalui solusi kreatif dan semangat berbagi, tetapi memerlukan kerangka hukum yang kuat untuk bertahan.

Meskipun dampak jaringan pendidikan, WARNET, dan WiFi rakyat telah mengubah lanskap akses Internet di Indonesia, keberlanjutan inisiatif ini menghadapi hambatan signifikan. Kesenjangan digital, terutama di daerah terpencil, masih menjadi isu krusial, diperparah oleh minimnya investasi infrastruktur lokal dan dominasi penyedia Internet komersial. Ketergantungan pada pendanaan swadaya dan kolaborasi internasional, seperti pada proyek AI3, menunjukkan perlunya dukungan sistemik dari pemerintah dan sektor swasta. Untuk memastikan teknologi rakyat tetap relevan di era komersialisasi, diperlukan regulasi yang melindungi inisiatif komunitas, pelatihan SDM berkelanjutan, dan investasi dalam inovasi lokal. Warisan Onno W. Purbo—yang menggabungkan kreativitas, kolaborasi, dan pemerataan informasi—menjadi bukti bahwa kedaulatan digital Indonesia dapat dicapai, asalkan semangat gotong royong terus dipupuk dan didukung oleh kebijakan yang visioner.

Berikut adalah **ringkasan** paragraf di atas:

Aspek	Keterangan
Perintisan Jaringan Pendidikan	Dimulai awal 1990-an di ITB dengan teknologi sederhana (packet radio AX.25 dan satelit JCSat). Terhubung ke 25+ lembaga melalui AI3 (1997–1998).
Tujuan & Dampak	Akses gratis untuk akademisi, dasar kebijakan jaringan SMK (4.000+ sekolah, 2006). Bukti bahwa konektivitas bisa dicapai dengan sumber daya minim.
Tantangan	Ketergantungan pada mitra luar negeri (WIDE Project Jepang); risiko keberlanjutan tanpa investasi lokal.
Kemunculan WARNET	Populer lewat buku & workshop “Warung Internet.” Mencapai 100.000 unit (2000–2002). Membuka akses internet untuk masyarakat awam dan mendorong ekonomi mikro.
Kondisi Terkini WARNET	Jumlah menurun jadi ~17.000 karena dominasi internet seluler. Tetap simbol inklusivitas akses berbasis komunitas.
WiFi Rakyat & RT/RW-net	Berasal dari eksperimen WaveLAN (1990-an), menjadi 60.000+ jaringan, 3.000 desa. Didukung liberalisasi pita 2.4 GHz (2005) & inovasi Wajanbolic.
Manfaat WiFi Rakyat	Internet murah dan mandiri untuk komunitas tanpa tergantung operator besar.
Tantangan WiFi Rakyat	Regulasi lemah, persaingan komersial, butuh pemeliharaan teknis & perlindungan hukum.
Isu Keberlanjutan	Kesenjangan digital masih besar, investasi lokal minim, ketergantungan swadaya/internasional. Diperlukan regulasi dan dukungan sistemik.
Warisan & Visi Onno	Mewujudkan internet sebagai hak publik melalui kreativitas, kolaborasi, dan semangat gotong royong. Kedaulatan digital bisa dicapai bila ada dukungan kebijakan visioner.

Strategi

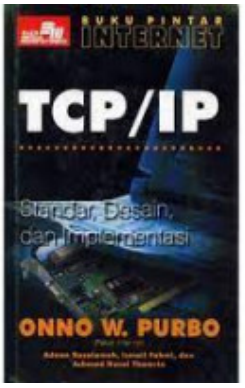
Memanfaatkan Teknologi Apa Adanya

Onno W. Purbo mengadopsi strategi cerdas dengan memanfaatkan teknologi apa adanya, mengubah keterbatasan menjadi peluang inovasi di tengah minimnya infrastruktur digital Indonesia pada 1990-an. Dengan perangkat sederhana seperti PC 286 bekas dan walkie-talkie pada pita 2 meter, ia membangun jaringan pendidikan berbasis packet radio AX.25 (1200 bps), menghubungkan ITB dengan lembaga seperti BPPT dan LAPAN. Pendekatan ini, yang menggunakan protokol open source seperti TCP/IP, memungkinkan komunikasi data tanpa ketergantungan pada perangkat mahal atau infrastruktur telekomunikasi modern. Eksperimen WaveLAN pada akhir 1990-an, cikal bakal WiFi outdoor, semakin memperkuat strategi ini dengan memanfaatkan frekuensi 2.4 GHz untuk jaringan murah, meskipun tanpa izin resmi pada awalnya. Secara kritis, strategi ini berhasil karena berfokus pada solusi praktis yang dapat direplikasi, tetapi menghadapi tantangan seperti risiko hukum dan kebutuhan teknis untuk pemeliharaan. Pendekatan ini menegaskan bahwa kemandirian teknologi dapat dicapai dengan kreativitas, memanfaatkan sumber daya lokal untuk mendemokratisasi akses Internet.

Kolaborasi dengan Komunitas Akademik Internasional

Kolaborasi dengan komunitas akademik internasional menjadi pilar penting dalam strategi Onno untuk mempercepat pengembangan teknologi di Indonesia. Pada 1996, kerja sama dengan Suguru Yamaguchi dan Jun Murai dari WIDE Project Jepang menghasilkan koneksi satelit JCSat (1.5 Mbps), menjadikan ITB simpul utama jaringan pendidikan AI3 Indonesia yang menghubungkan 25+ lembaga. Kolaborasi ini tidak hanya membawa bandwidth tinggi—langka pada masanya—tetapi juga transfer pengetahuan tentang protokol TCP/IP dan jaringan nirkabel. Keterlibatan dengan organisasi seperti IDRC Kanada dan ISIF Asia memungkinkan Onno berbagi model teknologi rakyat Indonesia di 30+ negara, dari Bhutan hingga Afrika Selatan. Namun, ketergantungan pada mitra internasional menimbulkan risiko keberlanjutan, terutama tanpa pendanaan domestik yang memadai. Secara kritis, kolaborasi ini memperkuat kapasitas teknis lokal, tetapi menyoroti perlunya membangun ekosistem akademik dalam negeri yang lebih mandiri untuk mendukung inovasi jangka panjang.

Publikasi Buku untuk Penyebaran Pengetahuan



Strategi Onno dalam menyebarkan pengetahuan melalui publikasi buku menjadi alat ampuh untuk memperluas dampak teknologinya. Buku “TCP/IP,” yang diterbitkan pada 1990-an, menjadi acuan utama di banyak kampus Indonesia, memberikan pelajar dan akademisi pemahaman mendalam tentang jaringan komputer dengan bahasa yang mudah dipahami. Buku ini memainkan peran kunci dalam membangun SDM teknologi yang kompeten, mendukung perkembangan

jaringan pendidikan nasional. Sementara itu, buku “Warung Internet” mendorong replikasi WARNET, dengan panduan praktis untuk mendirikan warung internet murah. Pada puncaknya (2000–2002), sekitar 100.000 WARNET berdiri, mempercepat adopsi Internet di kalangan masyarakat awam. Namun, tantangan seperti kurangnya pembaruan konten buku di era teknologi cepat dan keterbatasan distribusi ke daerah terpencil membatasi jangkauan. Meski begitu, publikasi ini menunjukkan komitmen Onno untuk edukasi terbuka, meletakkan dasar bagi gerakan teknologi berbasis komunitas.

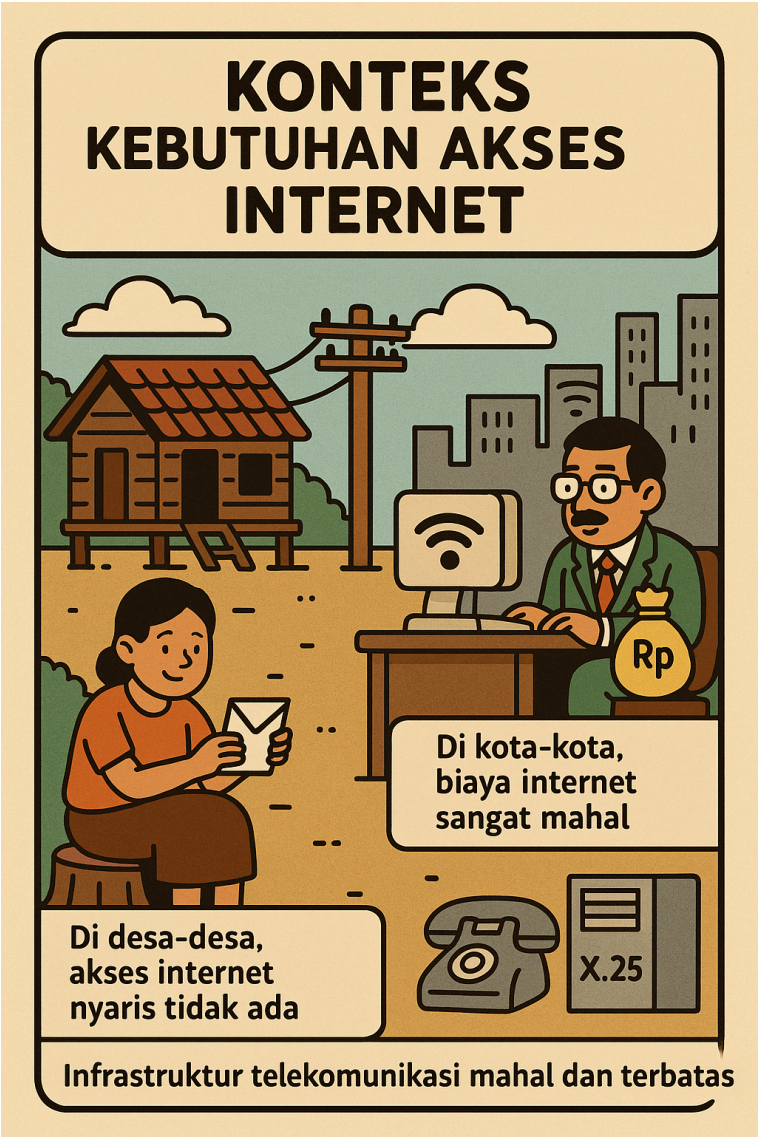
Kerja Sama Internasional untuk Community Radio dan Liberalisasi Frekuensi

Onno memanfaatkan kerja sama internasional dengan organisasi seperti IDRC dan World Summit on the Information Society (WSIS) untuk mempromosikan community radio dan membebaskan frekuensi 2.4 GHz serta 5.8 GHz, yang menjadi tulang punggung jaringan Internet jarak jauh di Indonesia. Melalui presentasi di forum global seperti WSIS dan workshop di negara seperti Bangladesh dan Timor Leste, Onno menjadikan model community radio Indonesia—seperti RT/RW-net—sebagai contoh dunia, menginspirasi negara berkembang untuk mengadopsi solusi serupa. Advokasinya melalui milis seperti telematika@yahoogroups.com dan kolaborasi dengan komunitas WARNET berhasil mendorong liberalisasi pita 2.4 GHz pada 2005, diikuti 5.8 GHz, memungkinkan jaringan seperti RT/RW-net (60.000+ jaringan, 3.000 desa) dan Wajanbolic berkembang tanpa hambatan hukum. Namun, kurangnya regulasi lanjutan untuk melindungi komunitas dari dominasi penyedia komersial tetap menjadi tantangan. Strategi ini memperkuat kedaulatan teknologi dengan memberdayakan masyarakat lokal, tetapi memerlukan kebijakan yang lebih kuat untuk memastikan keberlanjutan di era komersialisasi.

Tantangan dan Visi Keberlanjutan

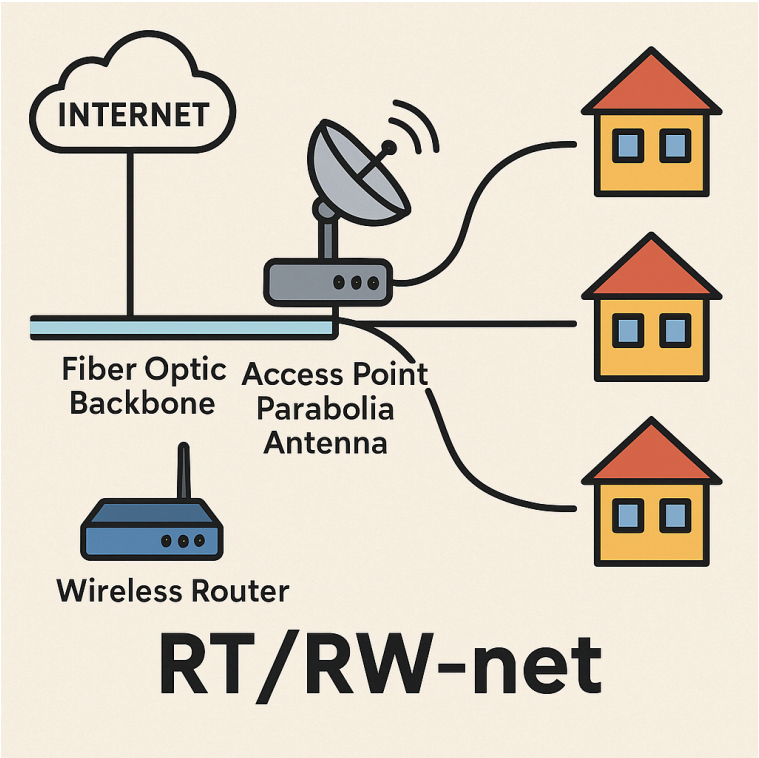
Keempat strategi ini—teknologi apa adanya, kolaborasi internasional, publikasi buku, dan advokasi frekuensi—mencerminkan pendekatan holistik Onno dalam membangun ekosistem teknologi rakyat. Namun, tantangan seperti risiko hukum dari penggunaan teknologi tanpa izin, ketergantungan pada mitra eksternal, dan persaingan dengan operator besar menunjukkan perlunya dukungan sistemik. Untuk menjaga relevansi strategi ini, pemerintah perlu mengeluarkan regulasi yang melindungi inisiatif komunitas, sementara sektor swasta dan akademisi harus berinvestasi dalam R&D lokal. Warisan Onno W. Purbo, yang menggabungkan kreativitas, kolaborasi global, dan semangat berbagi, menawarkan cetak biru bagi Indonesia untuk mencapai kedaulatan digital, asalkan didukung oleh kebijakan visioner dan komitmen kolektif untuk pemerataan akses teknologi.

BAB: RT/RW-net – Revolusi Jaringan Komunitas



Pada akhir 1990-an hingga awal 2000-an, Indonesia menghadapi tantangan besar dalam menyediakan akses Internet yang terjangkau, baik di perkotaan maupun pedesaan, di tengah kebutuhan mendesak untuk konektivitas digital guna mendukung pendidikan, ekonomi, dan komunikasi. Di desa-desa, akses Internet nyaris tidak ada, dengan sebagian besar masyarakat bergantung pada telepon kabel yang langka atau surat untuk komunikasi jarak jauh, sementara di kota-kota, biaya langganan Internet melalui penyedia komersial sangat mahal, hanya terjangkau oleh kalangan elit. Infrastruktur telekomunikasi yang ada, seperti saluran telepon tembaga dan jaringan X.25, tidak hanya terbatas pada wilayah urban, tetapi juga memerlukan investasi besar untuk perluasan, yang sulit dipenuhi di tengah krisis ekonomi pasca-1998. Ketergantungan pada teknologi impor dan operator besar seperti Telkom memperparah kesenjangan digital, meninggalkan jutaan warga tanpa akses ke informasi digital yang kian penting di era globalisasi. Konteks ini menciptakan peluang sekaligus kebutuhan mendesak bagi solusi alternatif yang murah dan mudah direplikasi. Onno W. Purbo, menyadari realitas ini, memanfaatkan keterbatasan sebagai pendorong inovasi, merintis solusi seperti RT/RW-net dan Wajanbolic untuk menghubungkan komunitas dengan jaringan nirkabel murah. Namun, tantangan seperti regulasi frekuensi yang ketat dan minimnya dukungan pemerintah untuk teknologi berbasis komunitas menghambat adopsi awal. Konteks ini tidak hanya menggarisbawahi kesenjangan digital yang lebar, tetapi juga menegaskan urgensi pendekatan berbasis rakyat untuk mendemokratisasi akses Internet, meletakkan dasar bagi gerakan kedaulatan teknologi di Indonesia.

Topologi



Gambar berikut menunjukkan sebuah **topologi sederhana dari jaringan RT/RW-net**, yaitu model jaringan komunitas yang dibangun secara swadaya untuk menyediakan akses internet murah dan merata di lingkungan perumahan atau desa. Topologi ini dimulai dari koneksi **Internet utama** yang berasal dari penyedia layanan (ISP) melalui **backbone fiber optik**. Jalur backbone ini menjadi sumber utama data yang kemudian didistribusikan ke wilayah RT atau RW.

Dari jalur backbone, koneksi diteruskan ke sebuah **Access Point** yang dilengkapi dengan **antena parabola**. Antena ini berfungsi sebagai pemancar sinyal nirkabel jarak jauh ke berbagai titik penerima di lingkungan sekitarnya. Dalam banyak kasus, antenna ini dipasang di tempat tinggi seperti atap rumah atau menara sederhana agar cakupan sinyal maksimal.

Selanjutnya, sinyal dari access point diarahkan ke **router wireless lokal** atau langsung ke rumah-rumah warga melalui perangkat penerima seperti antena grid atau CPE (Customer Premises Equipment). Dalam skema ini, router lokal bertugas menyebarkan koneksi internet ke pengguna akhir di dalam rumah melalui WiFi atau LAN.

Tiga rumah yang ditampilkan di sisi kanan menggambarkan **komunitas pengguna** yang terhubung dalam jaringan RT/RW-net. Mereka dapat menikmati koneksi internet bersama, dengan biaya operasional yang dibagi sesuai kesepakatan komunitas. Konsep ini sangat berguna di daerah yang belum dijangkau oleh operator besar atau yang ingin mencari solusi konektivitas mandiri dan efisien.

Topologi ini juga mencerminkan prinsip utama RT/RW-net: **kemandirian, gotong royong, dan efisiensi**, dengan pemanfaatan teknologi terbuka dan perangkat yang mudah dijangkau oleh masyarakat umum.

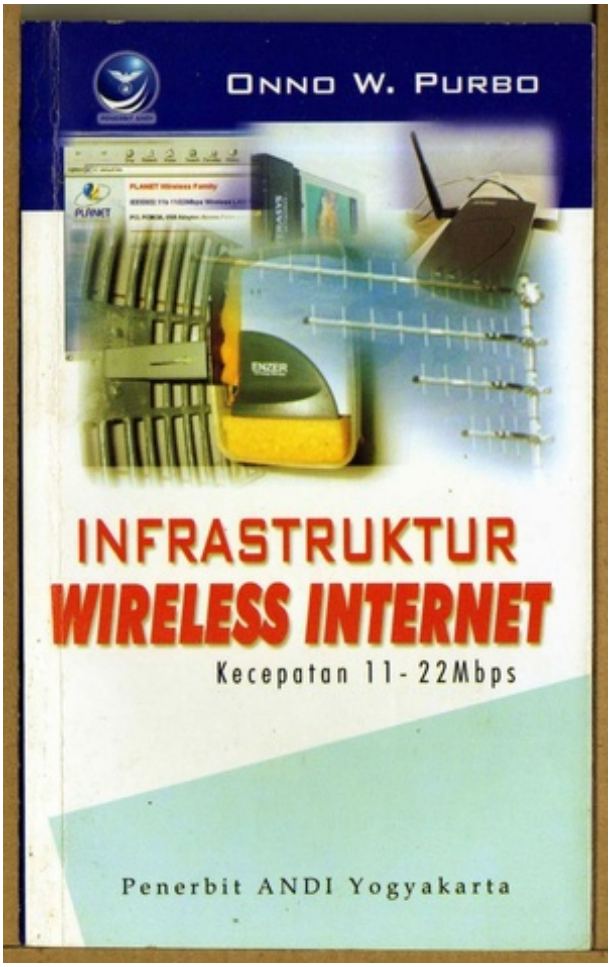
Perjuangan

Eksperimen Nirkabel 950 MHz dan Risiko Hukum

Pada tahun 1996, Onno W. Purbo memulai eksperimen berani dengan teknologi nirkabel pada frekuensi 950 MHz untuk memperluas akses Internet di tengah keterbatasan infrastruktur telekomunikasi Indonesia. Menggunakan perangkat sederhana, ia menguji jaringan nirkabel sebagai solusi murah untuk menghubungkan komunitas di desa dan kota, di mana kabel telepon mahal dan langka. Namun, eksperimen ini berisiko tinggi karena frekuensi 950 MHz belum diatur untuk penggunaan publik, menempatkan Onno pada posisi rentan secara hukum. Puncaknya, ia didatangi oleh seorang kolonel dari KOSTRAD yang mempertanyakan legalitas operasi tersebut, mencerminkan ketegangan antara inovasi berbasis komunitas dan regulasi ketat era itu. Meskipun menghadapi ancaman, keberanian Onno menunjukkan bahwa keterbatasan regulasi tidak boleh menghentikan eksperimen teknologi rakyat. Secara kritis, insiden ini menggarisbawahi perlunya advokasi kebijakan untuk mendukung inovasi, sekaligus menyoroti risiko yang diambil pelopor seperti Onno dalam mendorong batas-batas teknologi demi akses Internet yang lebih luas.

Kampanye Liberalisasi Pita 2.4 GHz

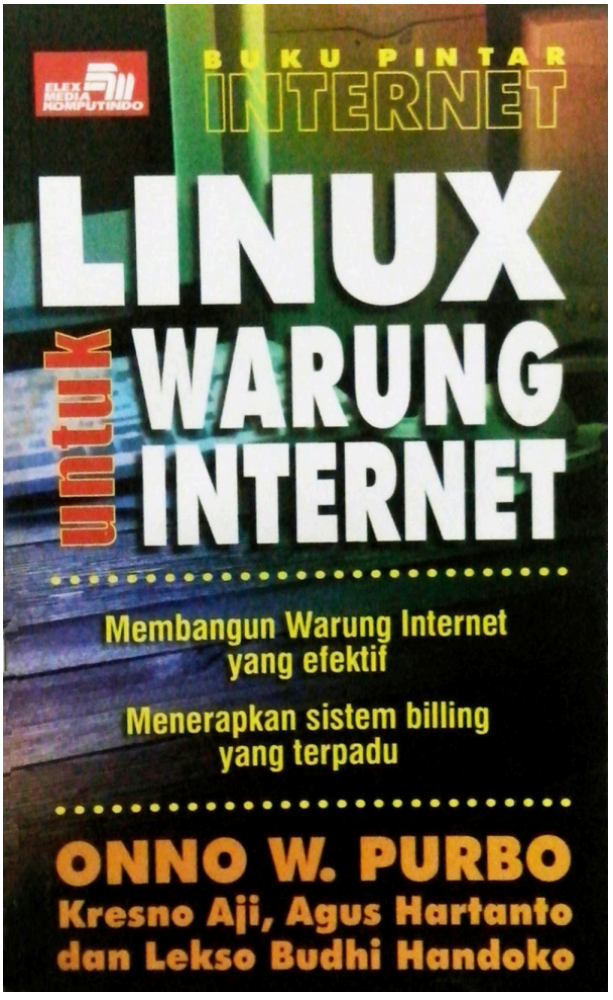
Menyadari hambatan regulasi, Onno meluncurkan kampanye intensif untuk liberalisasi pita 2.4 GHz antara 2000 dan 2005, yang menjadi tonggak penting dalam pengembangan jaringan nirkabel Indonesia. Melalui seminar di berbagai kota dan diskusi online yang dinamis di milis seperti telematika@yahoogroups.com dan indowli@yahoogroups.com, ia menggalang dukungan dari komunitas teknologi, akademisi, dan penggiat WARNET. Kampanye ini bertujuan meyakinkan regulator bahwa pita 2.4 GHz, yang saat itu dikendalikan oleh otoritas militer dan telekomunikasi, dapat digunakan secara terbuka untuk jaringan komunitas seperti RT/RW-net. Keberhasilan kampanye ini pada 2005, ditandai dengan dikeluarkannya regulasi yang membebaskan pita 2.4 GHz, memungkinkan munculnya ribuan



jaringan nirkabel berbasis komunitas, termasuk inovasi seperti Wajanbolic. Namun, proses ini tidak mudah; resistensi dari pihak berwenang dan kepentingan komersial menunda kemajuan, menunjukkan bahwa advokasi teknologi memerlukan ketekunan dan kolaborasi luas. Kampanye ini menjadi bukti bahwa perubahan kebijakan dapat didorong dari bawah, tetapi juga mengingatkan pentingnya dukungan pemerintah untuk keberlanjutan.

Publikasi Buku dan Seminar Intensif

Untuk menyebarkan pengetahuan dan mendorong replikasi solusi nirkabel, Onno menerbitkan serangkaian buku teknis, termasuk “Infrastruktur Wireless Internet” dan “Internet Wireless dan Hotspot,” yang menjadi panduan praktis bagi komunitas dan teknisi. Buku-buku ini, ditulis dengan bahasa sederhana dan berisi petunjuk langkah demi langkah, memungkinkan siapa saja untuk membangun jaringan nirkabel murah, seperti RT/RW-net. Selain itu, Onno mengadakan seminar intensif, sering kali 2–3 kali seminggu, di berbagai kota, menjangkau ribuan peserta dari kalangan pelajar, guru, hingga pengusaha WARNET. Seminar ini tidak hanya menyebarkan pengetahuan teknis, tetapi juga membangun semangat gotong royong, mendorong peserta untuk berbagi pengalaman dan membentuk komunitas teknologi lokal. Namun, tantangan seperti keterbatasan distribusi buku ke daerah terpencil dan jadwal seminar yang padat menunjukkan kebutuhan pendanaan dan infrastruktur yang lebih besar. Strategi ini memperkuat kapasitas SDM teknologi Indonesia, tetapi keberhasilannya bergantung pada kemampuan Onno untuk menjaga momentum edukasi di tengah sumber daya terbatas.



Peran Buku WARNET dalam Adopsi Massal

Publikasi buku “Warung Internet” oleh Onno W. Purbo memainkan peran kunci dalam mempopulerkan WARNET, yang menjadi pintu gerbang utama masyarakat Indonesia untuk mengenal Internet pada akhir 1990-an hingga awal 2000-an. Buku ini menyediakan panduan praktis untuk mendirikan WARNET dengan biaya minim, mulai dari pengaturan jaringan hingga pemilihan perangkat keras sederhana. Dampaknya luar biasa: pada puncaknya (2000–2002), sekitar 100.000 WARNET berdiri di seluruh

Indonesia, memberdayakan masyarakat awam, terutama di daerah yang kekurangan akses teknologi, untuk terhubung dengan dunia digital. WARNET juga menggerakkan ekonomi lokal melalui usaha kecil, menciptakan lapangan kerja dan peluang bisnis. Namun, munculnya Internet seluler yang lebih terjangkau mengurangi jumlah WARNET menjadi sekitar 17.000 saat ini, menyoroti tantangan adaptasi di era teknologi yang berubah cepat. Meski demikian, buku “Warung Internet” tetap menjadi simbol bagaimana edukasi terbuka dapat mengkatalisasi adopsi teknologi massal, memperkuat fondasi kedaulatan digital berbasis komunitas.

Warisan dan Tantangan Keberlanjutan



Perjuangan Onno W. Purbo melalui eksperimen nirkabel, advokasi liberalisasi frekuensi, dan edukasi melalui buku serta seminar telah mengubah lanskap akses Internet di Indonesia, menghubungkan jutaan orang melalui RT/RW-net dan WARNET. Keberhasilannya dalam membebaskan pita 2.4 GHz dan mempromosikan teknologi nirkabel murah menjadikan Indonesia sebagai contoh global untuk solusi berbasis komunitas. Namun, tantangan seperti regulasi yang masih lemah, persaingan dengan operator komersial, dan keterbatasan sumber daya untuk edukasi berkelanjutan menunjukkan bahwa kedaulatan teknologi memerlukan dukungan sistemik. Untuk mempertahankan warisan ini, pemerintah perlu mengeluarkan kebijakan yang melindungi jaringan komunitas, sementara komunitas akademik dan swasta harus berinvestasi dalam pelatihan dan inovasi lokal. Pendekatan Onno—menggabungkan keberanian, edukasi terbuka, dan kolaborasi—menawarkan cetak biru bagi Indonesia untuk membangun masa depan digital yang inklusif dan mandiri, asalkan semangat gotong royong terus dipupuk.

Inovasi

RT/RW-net: Jaringan Intranet Nirkabel Berbasis Komunitas

Onno W. Purbo mempelopori RT/RW-net, sebuah jaringan intranet nirkabel berbasis komunitas yang menjadi tulang punggung akses Internet murah di Indonesia. Dengan memanfaatkan frekuensi 2.4 GHz yang diliberalisasi pada 2005, RT/RW-net telah berkembang menjadi lebih dari 60.000 jaringan komunitas, menghubungkan sekitar 3.000 desa di seluruh negeri. Jaringan ini, yang awalnya menggunakan teknologi WiFi sederhana seperti Wajanbolic—antena berbasis wajan dapur—memungkinkan komunitas lokal untuk membangun konektivitas tanpa ketergantungan pada operator telekomunikasi besar. RT/RW-net tidak hanya menyediakan akses Internet, tetapi juga mendukung aplikasi lokal seperti server game, perpustakaan digital, dan komunikasi antar warga, memperkuat ekonomi dan sosial komunitas. Namun, tantangan seperti kurangnya regulasi yang melindungi jaringan komunitas, interferensi frekuensi, dan kebutuhan pemeliharaan teknis mengancam skalabilitasnya. Secara kritis, RT/RW-net menunjukkan potensi teknologi berbasis rakyat untuk menjembatani kesenjangan digital, tetapi memerlukan dukungan kebijakan untuk tetap kompetitif di era dominasi penyedia komersial.

Linux: Sistem Operasi Legal untuk Keberlanjutan

Dalam menghadapi keterbatasan finansial dan risiko hukum, Onno mempromosikan Linux sebagai sistem operasi legal untuk WARNET dan jaringan komunitas, menghindari razia aparat akibat penggunaan perangkat lunak bajakan seperti Windows. Pada akhir 1990-an, ketika lisensi perangkat lunak proprietary mahal dan tidak terjangkau bagi komunitas lokal, Linux menawarkan solusi open source yang gratis, andal, dan dapat disesuaikan untuk kebutuhan jaringan seperti RT/RW-net dan server WARNET. Dengan mengadopsi Linux, Onno tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga membangun budaya teknologi yang etis dan mandiri, melatih ribuan teknisi melalui workshop untuk mengelola sistem berbasis Linux. Namun, tantangan seperti kurva belajar yang curam bagi pengguna baru dan minimnya dukungan teknis formal di daerah terpencil membatasi adopsi awal. Penggunaan Linux memperkuat kedaulatan teknologi dengan membebaskan komunitas dari ketergantungan pada vendor asing, tetapi memerlukan investasi dalam pelatihan untuk memaksimalkan dampaknya.

Pembuatan Server Lokal WARNET

Onno juga mendorong pembuatan server lokal untuk WARNET, sebuah strategi yang mempercepat adopsi Internet di Indonesia pada akhir 1990-an hingga awal 2000-an. Dengan panduan dari buku “Warung Internet” dan seminar intensif, ia mengajarkan komunitas untuk membangun server menggunakan perangkat keras sederhana dan sistem operasi Linux, mengurangi biaya dibandingkan solusi proprietary. Server lokal ini memungkinkan WARNET untuk menyediakan layanan seperti akses Internet, game online, dan penyimpanan data dengan biaya operasional rendah, menjadikannya pusat teknologi di komunitas urban dan pedesaan. Pada puncaknya,

sekitar 100.000 WARNET beroperasi, memberdayakan ekonomi lokal dan memperluas akses digital. Namun, menjamurnya Internet seluler telah mengurangi jumlah WARNET menjadi sekitar 17.000, menunjukkan tantangan adaptasi di era teknologi baru. Meski demikian, strategi server lokal ini membuktikan bahwa solusi teknologi yang terjangkau dan dikelola komunitas dapat menggerakkan transformasi digital secara luas.

Evolusi RT/RW-net Berbasis Fiber Optik/FTTH



Seiring perkembangan teknologi, RT/RW-net mulai beralih dari WiFi ke infrastruktur fiber optik atau Fiber to the Home (FTTH), menandai evolusi jaringan komunitas menuju konektivitas yang lebih cepat dan andal. Beberapa komunitas, terutama di daerah urban dan semi-urban, telah mengadopsi FTTH untuk mendukung kebutuhan bandwidth yang meningkat, seperti streaming, e-learning, dan aplikasi bisnis lokal. Transisi ini, yang masih berbasis semangat gotong royong, memungkinkan RT/RW-net untuk tetap relevan di tengah persaingan dengan penyedia Internet komersial. Namun, biaya pemasangan fiber optik yang tinggi dan kebutuhan keahlian teknis yang lebih kompleks menjadi hambatan, terutama di desa-desa terpencil. Secara kritis, evolusi ini menunjukkan adaptabilitas model RT/RW-net, tetapi juga menggarisbawahi kesenjangan sumber daya antara komunitas urban dan rural. Untuk memastikan pemerataan, diperlukan subsidi infrastruktur dan pelatihan teknis yang ditargetkan.

Warisan dan Tantangan Keberlanjutan

Inovasi RT/RW-net, adopsi Linux, server lokal WARNET, dan transisi ke FTTH mencerminkan visi Onno W. Purbo untuk membangun ekosistem teknologi rakyat yang mandiri dan inklusif. Dengan menghubungkan ribuan desa dan memberdayakan komunitas melalui solusi murah, strategi ini telah mendemokratisasi akses Internet dan memperkuat kedaulatan digital. Namun, tantangan seperti regulasi yang lemah, persaingan komersial, dan kesenjangan infrastruktur menuntut intervensi yang lebih besar. Pemerintah perlu mengeluarkan kebijakan yang melindungi jaringan komunitas, sementara sektor swasta dan akademik harus mendukung pelatihan dan inovasi lokal. Warisan Onno—berpijak pada kreativitas,

open source, dan kolaborasi—menawarkan peta jalan bagi Indonesia untuk mencapai masa depan digital yang merata, asalkan semangat gotong royong terus dijaga dan didukung oleh ekosistem yang kuat.

Dampak

Demokratisasi Akses Internet di Daerah Terpencil

Inovasi Onno W. Purbo melalui RT/RW-net telah mendemokratisasi akses Internet di daerah terpencil Indonesia, membawa konektivitas ke wilayah yang sebelumnya terisolasi dari dunia digital. Dengan jaringan nirkabel berbasis komunitas yang mencakup lebih dari 60.000 jaringan dan menghubungkan sekitar 3.000 desa, RT/RW-net memungkinkan masyarakat di pedalaman, seperti di Papua atau Nusa Tenggara, untuk mengakses informasi, pendidikan daring, dan komunikasi dengan biaya minim. Teknologi seperti Wajanbolic, antena WiFi berbasis wajan dapur, memungkinkan desa-desa membangun jaringan sendiri tanpa ketergantungan pada infrastruktur telekomunikasi mahal. Dampaknya signifikan: anak-anak di desa dapat mengakses materi pembelajaran, sementara komunitas dapat terhubung dengan pasar global. Namun, tantangan seperti kesenjangan infrastruktur listrik, kurangnya literasi digital, dan minimnya regulasi yang melindungi jaringan komunitas menghambat potensi penuh. Secara kritis, demokratisasi ini menunjukkan bahwa teknologi berbasis rakyat dapat menjembatani kesenjangan digital, tetapi memerlukan dukungan sistemik untuk keberlanjutan di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal).

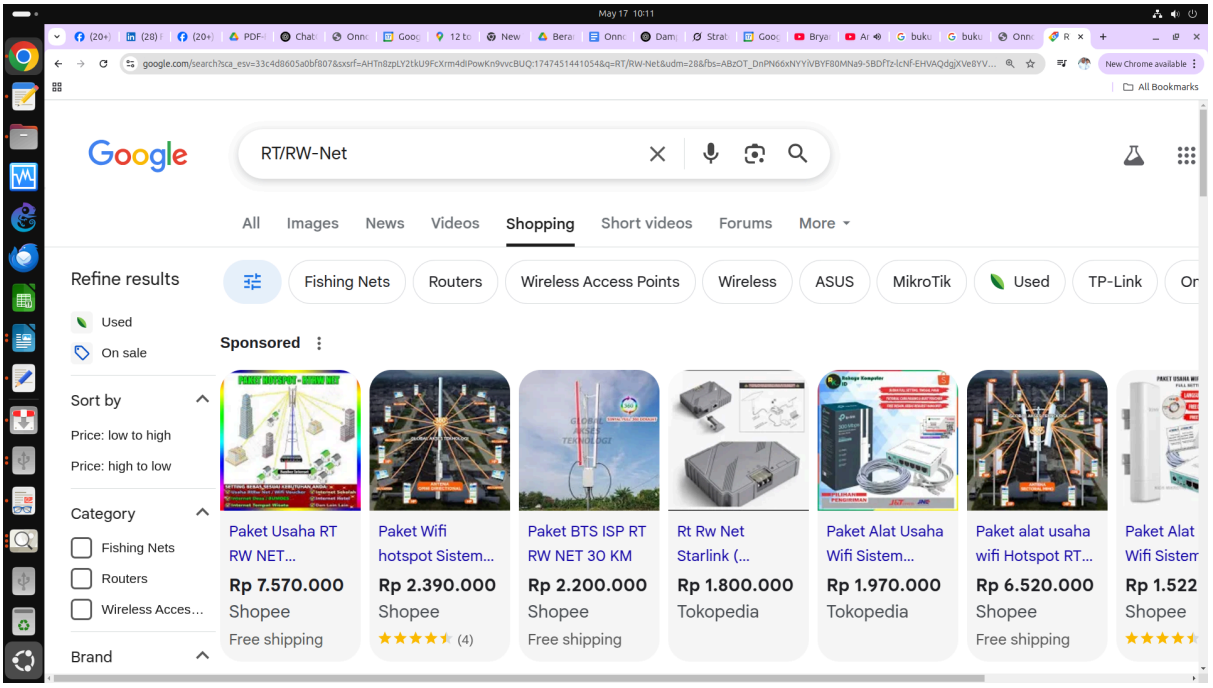
Pemberdayaan Ekonomi Lokal melalui Konektivitas

Konektivitas yang dibawa oleh **RT/RW-net dan WARNET** telah memberdayakan ekonomi lokal secara nyata, menciptakan peluang bisnis dan lapangan kerja di komunitas yang sebelumnya sangat terbatas aksesnya terhadap teknologi. Pada puncaknya antara tahun 2000–2002, sekitar **100.000 WARNET** tersebar di seluruh Indonesia menjadi pusat aktivitas ekonomi, memungkinkan wirausahawan kecil menyediakan layanan internet, pencetakan dokumen, hingga game online yang menghasilkan pendapatan bagi keluarga dan komunitas. Dampak ini terus berlanjut melalui **RT/RW-net**, yang mendukung tumbuhnya usaha mikro seperti **warung kopi dengan hotspot WiFi**, **jasa penyewaan internet rumahan**, dan **pelatihan komputer atau digital marketing**. Bahkan di pedesaan, konektivitas



memungkinkan petani dan nelayan mengakses informasi harga pasar dan cuaca, sementara pelaku UMKM dapat memasarkan produk mereka secara daring. Namun demikian, persaingan dengan penyedia internet seluler dan biaya pemeliharaan infrastruktur membuat keberlanjutan model ini menghadapi tantangan serius—jumlah WARNET kini merosot menjadi sekitar **17.000** unit. Meski begitu, seluruh ekosistem ini menunjukkan bahwa **akses internet adalah katalis utama pertumbuhan ekonomi lokal**, yang akan semakin kuat apabila didukung dengan pelatihan keterampilan digital dan kebijakan yang mendorong kewirausahaan teknologi secara inklusif.

Fenomena Informasi RT/RW-net di Google



Popularitas **RT/RW-net** sebagai model jaringan komunitas tercermin dari melimpahnya informasi yang tersedia secara online. Jika kita mengetik kata kunci **“RT/RW-net” di Google**, akan muncul **ribuan situs, forum, artikel**, hingga dokumentasi dari berbagai komunitas di seluruh Indonesia—mulai dari panduan teknis membangun jaringan, cerita sukses komunitas, hingga diskusi aktif di milis seperti *telematika@yahoogroups.com*. Fenomena ini menunjukkan bahwa RT/RW-net bukan hanya sekadar proyek eksperimental, melainkan telah berkembang menjadi **gerakan digital rakyat berskala nasional**, yang didokumentasikan secara aktif oleh komunitas teknologi, akademisi, dan media lokal. Kontribusi besar dari **Onno W. Purbo** melalui seminar dan buku seperti *Infrastruktur Wireless Internet* turut mendorong penyebaran pengetahuan ini secara luas. Semangat berbagi pengetahuan menjadi inti dari pendekatan RT/RW-net, di mana komunitas secara sukarela memberikan pengalaman dan solusi teknis sesuai kondisi wilayah masing-masing, dari **Sumatera hingga Papua**. Namun demikian, banyaknya informasi daring juga menimbulkan tantangan tersendiri, seperti **kurangnya kurasi** terhadap akurasi dan relevansi konten, serta **akses terbatas di wilayah tanpa konektivitas stabil**. Kondisi ini menggarisbawahi bahwa meskipun RT/RW-net telah

menjadi simbol teknologi rakyat, tetap dibutuhkan **platform terpusat dan sistem edukasi digital yang lebih terstruktur** untuk memperkuat dampaknya secara berkelanjutan.

Tantangan dan Visi Keberlanjutan



Dampak **demokratisasi internet** dan **pemberdayaan ekonomi** melalui RT/RW-net telah mengubah paradigma akses teknologi di Indonesia, membuktikan bahwa **solusi berbasis komunitas** mampu menjangkau daerah terpencil sekaligus menggerakkan ekonomi lokal. Melimpahnya informasi tentang RT/RW-net di Google memperkuat posisinya sebagai gerakan teknologi rakyat yang inklusif, terdokumentasi dengan baik, dan dijalankan secara gotong royong. Secara keseluruhan, RT/RW-net telah menjadi **simbol kedaulatan digital akar rumput**, menunjukkan bahwa dengan kreativitas teknis dan akses terhadap pengetahuan terbuka, masyarakat mampu membangun infrastruktur digital mandiri tanpa bergantung penuh pada operator besar.

Namun, keberlanjutan gerakan ini menghadapi berbagai **tantangan serius**, mulai dari **kesenjangan infrastruktur** dan **persaingan komersial**, hingga **minimnya regulasi yang melindungi jaringan komunitas**. Untuk memaksimalkan dampaknya, pemerintah perlu hadir dengan kebijakan afirmatif—seperti **subsidi infrastruktur di daerah 3T**, serta **pelatihan literasi digital** bagi masyarakat. Di sisi lain, sektor swasta dan akademik perlu mengambil peran aktif dalam **investasi inovasi lokal** dan **kurasi pengetahuan daring** agar akses informasi tidak hanya tersebar, tetapi juga terstruktur dan relevan. Warisan Onno W. Purbo—yang memadukan **edukasi terbuka, kolaborasi komunitas, dan keberanian untuk melawan arus komersialisasi teknologi**—menawarkan **visi nyata untuk masa depan ekosistem digital Indonesia**, asalkan didukung oleh komitmen kolektif untuk terus menjaga dan memperkuat semangat teknologi rakyat.

Strategi

Edukasi Massal melalui Workshop dan Dokumentasi Terbuka

Strategi pengembangan **RT/RW-net** di Indonesia dibangun di atas fondasi partisipatif dan berbasis komunitas, dengan **edukasi massal** sebagai pilar utamanya. Onno W. Purbo menjadikan pendekatan ini sebagai cara untuk mempercepat adopsi teknologi sekaligus membangun kapasitas masyarakat Indonesia secara menyeluruh. Melalui **workshop intensif yang diadakan 2–3 kali seminggu di berbagai kota**, ia telah melatih lebih dari **38.000 peserta**, termasuk **8.000+ guru**, dalam topik-topik seperti jaringan nirkabel, Linux, dan pengelolaan WARNET. Edukasi ini tidak hanya bersifat luring, tetapi juga diperluas secara daring melalui platform seperti **lms.onnocenter.or.id** yang menyediakan **700+ kursus gratis**, serta kanal YouTube **OnnoCenter** yang memiliki lebih dari **200.000 pelanggan**.

Materi-materi seperti cara membangun **Wajanbolic**, konfigurasi **server lokal**, hingga **manajemen jaringan komunitas** dibagikan secara terbuka dan bebas akses. Pendekatan ini memungkinkan komunitas, bahkan yang berada di daerah terpencil, untuk mereplikasi solusi teknologi murah dan mandiri seperti **RT/RW-net**. Edukasi teknis ini secara langsung memperluas keterampilan masyarakat di tingkat akar rumput, mendorong **kemandirian digital**, dan menciptakan peluang ekonomi lokal. Namun demikian, tantangan seperti **keterbatasan akses internet di wilayah 3T** (terdepan, terluar, tertinggal) dan kebutuhan akan **pendanaan swadaya** untuk penyelenggaraan workshop masih membatasi jangkauan inisiatif ini. Secara kritis, meski strategi edukasi telah memperkuat SDM teknologi nasional, **dampaknya akan lebih optimal jika didukung oleh infrastruktur digital yang merata dan kebijakan afirmatif dari pemerintah serta sektor swasta**.

Kolaborasi dengan Komunitas WARNET dan Nirkabel untuk Tekanan Publik

Onno W. Purbo secara strategis memanfaatkan **kekuatan kolaborasi dengan komunitas WARNET dan komunitas nirkabel** sebagai bagian penting dari strategi pengembangan RT/RW-net. Kolaborasi ini bukan hanya soal berbagi pengetahuan teknis, tetapi juga menjadi **alat advokasi kolektif** yang efektif dalam menciptakan **tekanan publik terhadap kebijakan** yang tidak berpihak pada rakyat. Komunitas WARNET—yang pada puncaknya antara tahun 2000–2002 mencapai lebih dari **100.000 unit**—berperan aktif dalam menyebarkan informasi dan menyatukan suara melalui milis seperti *telematika@yahoogroups.com* dan *indowli@yahoogroups.com*. Sementara itu, komunitas nirkabel, termasuk pengguna RT/RW-net dengan **60.000+ jaringan di 3.000 desa**, memperkuat legitimasi gerakan ini melalui keberhasilan implementasi teknologi murah seperti **Wajanbolic** dalam menghubungkan daerah-daerah terpencil.

Kolaborasi lintas komunitas ini memunculkan **tekanan publik yang signifikan**, seperti dalam kampanye **liberalisasi pita 2.4 GHz**, yang dilakukan melalui seminar, diskusi daring, dan aksi-aksi terbuka yang ditujukan untuk meyakinkan regulator bahwa akses spektrum harus terbuka untuk rakyat. Komunitas-komunitas ini bersatu

memperjuangkan **akses frekuensi yang sebelumnya hanya dikuasai oleh operator besar**, dan mendesak perubahan kebijakan berdasarkan kebutuhan nyata di lapangan. Meski demikian, **koordinasi antar komunitas tidak selalu mudah**, seringkali terhambat oleh **perbedaan prioritas, tantangan teknis, dan keterbatasan sumber daya**. Namun, pengalaman ini membuktikan bahwa **kekuatan kolektif komunitas mampu mengubah paradigma teknologi nasional**, asalkan ada **kepemimpinan yang kuat** untuk menjaga momentum dan mengarahkan gerakan menuju tujuan bersama.

Advokasi Kebijakan untuk Regulasi 2.4 GHz



Advokasi kebijakan menjadi inti dari strategi perubahan yang digerakkan Onno W. Purbo, dengan puncak keberhasilannya adalah **liberalisasi pita frekuensi 2.4 GHz pada tahun 2005**. Langkah monumental ini membuka akses legal terhadap spektrum nirkabel tanpa lisensi mahal, memungkinkan **inovasi lokal seperti Wajanbolic dan RT/RW-net** berkembang pesat dan **menghubungkan ribuan desa dengan biaya rendah**. Antara tahun 2000–2005, Onno memimpin kampanye melalui **seminar kota-ke-kota, diskusi di milis seperti telematika@ dan indowli@, serta forum internasional seperti WSIS**, dengan tujuan meyakinkan regulator bahwa pita 2.4 GHz dapat digunakan publik tanpa mengganggu kepentingan militer maupun komersial.

Keberhasilan ini tidak datang tanpa rintangan. **Resistensi dari otoritas dan operator telekomunikasi** yang khawatir kehilangan kontrol pasar menjadi tantangan besar. Namun, strategi Onno didukung oleh **kolaborasi erat dengan komunitas WARNET dan jaringan nirkabel**, yang memperkuat tekanan publik terhadap kebijakan yang dianggap tidak berpihak pada rakyat. Komunitas-komunitas ini bersatu dalam mailing list, forum diskusi, dan aksi kolektif, memperjuangkan akses terhadap spektrum frekuensi yang sebelumnya dikuasai oleh segelintir pihak.

Secara kritis, **liberalisasi 2.4 GHz membuktikan bahwa perubahan regulasi dapat digerakkan dari bawah**, asalkan didukung oleh **komunitas yang solid, bukti teknis yang kuat, dan semangat gotong royong**. Namun, **keberlanjutan inisiatif rakyat seperti RT/RW-net tetap membutuhkan regulasi lanjutan** untuk melindungi mereka dari potensi dominasi komersial di masa depan.

Advokasi Perizinan Jaringan Komunitas

Selain memperjuangkan liberalisasi frekuensi 2.4 GHz, Onno W. Purbo juga aktif mengadvokasi kebijakan yang mempermudah *perizinan jaringan komunitas* di Indonesia. Tujuannya adalah menghilangkan hambatan birokrasi yang sering kali rumit dan mahal, agar inisiatif rakyat seperti RT/RW-net dapat

berkembang tanpa rasa takut akan razia atau sanksi hukum. Onno mendorong pemerintah untuk menyederhanakan proses perizinan dan mengusulkan *model regulasi berbasis komunitas dengan biaya rendah*, hasil kolaborasi bersama komunitas WARNET, jaringan nirkabel, dan akademisi.

Meski beberapa kebijakan Kominfo mulai mengakui keberadaan jaringan komunitas, tantangan besar tetap ada, seperti lambatnya birokrasi dan kurangnya pemahaman regulator terhadap kebutuhan nyata komunitas lokal. **Advokasi ini menjadi pengingat pentingnya kebijakan yang inklusif untuk mewujudkan *kedaulatan teknologi rakyat*,** dan menunjukkan bahwa perubahan regulasi memerlukan *tekanan kolektif dan dukungan lintas sektor.*

Setelah pembebasan spektrum, perjuangan tidak berhenti. Komunitas RT/RW-net melanjutkan upaya advokasi agar proses perizinan makin mudah dan relevan, demi memastikan bahwa **rakyat memiliki peran formal dalam ekosistem telekomunikasi nasional**, yang selama ini didominasi perusahaan besar.

Warisan dan Tantangan Keberlanjutan



Strategi Onno W. Purbo yang berfokus pada edukasi massal, kolaborasi komunitas, dan advokasi kebijakan telah merevolusi akses Internet di Indonesia. Melalui inisiatif seperti RT/RW-net yang berhasil menghubungkan 3.000 desa dan pemberdayaan lewat WARNET, Onno membuka jalan bagi teknologi berbasis rakyat. **Keberhasilan dalam meliberalisasi frekuensi 2.4 GHz dan mendorong perizinan jaringan komunitas menjadikan Indonesia contoh global dalam pemberdayaan digital masyarakat.**

Namun, warisan ini menghadapi tantangan serius: **kesenjangan digital di wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal), tekanan dari operator komersial, dan birokrasi yang lambat.** Untuk mengatasi hambatan ini, **diperlukan dukungan sistemik berupa regulasi yang berpihak pada komunitas, serta peran aktif sektor swasta dan akademisi dalam pelatihan dan penguatan infrastruktur lokal.**

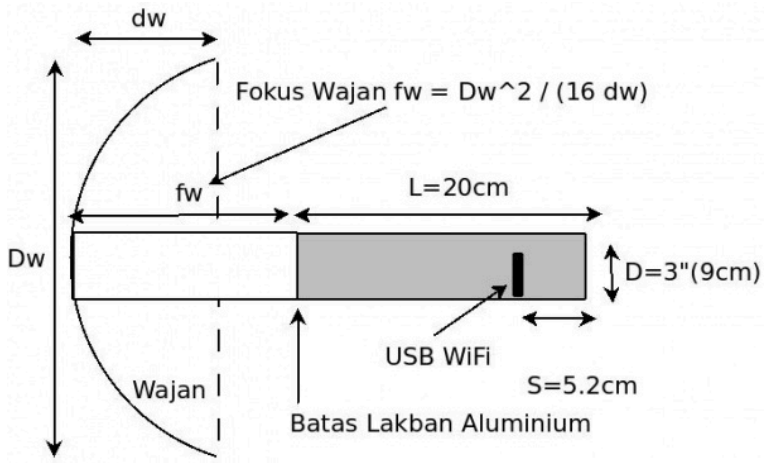
Dengan menggabungkan **pendekatan berbasis edukasi terbuka, kekuatan gotong royong komunitas, dan advokasi yang berbasis bukti,** Onno menghadirkan visi menuju *kedaulatan digital Indonesia yang inklusif*—sebuah tujuan yang hanya bisa dicapai jika semangat kolektif tetap dijaga dan diperkuat.

BAB: Wajanbolic – Ikon Inovasi Teknologi Murah



Di tengah tantangan kesenjangan digital Indonesia pada awal 2000-an, ketika akses Internet masih menjadi kemewahan di desa-desa terpencil, Onno W. Purbo melahirkan sebuah terobosan sederhana namun revolusioner: Wajanbolic. Berawal dari kebutuhan antena jarak jauh untuk memperluas jaringan RT/RW-net dengan biaya minim, Wajanbolic—antena WiFi berbasis wajan dapur dan pipa PVC—menjadi ikon inovasi teknologi murah yang mendemokratisasi konektivitas. Dengan kreativitas dan semangat gotong royong, inovasi ini tidak hanya menghubungkan ribuan komunitas ke dunia digital, tetapi juga membuktikan bahwa keterbatasan sumber daya dapat diubah menjadi peluang untuk kedaulatan teknologi. Bab ini akan mengupas bagaimana Wajanbolic, dengan kesederhanaannya, menjadi simbol perjuangan rakyat untuk akses Internet yang merata, menginspirasi generasi baru untuk berinovasi dengan apa yang ada di sekitar mereka. Pada gambar ditunjukkan Pak Gunadi yang pertama kali mencoba dan mengimplementasikan antenna Wajanbolic.

Skema Wajanbolic



Skema ini menggambarkan **antena wajanbolic**, sebuah perangkat penguat sinyal WiFi berbasis **parabola wajan** dan **pipa pralon** yang digunakan untuk menangkap sinyal WiFi jarak jauh secara murah dan kreatif. Desain ini dikenal sebagai solusi khas Indonesia untuk akses internet murah berbasis komunitas.

Komponen dan Ukuran:

1. **Wajan (Parabola Reflektor)**
    - **Diameter Wajan (Dw):** Menentukan luas permukaan penangkap sinyal.
    - **Kedalaman Wajan (dw):** Digunakan untuk menghitung titik fokus (`fw`).
    - **Fokus Wajan (fw):** Titik fokus adalah tempat konsentrasi pantulan sinyal WiFi dari permukaan wajan, dihitung dengan rumus:

$$fw = \frac{Dw^2}{16 \cdot dw}$$

    - Permukaan wajan berfungsi sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal ke fokus antena.
2. **Pipa Paralon**
    - **Panjang Pipa (L):** 20 cm
        - Pipa ini berfungsi sebagai dudukan struktur dan penyalur sinyal ke USB WiFi.
    - **Diameter Pipa (D):** 3 inci atau sekitar 9 cm
3. **USB WiFi**
    - Diposisikan di dalam pipa **pada titik fokus wajan**, agar bisa menerima sinyal pantulan secara optimal.
    - USB WiFi ini biasanya dihubungkan ke laptop atau komputer menggunakan kabel USB ekstensi.
4. **Batas Lakban Aluminium**
    - Terletak sekitar **5.2 cm (S)** dari ujung belakang pralon.
    - Digunakan untuk **mengurangi interferensi dan kebocoran sinyal**, serta memperbaiki arah pantulan gelombang.

Cara Kerja Singkat

- Sinyal WiFi dari luar dipantulkan oleh permukaan parabola wajan.
- Pantulan tersebut dikonsentrasikan pada titik fokus (fw), tempat di mana USB WiFi berada.
- USB WiFi menangkap sinyal yang sudah diperkuat dan diarahkan dari permukaan reflektor.
- Pipa pralon menjaga posisi dan orientasi antena agar tetap tepat di fokus.

Inovasi

Wajanbolic: Antena WiFi dari Wajan Dapur dan Pipa PVC

Pada awal 2000-an, Onno W. Purbo memperkenalkan Wajanbolic, sebuah inovasi antena WiFi berbasis wajan dapur dan pipa PVC yang menjadi simbol kreativitas teknologi rakyat Indonesia. Dirancang untuk memperluas jangkauan jaringan RT/RW-net dengan biaya minim, Wajanbolic memanfaatkan frekuensi 2.4 GHz untuk menghubungkan komunitas di desa-desa terpencil, di mana infrastruktur telekomunikasi mahal dan langka. Dengan biaya pembuatan kurang dari Rp100.000 (sekitar $10 pada 2005), antena ini mampu menjangkau hingga 3–5 kilometer, menjadikannya solusi ideal untuk jaringan komunitas yang kini mencakup 60.000+ jaringan dan 3.000 desa. Wajanbolic tidak hanya hemat biaya, tetapi juga mudah dibuat oleh masyarakat awam, menggunakan bahan sehari-hari dan panduan sederhana. Namun, tantangan seperti interferensi frekuensi, keterbatasan teknis dalam cuaca ekstrem, dan kebutuhan keahlian dasar untuk perakitan menghambat adopsi di beberapa wilayah. Secara kritis, Wajanbolic menunjukkan bahwa inovasi berbasis sumber daya lokal dapat mendemokratisasi akses Internet, menginspirasi komunitas global untuk mengadopsi pendekatan serupa.

Publikasi Spreadsheet Perhitungan Teknis Secara Terbuka

Untuk memastikan Wajanbolic dapat direplikasi secara luas, Onno menerbitkan spreadsheet perhitungan teknis secara terbuka, berisi rumus dan parameter untuk mendesain antena dengan presisi. Dokumen ini, yang dibagikan melalui milis seperti telematika@yahoogroups.com dan situs seperti lms.onnocenter.or.id, mencakup perhitungan gain antena, sudut radiasi, dan penyesuaian panjang pipa PVC untuk mengoptimalkan sinyal WiFi. Pendekatan open source ini memungkinkan teknisi amatir, pengelola WARNET, dan komunitas RT/RW-net untuk menyesuaikan Wajanbolic sesuai kebutuhan lokal tanpa ketergantungan pada alat mahal atau konsultan. Spreadsheet tersebut menjadi alat edukasi yang ampuh, mempercepat penyebaran teknologi dengan menyediakan pengetahuan teknis secara gratis. Namun, tantangan seperti literasi teknis yang rendah di daerah terpencil dan akses terbatas ke Internet untuk mengunduh dokumen membatasi jangkauan. Meski begitu, publikasi terbuka ini mencerminkan komitmen Onno untuk berbagi pengetahuan, memperkuat semangat gotong royong dalam membangun ekosistem teknologi rakyat.

Workshop Keliling untuk Penyebaran Ide Secara Viral

Onno W. Purbo melengkapi inovasi Wajanbolic dengan strategi workshop keliling, mengadakan pelatihan 2–3 kali seminggu di berbagai kota dan desa untuk menyebarkan ide secara viral. Workshop ini, yang menjangkau lebih dari 38.000 peserta termasuk 8.000+ guru, mengajarkan cara membuat Wajanbolic, mengelola jaringan RT/RW-net, dan memahami dasar-dasar WiFi. Dengan pendekatan langsung dan praktis, Onno memungkinkan peserta—dari pelajar hingga wirausahawan WARNET—untuk membawa pulang keahlian dan mereplikasi teknologi di komunitas mereka. Kanal YouTube OnnoCenter (60.000+ pelanggan) dan platform lms.onnocenter.or.id memperkuat penyebaran dengan video tutorial dan kursus daring. Efek viral terlihat dari ribuan situs Indonesia yang mendokumentasikan Wajanbolic di Google, mencerminkan antusiasme komunitas. Namun, tantangan seperti biaya transportasi untuk workshop di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal) dan kebutuhan pendanaan swadaya membatasi frekuensi pelatihan. Workshop ini tidak hanya menyebarkan teknologi, tetapi juga menanamkan kebanggaan akan inovasi lokal, menggerakkan gerakan teknologi rakyat.

Warisan dan Tantangan Keberlanjutan

Inovasi Wajanbolic, didukung oleh spreadsheet teknis terbuka dan workshop keliling, telah mengubah lanskap konektivitas di Indonesia, menghubungkan 3.000 desa melalui RT/RW-net dan menginspirasi komunitas global dengan pendekatan berbiaya rendah. Wajanbolic menjadi simbol kedaulatan teknologi, membuktikan bahwa kreativitas lokal dapat menyaingi solusi komersial. Saat ini, tantangan seperti persaingan dengan penyedia Internet seluler, interferensi frekuensi di daerah urban, dan kesenjangan literasi digital di daerah 3T mengancam keberlanjutan. Untuk mempertahankan warisan ini, teman-teman di sektor swasta dan akademik juga harus berinvestasi dalam edukasi teknologi dan infrastruktur lokal. Pendekatan Onno W. Purbo—menggabungkan inovasi sederhana, penyebaran pengetahuan terbuka, dan semangat gotong royong—menawarkan visi bagi Indonesia untuk membangun ekosistem digital yang inklusif dan mandiri, asalkan didukung oleh komitmen kolektif untuk teknologi rakyat.

Dampak

Ribuan Wajanbolic: Memperluas Jangkauan RT/RW-net

Inovasi Wajanbolic, antena WiFi berbasis wajan dapur dan pipa PVC yang diperkenalkan Onno W. Purbo, telah menghasilkan dampak luar biasa dengan ribuan unit dibuat oleh komunitas di seluruh Indonesia, secara signifikan memperluas jangkauan jaringan RT/RW-net. Dengan biaya pembuatan di bawah Rp100.000 (sekitar $10 pada 2005) dan kemampuan menjangkau 3–5 kilometer, Wajanbolic memungkinkan komunitas di 3.000 desa untuk terhubung ke Internet melalui lebih

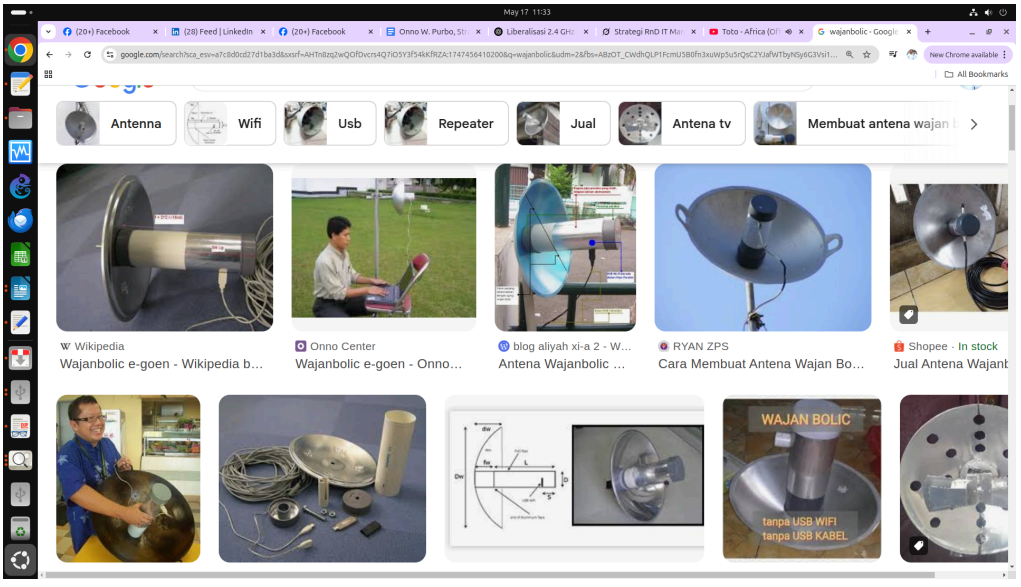
dari 60.000 jaringan komunitas. Teknologi ini, yang dirakit menggunakan bahan sehari-hari, mendemokratisasi akses Internet di daerah terpencil seperti Papua dan Nusa Tenggara, mendukung aktivitas mulai dari pendidikan daring hingga perdagangan lokal. Namun, tantangan seperti interferensi frekuensi di daerah urban, kerusakan akibat cuaca, dan kebutuhan pemeliharaan teknis oleh komunitas lokal menghambat keberlanjutan di beberapa wilayah. Secara kritis, proliferasi Wajanbolic menunjukkan kekuatan inovasi berbasis rakyat dalam menjembatani kesenjangan digital, tetapi memerlukan dukungan infrastruktur dan pelatihan untuk memaksimalkan dampaknya di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal).

Simbol Kedaulatan Akses Teknologi Indonesia



Wajanbolic telah melampaui fungsinya sebagai alat teknis untuk menjadi simbol kedaulatan akses teknologi Indonesia, mencerminkan kreativitas dan kemandirian bangsa dalam menghadapi keterbatasan sumber daya. Berbeda dengan solusi komersial yang mahal, Wajanbolic—dibuat dari wajan dapur yang ada di setiap rumah—mewakili semangat gotong royong dan inovasi lokal, diakui secara global sebagai contoh teknologi berbiaya rendah untuk konektivitas pedesaan. Keberhasilannya dalam mendukung RT/RW-net, yang menghubungkan ribuan komunitas, menanamkan kebanggaan nasional, terutama di kalangan teknisi, pelajar, dan pengelola WARNET yang terlibat dalam pembuatannya. Wajanbolic juga menginspirasi gerakan serupa di negara lain, seperti Bhutan dan Afrika Selatan, melalui presentasi Onno di forum internasional. Namun, dominasi penyedia Internet seluler dan kurangnya promosi pemerintah untuk inovasi lokal berisiko mengurangi relevansinya. Meski begitu, Wajanbolic tetap menjadi lambang bahwa teknologi dapat dikuasai oleh rakyat, memperkuat visi kedaulatan digital yang inklusif.

Fenomena Pencarian Google untuk Wajanbolic



Pencarian Google dengan kata kunci “Wajanbolic” menghasilkan keluaran yang luar biasa, dengan ribuan situs, forum, dan artikel dari Indonesia yang mendokumentasikan panduan pembuatan, cerita sukses, dan diskusi komunitas. Fenomena ini mencerminkan popularitas dan dampak budaya Wajanbolic sebagai gerakan teknologi rakyat, didorong oleh milis seperti telematika@yahoogroups.com, video tutorial di YouTube OnnoCenter (60.000+ pelanggan), dan kursus di lms.onnocenter.or.id. Situs-situs ini, mulai dari blog teknisi amatir hingga laporan akademik, menunjukkan bagaimana Wajanbolic telah menjadi topik nasional, dengan komunitas berbagi pengalaman tentang penerapannya di RT/RW-net. Namun, melimpahnya informasi juga menimbulkan tantangan, seperti kurangnya kurasi untuk memastikan akurasi teknis dan kesulitan mengakses konten ini di daerah dengan konektivitas buruk. Fenomena ini menggarisbawahi antusiasme komunitas terhadap Wajanbolic, tetapi juga menyoroti perlunya platform terpusat untuk mendukung edukasi teknologi yang terstruktur dan merata.

Tantangan dan Visi Keberlanjutan

Dampak Wajanbolic—dari ribuan unit yang memperluas RT/RW-net hingga posisinya sebagai simbol kedaulatan teknologi—telah mengubah paradigma akses Internet di Indonesia, menghubungkan komunitas terpencil dan menumbuhkan kebanggaan nasional. Keluaran pencarian Google yang luar biasa memperkuat statusnya sebagai gerakan yang terdokumentasi dengan baik, menginspirasi inovator lokal dan global. Saat ini, tantangan seperti persaingan dengan teknologi komersial, interferensi frekuensi, dan kesenjangan literasi digital di daerah 3T mengancam keberlanjutan.

Strategi

Indonesia, dengan karakter geografis kepulauan dan banyak wilayah terpencil, masih menghadapi kesenjangan besar dalam akses internet yang merata. Riset dan pengembangan (R&D) teknologi informasi yang bersifat mandiri—tidak tergantung vendor asing—menjadi fondasi utama dalam menciptakan solusi akses komunikasi murah dan efisien.

Salah satu solusi ikonik dalam gerakan teknologi rakyat adalah **Wajanbolic**, yaitu antena WiFi buatan sendiri yang menggunakan wajan bekas sebagai reflektor sinyal. Dikembangkan dengan prinsip *do-it-yourself* (DIY), Wajanbolic bukan hanya simbol inovasi grassroots, tetapi juga fondasi yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendorong **kedaulatan teknologi dan R&D IT mandiri di Indonesia.**

Strategi Utama

- **Fokus pada solusi DIY dengan bahan lokal** - Menggunakan wajan bekas, USB WiFi adaptor, pipa paralon, dan kaleng biskuit sebagai elemen utama antena. Ini meminimalkan biaya dan meningkatkan aksesibilitas.
- **Berbagi pengetahuan melalui dokumentasi dan pelatihan** - Menyediakan modul pelatihan, video tutorial, dan ebook gratis untuk sekolah, pesantren, komunitas, dan kampus.
- **Pendekatan replikasi massal melalui komunitas** - Mendorong pembentukan komunitas pengguna dan inovator lokal, seperti RT/RW-Net dan Komunitas Warung Internet (WARNET), agar menyebarluaskan Wajanbolic secara mandiri.
- **Integrasi dengan platform R&D nasional** - Bekerja sama dengan politeknik, SMK, dan universitas teknologi (seperti ITTS) untuk meningkatkan aspek teknis, efisiensi sinyal, dan pengembangan dokumentasi ilmiah.

Langkah-Langkah Implementasi

1. Audit & Riset Teknis Awal
- Evaluasi ulang performa Wajanbolic dengan teknologi WiFi terkini (802.11ac/ax).
- Dokumentasi penguatan sinyal, jangkauan maksimal, dan stabilitas link.

2. Pengembangan Prototipe Modern
- Mendesain versi baru Wajanbolic menggunakan printer 3D atau bahan tahan cuaca.
- Menggunakan SDR (Software Defined Radio) untuk eksperimen frekuensi alternatif.

3. Dokumentasi & Open Source
- Membuat repositori GitHub atau Wiki publik berisi blueprint, tutorial, dan panduan pemasangan.
- Menyediakan panduan troubleshooting untuk pemula.

4. Pelatihan dan Lokakarya Nasional
- Pelatihan teknisi dan siswa SMK/Politeknik dalam pembuatan dan instalasi Wajanbolic.
- Lokakarya komunitas berbasis kabupaten/kota.

5. Penerapan di Wilayah 3T
- Distribusi proyek ke sekolah 3T yang belum terjangkau internet, integrasi dengan server Internet Offline.

6. Pemetaan Dampak
- Monitoring kecepatan, stabilitas, dan penghematan biaya internet setelah penggunaan Wajanbolic.
- Survey kepuasan pengguna dan pengaruh terhadap kegiatan digital (edukasi, ekonomi mikro, dsb).

Catatan Tantangan & Solusi

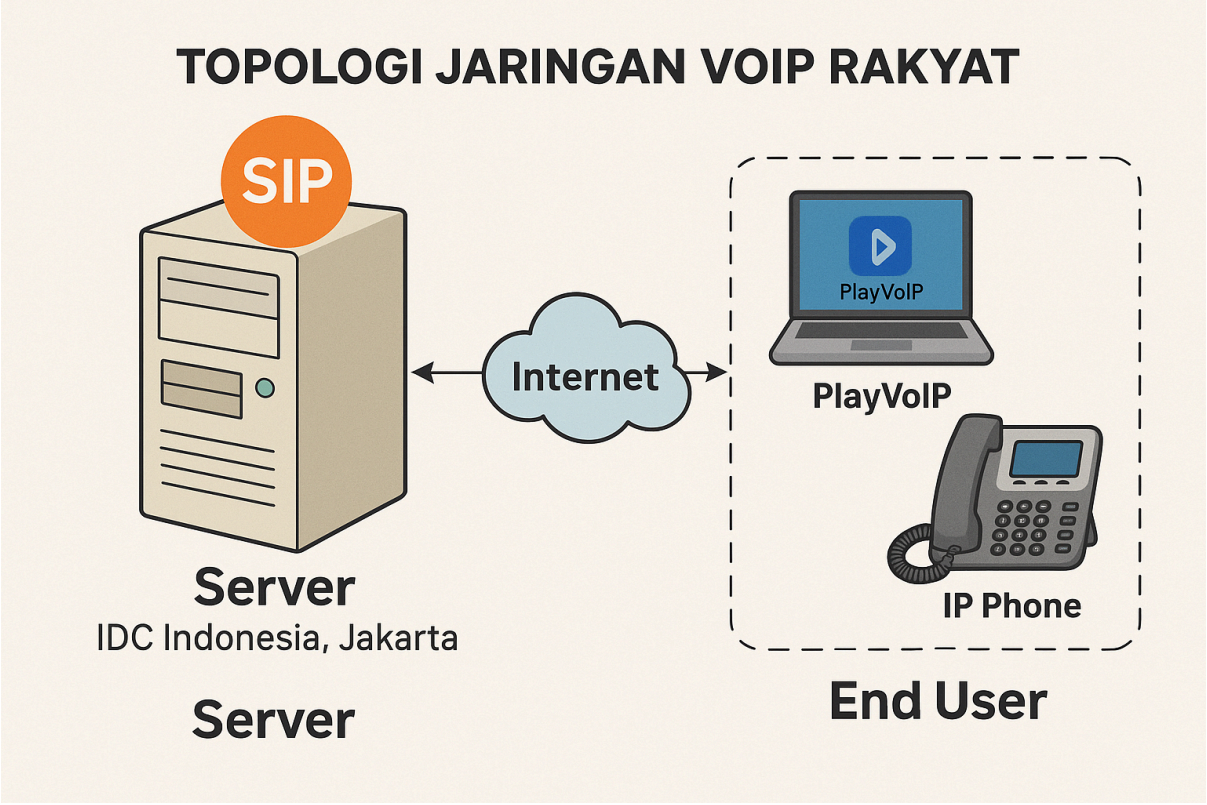
Tantangan	Solusi
Kurangnya dokumentasi ilmiah formal	Kolaborasi dengan kampus untuk publikasi jurnal open access
Resistensi dari vendor internet komersial	Edukasi bahwa Wajanbolic adalah solusi komplementer, bukan kompetitor
Keterbatasan bahan di daerah terpencil	Distribusi massal starter kit atau panduan pengganti bahan lokal
Kurangnya pelatih teknis	Cetak trainer nasional dari komunitas teknologi dan SMK

Wajanbolic bukan sekadar antena murahan, tapi **simbol perlawanan terhadap ketergantungan** dan representasi **kemandirian teknologi berbasis rakyat**. Ia membuka jalan bagi model-model R&D lainnya: dari sensor lokal, perangkat IoT pertanian, hingga jaringan desa mandiri. Dengan pendekatan sistematis, berbasis komunitas, dan penguatan dokumentasi terbuka, **Wajanbolic dapat menjadi blueprint nasional untuk R&D IT mandiri**.

BAB: VoIP Rakyat – Komunikasi Digital untuk Semua

Pada 1990-an hingga awal 2000-an, Indonesia menghadapi tantangan besar dalam komunikasi jarak jauh akibat biaya telepon yang sangat tinggi, terutama untuk panggilan antar kota dan internasional. Tarif telepon, yang diatur oleh monopoli PT Telkom, sering kali mencapai puluhan ribu rupiah per menit, menjadikannya tidak terjangkau bagi sebagian besar masyarakat, terutama di pedesaan. Infrastruktur telepon kabel terbatas pada wilayah urban, meninggalkan desa-desa bergantung pada surat atau komunikasi fisik yang lambat dan mahal. Krisis ekonomi 1998 memperparah situasi, membuat komunikasi telepon semakin sulit diakses oleh keluarga berpenghasilan rendah. Konteks ini menciptakan kesenjangan komunikasi yang lebar, menghambat akses ke informasi, pendidikan, dan peluang ekonomi. Onno W. Purbo, menyadari hambatan ini, melihat potensi teknologi Internet sebagai alternatif komunikasi yang jauh lebih murah, mendorongnya untuk mengembangkan solusi berbasis komunitas yang dapat mengatasi ketergantungan pada infrastruktur telekomunikasi konvensional.

Topologi



Gambar ini menunjukkan **topologi jaringan VoIP Rakyat**, sebuah sistem komunikasi suara berbasis Internet yang dikembangkan sebagai bagian dari gerakan teknologi rakyat di Indonesia. Topologi ini menggambarkan hubungan antara **server pusat** dan **pengguna akhir (end user)** dalam jaringan VoIP Rakyat.

Server VoIP Rakyat

Server utama ditempatkan di **IDC Indonesia, Jakarta**, dan menjalankan layanan VoIP berbasis **SIP (Session Initiation Protocol)**. SIP dipilih karena lebih fleksibel, sederhana, dan kompatibel dengan berbagai perangkat modern dibandingkan protokol sebelumnya seperti H.323.

Server ini menjadi pusat koneksi bagi ribuan pengguna di seluruh Indonesia, mengelola proses pendaftaran akun, pengaturan panggilan, dan routing sinyal komunikasi antar pengguna.

Internet sebagai Media Transmisi

Komunikasi antara server dan pengguna dilakukan melalui **jaringan Internet publik**. Di era VoIP Rakyat, konektivitas ini difasilitasi oleh WARNET (warung internet) dan jaringan komunitas **RT/RW-net**, yang menjadi ujung tombak akses Internet murah di berbagai wilayah, termasuk daerah pedesaan.

End User (Pengguna Akhir)

Pengguna akhir dapat mengakses layanan VoIP Rakyat dengan dua cara utama:

- **Aplikasi PlayVoIP**: Sebuah *softphone* berbasis desktop yang memungkinkan pengguna melakukan panggilan suara dari komputer atau laptop secara gratis menggunakan jaringan Internet.

- **Perangkat IP Phone**: Sebuah telepon khusus yang langsung terhubung ke Internet dan mendukung protokol SIP. IP Phone ini dapat digunakan di rumah, kantor, atau WARNET yang sudah terhubung ke jaringan VoIP Rakyat.

Dengan topologi ini, VoIP Rakyat berhasil menciptakan **sistem komunikasi komunitas yang efisien, murah, dan berbasis open source**, menjadi cikal bakal layanan VoIP modern yang kita nikmati saat ini. Inisiatif ini juga menjadi bukti bahwa teknologi dapat berkembang secara mandiri jika didukung oleh komunitas yang kuat, kebijakan yang mendukung, dan semangat gotong royong.

Perjuangan

VoIP Merdeka: Membuka Jalan Komunikasi Murah (2003)

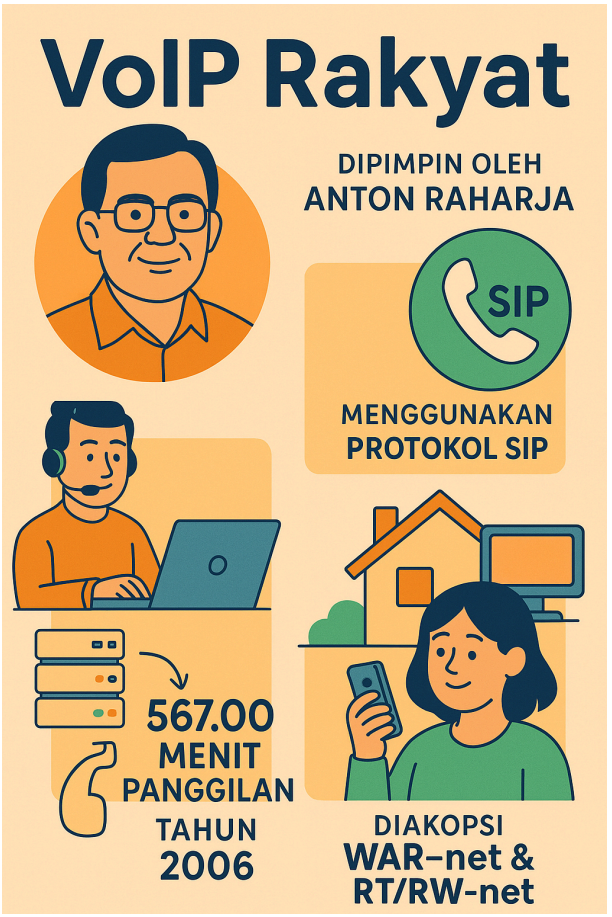
Pada tahun 2003, di tengah **biaya telepon yang mahal** dan **keterbatasan infrastruktur komunikasi** pasca-krisis ekonomi 1998, **Onno W. Purbo bekerja sama dengan APJII** untuk meluncurkan **VoIP Merdeka**. Menggunakan **protokol H.323**, inisiatif ini **memungkinkan panggilan suara gratis antar komputer melalui Internet**, sebuah **alternatif revolusioner** bagi masyarakat yang terbebani tarif telepon antar kota dan internasional.

VoIP Merdeka memanfaatkan WARNET, yang saat itu berjumlah sekitar 100.000 unit, sebagai pusat adopsi, memicu **"euphoria VoIP" secara nasional**. Onno mendukung perjuangan ini lewat **seminar intensif dan dokumentasi terbuka**, membekali komunitas cara membangun jaringan VoIP dengan **perangkat sederhana**.

Namun, ada tantangan: **kualitas Internet buruk (64–128 Kbps)**, **latensi tinggi**, dan **regulasi ketat** yang **melarang VoIP tersambung ke telepon rumah**, sehingga membatasi jangkauannya.

Meski begitu, VoIP Merdeka meletakkan fondasi penting untuk komunikasi murah, dan menjadi bukti bahwa **teknologi open source bisa menantang monopoli telekomunikasi** serta **memberdayakan rakyat.**

Transisi ke VoIP Rakyat: Inovasi Berbasis SIP (2005)



Perjuangan **VoIP Merdeka berevolusi menjadi VoIP Rakyat pada 2005**, dipimpin oleh **Anton Raharja** bersama timnya di **ICT Center DKI Jakarta** (termasuk Sindu Irawan dan Bona Simanjuntak). **Perpindahan dari protokol H.323 ke SIP (Session Initiation Protocol)** menjadi titik balik penting, karena **SIP lebih sederhana, fleksibel, dan kompatibel** dengan berbagai perangkat seperti **softphone dan IP phone**.

VoIP Rakyat dioperasikan dari server di IDC Indonesia, Jakarta, dan **mencatat 567.000 menit panggilan pada tahun 2006**—sebuah **prestasi luar biasa untuk layanan komunitas**. Panduan penggunaan di situs www.voiprakyat.or.id dan aplikasi seperti **PlayVoIP** memudahkan adopsi oleh **WARNET dan jaringan RT/RW-net** (60.000+ jaringan, 3.000 desa).

Onno W. Purbo mendukung lewat workshop untuk memperluas pengetahuan teknis ke komunitas lokal.

Namun, **regulasi pemerintah yang membatasi VoIP hanya untuk panggilan antar komputer**, serta **infrastruktur Internet yang lemah**, membuat proyek ini **sempat terhenti pada 2004** sebelum akhirnya **dihidupkan kembali**.

Transisi ini membuktikan kemampuan adaptasi komunitas, tetapi juga **menyoroti hambatan regulasi dan teknis** yang **masih menjadi tantangan utama** bagi inovasi berbasis rakyat.

Kenyamanan VoIP Modern: WhatsApp, Telegram, Palapa, dan Zoom

Evolusi VoIP yang dipelopori oleh Onno W. Purbo dan Anton Raharja membuka jalan bagi komunikasi Internet modern, yang kini **didominasi oleh platform seperti WhatsApp, Telegram, Palapa, dan Zoom**.

- **WhatsApp dan Telegram:** menawarkan panggilan suara & video VoIP dengan enkripsi end-to-end, digunakan luas di Indonesia untuk komunikasi pribadi dan bisnis.
- **Palapa:** aplikasi VoIP lokal, mendukung komunikasi komunitas dengan fokus pada privasi dan biaya rendah—mencerminkan semangat VoIP Rakyat.
- **Zoom:** naik daun saat pandemi dan kini menjadi standar konferensi video, menggabungkan VoIP dan kolaborasi canggih.

Platform-platform ini berdiri di atas infrastruktur Internet yang kini jauh lebih baik (kecepatan **10–50 Mbps di perkotaan**) dan **regulasi yang lebih longgar** dibandingkan masa **VoIP Merdeka**.

Namun, ketergantungan pada platform asing seperti WhatsApp dan Zoom menimbulkan **risiko**:

- Privasi data
- Ketimpangan akses di daerah terpencil

Kenyamanan digital hari ini adalah hasil dari **fondasi perjuangan awal VoIP berbasis komunitas**, namun juga menjadi **pengingat pentingnya pengembangan solusi lokal yang mandiri dan berdaulat.**

Tantangan dan Warisan untuk Kedaulatan Teknologi

Perjuangan VoIP Merdeka dan VoIP Rakyat menghadapi **tantangan besar**, mulai dari infrastruktur Internet yang terbatas hingga regulasi yang berpihak pada operator telekomunikasi besar.
Namun, semangat **open source dan kolaborasi** antara Onno W. Purbo, Anton Raharja, komunitas WARNET, dan RT/RW-net berhasil menciptakan model komunikasi murah dan inklusif, yang mampu menghubungkan ribuan pengguna di seluruh Indonesia.
Warisan perjuangan ini tercermin dalam kenyamanan VoIP modern, yang kini menjadi bagian tak terpisahkan dari keseharian lewat aplikasi seperti WhatsApp dan Zoom.

Pada hari ini, masih ada tantangan yang tetap relevan:

- Kesenjangan digital di wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal)
- **Risiko keamanan data** pada platform asing

- Minimnya dukungan terhadap **aplikasi lokal** seperti Palapa

Untuk melanjutkan warisan ini:

- Pemerintah harus mengeluarkan regulasi **pro-inovasi** VoIP lokal, termasuk perizinan yang mudah dan subsidi infrastruktur
- Komunitas harus terus dilatih agar bisa mengembangkan **solusi mandiri**

Pendekatan Onno & Anton—berbasis edukasi, gotong royong, dan teknologi open source—memberikan visi strategis bagi Indonesia untuk membangun **ekosistem komunikasi digital yang merata dan berdaulat.**

Inovasi

Inovasi Brikerbox: Solusi IP PBX Berbasis Open Source

Anton Raharja, melalui PT. Infotech Media Nusantara (ITMN) yang didirikannya pada 2008, mengembangkan Brikerbox, sebuah solusi IP Private Branch Exchange (PBX) berbasis open source yang merevolusi komunikasi telekomunikasi untuk bisnis dan komunitas di Indonesia. Diluncurkan sebagai kelanjutan dari pengalaman Anton dalam VoIP Rakyat, Brikerbox mengintegrasikan komunikasi digital melalui saluran telepon konvensional, IP Phone, dan perangkat lain seperti softphone atau telepon analog melalui Analog Telephone Adapter (ATA). Dengan fitur canggih seperti Call Recording, Voicemail, Interactive Voice Response (IVR), dan Mobile Extension, Brikerbox menawarkan alternatif hemat biaya dibandingkan IP PBX merek global seperti Cisco atau Avaya, dengan penghematan biaya telekomunikasi hingga 60% melalui optimalisasi panggilan On-Net dan VoIP. Dirancang untuk berbagai segmen, dari usaha kecil (SOHO) hingga perusahaan besar, Brikerbox menjadi produk lokal dengan daya saing global, diimplementasikan di berbagai sektor seperti pemerintahan, BUMN, sekolah, dan rumah sakit. Namun, tantangan seperti kurangnya kesadaran pasar tentang solusi lokal dan kebutuhan pelatihan teknis untuk pengoperasian fitur kompleks sempat menghambat adopsi awal.

Penggunaan Kode Area ENUM +62520 dan +62521

Salah satu inovasi kunci Brikerbox adalah pemanfaatan kode area ENUM (Electronic Number Mapping) +62520 dan +62521, yang memungkinkan integrasi nomor telepon dengan infrastruktur Internet untuk panggilan berbasis IP yang efisien. ENUM memetakan nomor telepon ke alamat Internet, memungkinkan panggilan VoIP antar pengguna tanpa melalui jaringan telepon konvensional (PSTN), sehingga mengurangi biaya secara signifikan. Kode area +62520 dan +62521, yang dikembangkan sebagai bagian dari ekosistem VoIP komunitas, memfasilitasi panggilan gratis atau berbiaya rendah antar pengguna Brikerbox, terutama dalam jaringan komunitas seperti RT/RW-net atau WARNET. Inisiatif ini mencerminkan semangat Anton untuk memperluas akses komunikasi murah, melanjutkan warisan VoIP Rakyat. Namun, implementasi ENUM menghadapi kendala seperti regulasi ketat dari pemerintah, yang membatasi panggilan VoIP ke jaringan telepon rumah

atau seluler, serta kebutuhan infrastruktur Internet yang stabil untuk menjaga kualitas panggilan. Meski begitu, penggunaan ENUM menunjukkan potensi teknologi lokal untuk mengatasi hambatan komunikasi, terutama di lingkungan dengan sumber daya terbatas.

Jutaan Menit Panggilan Gratis melalui Internet Exchange Indonesia

Brikerbox memanfaatkan server di Internet Exchange Indonesia untuk menyediakan jutaan menit panggilan gratis, sebuah terobosan yang memperkuat posisinya sebagai solusi komunikasi berbasis komunitas. Dengan terhubung ke Internet Exchange Point (IXP) seperti Biznet Internet Exchange (BIX), Brikerbox memungkinkan pertukaran data langsung antar penyedia layanan, mempersingkat jalur komunikasi dan menghilangkan biaya tambahan untuk panggilan VoIP antar pengguna dalam ekosistem yang sama. Pada puncaknya, server VoIP berbasis Brikerbox dan VoIP Rakyat mencatat ratusan ribu hingga jutaan menit panggilan gratis, terutama melalui jaringan WARNET (100.000 unit pada 2000–2002) dan RT/RW-net (60.000+ jaringan, 3.000 desa). Keberhasilan ini didukung oleh pendekatan open source Anton, yang memungkinkan komunitas untuk mengelola server sendiri dengan biaya minimal. Namun, tantangan seperti kualitas Internet yang bervariasi, terutama di daerah terpencil, dan regulasi yang membatasi VoIP komunitas menyebabkan fluktuasi dalam adopsi. Inisiatif ini menegaskan bahwa infrastruktur seperti IXP dapat menjadi tulang punggung komunikasi murah, tetapi memerlukan dukungan kebijakan untuk keberlanjutan.

Tantangan dan Warisan untuk Kedaulatan Teknologi

Inovasi Brikerbox, dengan kode area ENUM dan jutaan menit panggilan gratis melalui Internet Exchange Indonesia, telah mengubah paradigma komunikasi di Indonesia, menjadikan teknologi open source sebagai alat pemberdayaan rakyat. Anton Raharja, melanjutkan semangat VoIP Rakyat, berhasil menjadikan Brikerbox sebagai produk lokal yang kompetitif di pasar global, diterapkan di berbagai industri dan bahkan dipamerkan di pameran internasional seperti ICT Expo di Jakarta dan Singapura. Saat ini, tantangan seperti dominasi platform VoIP asing (WhatsApp, Zoom), kesenjangan infrastruktur di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal), dan regulasi yang masih membatasi VoIP komunitas tetap menjadi hambatan. Untuk mempertahankan warisan ini, pemerintah perlu mengeluarkan kebijakan yang mendukung solusi lokal, seperti perizinan yang lebih mudah dan subsidi untuk IXP di daerah terpencil. Pendekatan Anton—menggabungkan kreativitas open source, kolaborasi komunitas, dan fokus pada biaya rendah—menawarkan cetak biru bagi Indonesia untuk membangun ekosistem komunikasi digital yang inklusif dan berdaulat, asalkan didukung oleh investasi dalam infrastruktur dan edukasi teknologi.

Dampak

Alternatif Komunikasi Murah: Membebaskan Masyarakat dari Operator Besar

Inovasi Onno W. Purbo dan kolaboratornya, seperti pengembangan RT/RW-net, VoIP Merdeka, VoIP Rakyat, dan Brikerbox, telah menciptakan alternatif komunikasi murah yang secara signifikan mengurangi ketergantungan masyarakat Indonesia pada operator telekomunikasi besar. Dengan memanfaatkan teknologi open source dan infrastruktur berbasis komunitas, seperti jaringan nirkabel RT/RW-net (60.000+ jaringan, 3.000 desa) dan WARNET (100.000 unit pada puncaknya), solusi ini memungkinkan panggilan suara, pesan, dan akses data dengan biaya minimal, sering kali gratis melalui server seperti Internet Exchange Indonesia. VoIP Rakyat, misalnya, mencatat 567.000 menit panggilan gratis pada 2006, sementara Brikerbox menghemat hingga 60% biaya telekomunikasi untuk bisnis. Dampaknya sangat terasa di daerah terpencil, di mana tarif telepon tradisional tidak terjangkau, memungkinkan petani, pelajar, dan wirausahawan kecil untuk berkomunikasi dan mengakses pasar digital. Namun, tantangan seperti regulasi yang membatasi VoIP komunitas dan persaingan dari operator besar, yang menawarkan paket Internet seluler murah, mengancam keberlanjutan model ini. Meski begitu, alternatif komunikasi murah ini telah mendemokratisasi akses teknologi, memberdayakan masyarakat untuk terhubung tanpa beban biaya tinggi.

Kebanggaan Teknologi Lokal: Simbol Kedaulatan Digital

Inisiatif seperti Wajanbolic, VoIP Rakyat, dan Brikerbox tidak hanya menyediakan solusi praktis, tetapi juga menumbuhkan kebanggaan teknologi lokal, memperkuat identitas Indonesia sebagai bangsa inovator. Wajanbolic, antena WiFi berbasis wajan dapur, menjadi simbol kreativitas rakyat, diakui secara global sebagai contoh solusi berbiaya rendah untuk konektivitas pedesaan. Brikerbox, dikembangkan oleh Anton Raharja, bersaing dengan merek internasional seperti Cisco, diterapkan di sektor pemerintahan, BUMN, dan pendidikan, serta dipamerkan di pameran ICT internasional di Jakarta dan Singapura. Keberhasilan ini, didukung oleh semangat open source dan gotong royong, menginspirasi komunitas teknologi lokal untuk percaya pada potensi solusi dalam negeri. Pencarian “RT/RW-net” di Google menghasilkan ribuan situs Indonesia, mencerminkan dokumentasi luas dan antusiasme komunitas terhadap teknologi lokal. Namun, tantangan seperti minimnya dukungan pemerintah untuk inovasi lokal dan dominasi platform asing seperti WhatsApp dan Zoom berisiko mengurangi sorotan pada produk dalam negeri. Secara kritis, kebanggaan ini harus diperkuat dengan kebijakan yang mempromosikan teknologi lokal untuk menjaga momentum kedaulatan digital.

Tantangan dan Visi Keberlanjutan

Dampak alternatif komunikasi murah dan kebanggaan teknologi lokal telah mengubah lanskap digital Indonesia, menghubungkan jutaan orang dan menegaskan bahwa inovasi berbasis rakyat dapat menyaingi solusi global. Namun, pada 17 Mei 2025, tantangan seperti regulasi yang masih membatasi VoIP dan jaringan komunitas, kesenjangan infrastruktur di daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal), dan persaingan dengan platform asing mengancam keberlanjutan. Untuk mempertahankan dampak ini, pemerintah perlu mengeluarkan kebijakan yang mendukung jaringan komunitas, seperti perizinan yang lebih mudah dan subsidi untuk Internet Exchange Point di daerah terpencil. Sektor swasta dan akademik juga

harus berinvestasi dalam pelatihan dan promosi produk lokal seperti Brikerbox dan Palapa. Warisan Onno W. Purbo dan Anton Raharja—berpijak pada kreativitas, open source, dan kolaborasi komunitas—menawarkan visi bagi Indonesia untuk membangun ekosistem digital yang inklusif dan mandiri. Dengan dukungan sistemik, kebanggaan teknologi lokal dapat terus menjadi pendorong kedaulatan digital, memastikan bahwa komunikasi murah tetap dapat diakses oleh semua lapisan masyarakat.

Strategi

Kolaborasi dengan ISP dan Pengembang Komunitas

Onno W. Purbo dan timnya, termasuk tokoh seperti Anton Raharja, memanfaatkan kolaborasi dengan Internet Service Provider (ISP) dan pengembang komunitas untuk memperluas akses komunikasi murah berbasis Internet di Indonesia. Pada awal 2000-an, kerja sama dengan APJII (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia) memungkinkan pengembangan VoIP Merdeka, yang menggunakan infrastruktur WARNET (100.000 unit pada puncaknya) untuk mendistribusikan layanan VoIP gratis antar komputer. Komunitas pengembang, seperti yang tergabung dalam milis telematika@yahoogroups.com dan indowli@yahoogroups.com, berperan dalam berbagi kode open source, mengembangkan aplikasi seperti PlayVoIP, dan mendukung jaringan RT/RW-net (60.000+ jaringan, 3.000 desa). Kolaborasi ini menciptakan ekosistem gotong royong, di mana ISP menyediakan bandwidth dan pengembang komunitas menyumbangkan keahlian teknis untuk proyek seperti VoIP Rakyat dan Brikerbox. Namun, tantangan seperti perbedaan prioritas antara ISP komersial dan komunitas, serta keterbatasan sumber daya untuk koordinasi, sering menghambat skalabilitas. Meski begitu, kolaborasi ini menunjukkan kekuatan komunitas dalam mendorong inovasi teknologi rakyat, menjadi fondasi bagi kedaulatan digital.

Publikasi “VoIP Cookbook” untuk Edukasi Massal

Untuk menyebarkan pengetahuan teknis dan mendorong adopsi VoIP, Onno W. Purbo dan timnya menerbitkan “VoIP Cookbook,” sebuah panduan praktis yang menjadi alat edukasi penting bagi komunitas teknologi di Indonesia. Buku ini, ditulis dalam bahasa yang mudah dipahami, menyediakan langkah-langkah untuk mengatur sistem VoIP, mulai dari konfigurasi server hingga penggunaan protokol seperti SIP (Session Initiation Protocol) untuk VoIP Rakyat. Disebarkan melalui workshop intensif (2–3 kali seminggu) dan platform daring seperti lms.onnocenter.or.id, “VoIP Cookbook” menjangkau ribuan pelajar, teknisi, dan pengelola WARNET, memberdayakan mereka untuk membangun solusi komunikasi murah. Buku ini juga mendokumentasikan inovasi lokal seperti Wajanbolic dan Brikerbox, memperkuat kebanggaan teknologi dalam negeri. Namun, tantangan seperti distribusi terbatas ke daerah terpencil dan kebutuhan pembaruan konten untuk mengikuti perkembangan teknologi membatasi dampaknya. Secara kritis, “VoIP Cookbook” mencerminkan komitmen Onno untuk edukasi terbuka, memungkinkan komunitas mengelola

teknologi mereka sendiri, tetapi memerlukan saluran distribusi yang lebih luas untuk menjangkau daerah 3T (terdepan, terluar, tertinggal).

Operasional Berbasis Infrastruktur Lokal

Operasional VoIP Merdeka, VoIP Rakyat, dan Brikerbox berpusat pada infrastruktur lokal, sebuah strategi yang meminimalkan ketergantungan pada teknologi impor dan operator besar. Server VoIP Rakyat, misalnya, dioperasikan dari IDC Indonesia di Jakarta, sementara Brikerbox memanfaatkan Internet Exchange Point (IXP) seperti Biznet Internet Exchange (BIX) untuk pertukaran data lokal yang hemat biaya, mencatat jutaan menit panggilan gratis. Infrastruktur lokal ini didukung oleh perangkat sederhana seperti PC bekas dan antena Wajanbolic, yang digunakan dalam jaringan RT/RW-net untuk menghubungkan 3.000 desa. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi biaya, tetapi juga memberdayakan komunitas untuk memelihara dan mengembangkan jaringan mereka sendiri, seperti melalui server WARNET berbasis Linux. Namun, kualitas Internet yang bervariasi, terutama di daerah terpencil (bandwidth sering di bawah 128 Kbps pada 2000-an), dan kurangnya dukungan pemerintah untuk IXP di luar kota besar menghambat keandalan. Operasional berbasis lokal ini menegaskan potensi kemandirian teknologi, tetapi memerlukan investasi infrastruktur yang lebih besar untuk menjaga keberlanjutan.

Warisan dan Tantangan Keberlanjutan

Kolaborasi dengan ISP dan pengembang komunitas, publikasi “VoIP Cookbook,” dan operasional berbasis infrastruktur lokal telah menciptakan dampak luar biasa, menghubungkan ribuan komunitas melalui komunikasi murah dan memperkuat kedaulatan teknologi Indonesia. Inisiatif ini memungkinkan masyarakat mengakses VoIP gratis, menghemat biaya hingga 60% melalui solusi seperti Brikerbox, dan menumbuhkan kebanggaan terhadap inovasi lokal. Saat ini, tantangan seperti kesenjangan digital di daerah 3T, dominasi platform VoIP asing (WhatsApp, Zoom), dan minimnya regulasi yang mendukung jaringan komunitas tetap relevan. Untuk melanjutkan warisan ini, pemerintah perlu mengeluarkan kebijakan yang mempermudah perizinan jaringan komunitas dan menyediakan subsidi untuk IXP lokal, sementara sektor swasta dan akademik harus berinvestasi dalam pelatihan dan promosi solusi dalam negeri. Pendekatan Onno W. Purbo dan Anton Raharja—berpijak pada kolaborasi, edukasi terbuka, dan kemandirian lokal—menawarkan visi bagi Indonesia untuk membangun ekosistem komunikasi digital yang inklusif, asalkan semangat gotong royong terus dipupuk.

BAB: OpenBTS dan Jaringan Seluler Komunitas

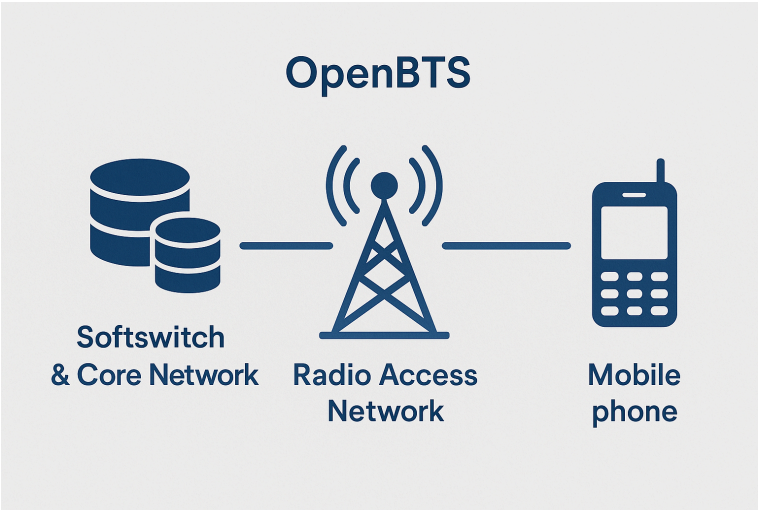


Di daerah terpencil seperti Papua, kesenjangan akses seluler menjadi tantangan besar yang menghambat komunikasi dan akses informasi. Banyak komunitas di wilayah ini terisolasi karena minimnya infrastruktur telekomunikasi, ditambah dengan tantangan geografis seperti pegunungan dan hutan lebat. Padahal, konektivitas seluler dapat membuka peluang ekonomi, pendidikan, dan layanan kesehatan, yang sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat setempat.

OpenBTS (Open Base Transceiver Station) hadir sebagai solusi inovatif berbasis open-source untuk mengatasi masalah ini. Teknologi ini memungkinkan pembangunan jaringan seluler 2G dengan biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan infrastruktur konvensional. Dengan memanfaatkan perangkat lunak sumber terbuka dan perangkat keras yang terjangkau, OpenBTS dapat diimplementasikan di daerah terpencil tanpa ketergantungan pada penyedia layanan telekomunikasi besar.

Solusi ini tidak hanya hemat biaya, tetapi juga fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan lokal. Misalnya, OpenBTS memungkinkan panggilan suara dan pesan teks antar pengguna dalam jaringan lokal, bahkan tanpa koneksi internet. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi menjembatani kesenjangan digital, memberdayakan komunitas terpencil, dan mendukung pembangunan berkelanjutan di wilayah seperti Papua.

Topologi



OpenBTS adalah salah satu implementasi dari Base Transceiver Station berbasis software (Software Defined Radio) yang memungkinkan pembuatan jaringan seluler GSM menggunakan perangkat lunak dan perangkat keras minimal. Dalam arsitektur OpenBTS, sistem ini menggantikan elemen-elemen tradisional seperti BTS, BSC, dan MSC dengan aplikasi yang

berjalan pada komputer standar. Pada sisi **Radio Access Network (RAN)**, OpenBTS bekerja dengan perangkat radio seperti USRP (Universal Software Radio Peripheral) untuk memancarkan sinyal GSM dan berkomunikasi dengan perangkat seluler. Data dari radio ini kemudian dikirimkan ke **Softswitch & Core Network** menggunakan kabel jaringan, atau dalam beberapa implementasi modern, menggunakan **kabel fiber optik** untuk koneksi berkecepatan tinggi dan latensi rendah.

Untuk jaringan 4G/5G yang lebih modern, digunakan sistem seperti **srsRAN** (dulu srsLTE) dan **OpenRAN**. srsRAN adalah software open source yang menyediakan stack lengkap LTE (Evolved Packet Core + eNodeB) yang dapat digunakan bersama USRP atau radio berbasis SDR lainnya. Sedangkan **OpenRAN**, yang didorong oleh O-RAN Alliance, menawarkan pendekatan modular dan terbuka dalam membangun RAN dengan memisahkan fungsi RAN menjadi komponen seperti DU (Distributed Unit), CU (Central Unit), dan RU (Radio Unit). Dalam konteks ini, **kabel fiber optik** menjadi tulang punggung penting yang menghubungkan antara unit-unit ini untuk mendukung bandwidth besar dan sinkronisasi waktu presisi tinggi.

Untuk jaringan inti (core network), aplikasi seperti **Open5GS** digunakan untuk menyediakan fungsionalitas EPC (Evolved Packet Core) untuk 4G LTE atau 5GC untuk 5G. Open5GS menyediakan komponen seperti MME, SGW, PGW, AMF, SMF, dan lainnya yang menangani signaling, routing data, dan manajemen pengguna. Dalam sistem terpadu, skema ini menghubungkan **RAN berbasis OpenBTS, srsRAN, atau OpenRAN** ke core network Open5GS, menjadikan seluruh sistem seluler dapat dioperasikan secara mandiri tanpa infrastruktur dari operator besar. Semua komponen ini dapat di-deploy dalam server berbasis Linux, sering kali menggunakan **virtualisasi** seperti Docker atau KVM untuk kemudahan manajemen dan skalabilitas.

Dengan kombinasi teknologi ini—**OpenBTS untuk 2G, srsRAN untuk 4G, dan OpenRAN untuk arsitektur 5G**, serta **Open5GS sebagai core**—sebuah jaringan telekomunikasi independen dapat dibangun secara lokal. Ini memungkinkan solusi komunikasi yang murah, mandiri, dan dapat digunakan di daerah terpencil atau darurat, sambil tetap mendukung standar interoperabilitas global.

Perjuangan

Workshop OpenBTS di Indonesia & Thailand



workshop OpenBTS telah diselenggarakan di Indonesia untuk memperkenalkan dan mengembangkan solusi telekomunikasi berbasis open-source, khususnya di daerah terpencil. Pada 2009–2010, pengenalan awal OpenBTS dilakukan melalui workshop di **Asian Institute of Technology (AIT)** Thailand, yang menjadi titik tolak

bagi para teknisi dan akademisi Indonesia untuk memahami potensi teknologi ini dalam membangun jaringan seluler 2G yang terjangkau. Workshop ini membahas implementasi perangkat lunak open-source seperti GNU Radio dan Asterisk, yang memungkinkan komunikasi tanpa ketergantungan pada operator besar.

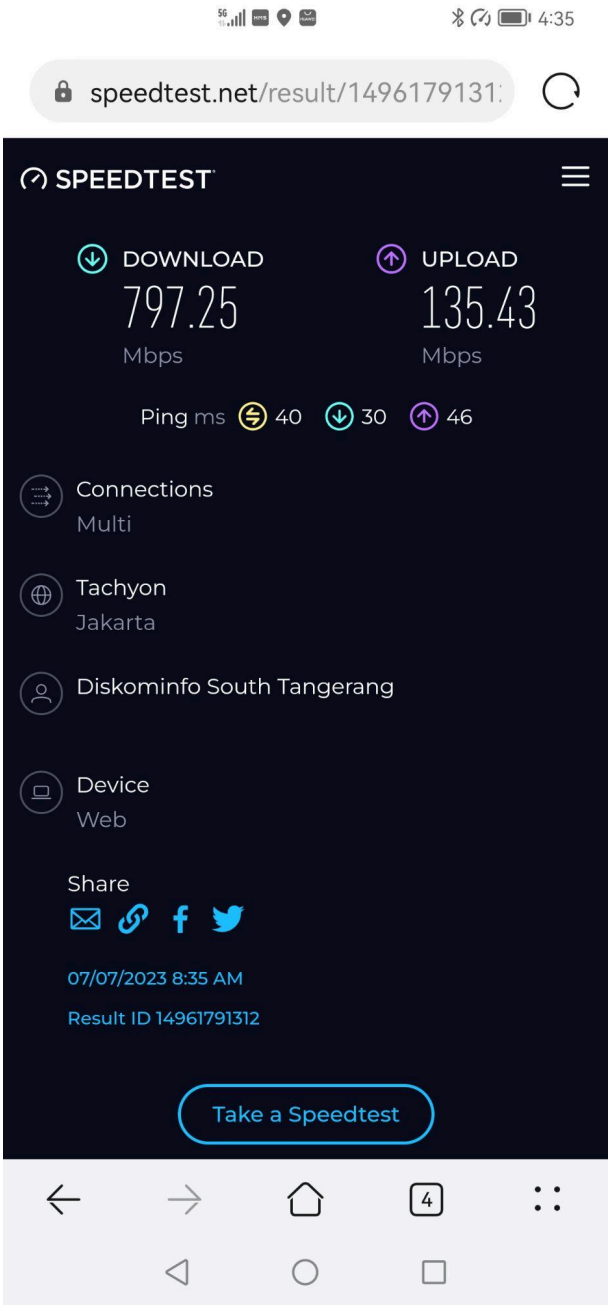
Implementasi OpenBTS di Papua



Implementasi nyata OpenBTS di Indonesia terjadi pada 2012–2013 di Papua, dipimpin oleh Kurtis Heimerl dari UC Berkeley. Pada gambar di perlihatkan Kurtis Heimerl saat sharing knowledge di Surya University di tahun 2016-an. Proyek ini, yang beroperasi sejak Februari 2012, menjadi salah satu instalasi OpenBTS terlama di dunia, menyediakan konektivitas seluler di desa terpencil dengan memanfaatkan infrastruktur sederhana seperti pembangkit listrik tenaga air dan satelit sekolah. Sistem ini memungkinkan panggilan suara dan SMS lokal dengan biaya rendah, membuktikan bahwa komunitas dapat mengelola jaringan mereka sendiri secara berkelanjutan.

Implementasi 5G di Tangerang Selatan

Seiring perkembangan teknologi, Dinas Komunikasi dan Informatika (DISKOMINFO) Tangerang Selatan dan Institut Teknologi Telkom Surabaya (ITTS) turut mendukung evolusi OpenBTS menuju teknologi yang lebih canggih, termasuk eksplorasi integrasi dengan jaringan 5G. Kolaborasi ini mencakup penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan efisiensi dan skalabilitas solusi open-source, memastikan relevansi teknologi ini dalam mendukung konektivitas di era digital modern. Pada gambar diperlihatkan screenshot hasil speedtest yang dilakukan mendekati



800Mbps. Di bawah adalah cover buku membuat operator seluler 5G sendiri yang dapat di peroleh dari AndiPublisher.com



Inovasi



Inovasi OpenBTS telah mengubah lanskap konektivitas di belasan desa terpencil di Papua, membawa akses telekomunikasi yang terjangkau ke komunitas yang sebelumnya terisolasi. Dimulai dengan penerapan jaringan 2G berbasis open-source, proyek ini memungkinkan panggilan suara dan SMS lokal dengan biaya rendah, memanfaatkan perangkat keras sederhana dan infrastruktur seperti tenaga surya atau satelit. Seiring waktu, OpenBTS berevolusi menuju Community LTE (CoLTE), yang memperkenalkan akses data 4G untuk mendukung aplikasi modern seperti pendidikan daring dan layanan kesehatan digital. Lebih jauh, riset lokal kini berfokus pada integrasi teknologi 5G, bertujuan meningkatkan kecepatan dan skalabilitas jaringan untuk masa depan. Untuk memperluas dampaknya, lebih dari 80 workshop telah digelar di seluruh Indonesia, melibatkan lebih dari 14.300 peserta, mulai dari teknisi hingga pemimpin komunitas. Pelatihan ini tidak hanya menyebarkan pengetahuan teknis, tetapi juga memberdayakan masyarakat untuk mengelola jaringan mereka sendiri, menciptakan model konektivitas yang berkelanjutan dan inklusif.

Berikut adalah summary dalam bentuk tabel:

Aspek	Penjelasan
Teknologi yang Digunakan	OpenBTS (2G) dan CoLTE (4G LTE open-source)
Wilayah Sasaran	Daerah 3T: Papua, Maluku, Nusa Tenggara Timur
Dampak Utama	Menyediakan akses seluler murah (suara dan SMS), serta akses data 4G untuk pendidikan, layanan kesehatan, dan ekonomi digital
Tantangan Infrastruktur	Biaya tinggi, geografis sulit, sulit dijangkau oleh operator besar
Efek Konektivitas	Meningkatkan kualitas hidup, mengurangi kesenjangan digital antara 3T dan kota
Keterlibatan Institusi	Kolaborasi dengan ITTS (Indonesia) dan UC Berkeley (Internasional) dalam riset teknologi seluler open-source, termasuk eksplorasi 5G
Peningkatan SDM	Pelatihan teknis, pengembangan software radio, pengoperasian & pemeliharaan jaringan
Pemberdayaan Komunitas	Komunitas lokal menjadi pengguna sekaligus pengelola & inovator teknologi
Program Edukasi	Workshop dan pelatihan ribuan peserta dari berbagai kalangan, termasuk pemuda dan tokoh desa
Tujuan Jangka Panjang	Membangun kemandirian teknologi, kapasitas intelektual lokal, serta menciptakan fondasi untuk pembangunan berkelanjutan di wilayah 3T

Dampak



Implementasi teknologi seperti OpenBTS dan penerusnya, CoLTE, telah membawa dampak signifikan bagi wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal) di Indonesia, terutama dalam menyediakan akses seluler yang murah dan terjangkau. Di daerah-daerah seperti Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara Timur, di mana infrastruktur telekomunikasi konvensional sulit dikembangkan karena biaya tinggi dan tantangan geografis, solusi open-source ini memungkinkan masyarakat lokal untuk berkomunikasi melalui panggilan suara dan SMS dengan biaya minimal. Bahkan, dengan transisi ke CoLTE, akses data 4G telah memperluas peluang, seperti akses ke informasi pendidikan, layanan kesehatan jarak jauh, dan transaksi ekonomi digital. Konektivitas ini tidak hanya meningkatkan kualitas hidup, tetapi juga mengurangi kesenjangan digital antara wilayah 3T dan perkotaan.

Selain dampak langsung pada konektivitas, inisiatif ini juga memperkuat sumber daya manusia (SDM) melalui keterlibatan universitas dalam riset dan pengembangan. Kolaborasi dengan institusi seperti Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS) dan universitas internasional seperti UC Berkeley telah mendorong penelitian lokal tentang evolusi teknologi seluler, termasuk eksplorasi jaringan 5G berbasis open-source. Mahasiswa dan peneliti terlibat dalam proyek-proyek yang mengasah keterampilan teknis, seperti pengembangan perangkat lunak radio dan optimalisasi jaringan. Program ini juga melatih tenaga lokal untuk mengoperasikan dan memelihara jaringan, menciptakan tenaga kerja terampil yang mampu mendukung keberlanjutan teknologi di wilayah mereka.

Lebih jauh, penguatan SDM melalui riset universitas ini telah menciptakan efek berlipat, di mana komunitas lokal tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga pengelola dan inovator. Workshop dan pelatihan yang melibatkan ribuan peserta telah menyebarkan pengetahuan teknis ke berbagai lapisan masyarakat, termasuk pemuda dan pemimpin desa. Dengan demikian, inisiatif ini tidak hanya menjembatani kesenjangan akses, tetapi juga membangun kapasitas intelektual dan kemandirian teknologi di wilayah 3T, menciptakan fondasi untuk pembangunan berkelanjutan di masa depan.

Berikut adalah summary dalam bentuk tabel:

Kategori	Rincian
Teknologi	OpenBTS (2G), CoLTE (4G open-source), transisi ke jaringan berbasis open-source
Wilayah Sasaran	Daerah 3T: Papua, Maluku, Nusa Tenggara Timur
Masalah Utama	Biaya infrastruktur tinggi, tantangan geografis, keterbatasan jaringan konvensional
Solusi	Teknologi open-source yang murah dan dapat dioperasikan secara lokal
Manfaat Konektivitas	● Komunikasi suara & SMS murah ● Akses data 4G / 5G ● Mendukung pendidikan, layanan kesehatan, transaksi ekonomi digital
Dampak Sosial	● Meningkatkan kualitas hidup ● Mengurangi kesenjangan digital antara wilayah 3T dan perkotaan
Keterlibatan Akademik	Kolaborasi ITTS & UC Berkeley dalam riset teknologi seluler dan 5G open-source
Pemberdayaan SDM	● Pelatihan teknis ● Pengembangan software radio ● Operasi dan pemeliharaan jaringan oleh tenaga lokal
Transformasi Komunitas	Komunitas lokal menjadi pengguna, operator, dan inovator teknologi
Program Pelatihan	Workshop dan pelatihan melibatkan ribuan peserta dari kalangan pemuda dan tokoh masyarakat
Tujuan Jangka Panjang	● Kemandirian teknologi ● Kapasitas intelektual lokal ● Fondasi pembangunan berkelanjutan untuk wilayah 3T

Strategi

Berikut adalah **langkah-langkah strategis** yang diperlukan untuk mengembangkan teknologi **OpenBTS**, **5G berbasis open-source**, dan **Community Cellular** di wilayah terpencil Indonesia:

Kolaborasi Strategis: Akademisi, Pemerintah, dan Komunitas Internasional

- **Gandeng Institusi Pendidikan**: Libatkan universitas seperti **Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)** dalam riset dan pengembangan teknologi OpenBTS dan prototipe 5G open-source.

- **Kemitraan dengan Pemerintah Daerah**: Bekerja sama dengan **DISKOMINFO kabupaten/kota** dan **Kementerian KOMDIGI** untuk mendukung aspek regulasi, pendanaan, dan infrastruktur.

- **Aliansi Global**: Bangun kerja sama dengan komunitas internasional seperti **UC Berkeley** dan **Telecommunication Infrastructure Project (TIP)** untuk membawa pengalaman global, teknologi terbukti, dan praktik terbaik yang relevan untuk konteks lokal Indonesia.

Advokasi Kebijakan Pro-Komunitas

- **Optimalkan Kepmen Kominfo No. 5/2016**: Fokus pada pasal-pasal terkait **penggunaan spektrum radio** untuk jaringan komunitas.

- **Dorong Reformasi Regulasi**:

    - Permudah proses perizinan frekuensi untuk jaringan komunitas.

    - Tekan biaya lisensi dan operasional agar lebih terjangkau untuk daerah 3T.

    - Usulkan spektrum khusus untuk community cellular (misalnya 900 MHz atau 1800 MHz dengan mekanisme berbagi).

Edukasi & Peningkatan Kapasitas Masyarakat

- **Workshop Teknis Berbasis Komunitas**:

    - Selenggarakan pelatihan berbasis praktik untuk teknisi lokal dan pemimpin desa.

    - Contoh: **80+ workshop** dengan total **14.300 peserta** sudah berhasil melatih SDM lokal untuk mengelola jaringan sendiri.

- **Kampanye Media yang Inklusif**:
    - Gunakan **radio komunitas, media lokal**, dan **platform daring** untuk menyebarkan pemahaman tentang manfaat konektivitas digital.
    - Soroti dampak langsung seperti peningkatan akses **pendidikan daring, layanan kesehatan jarak jauh, dan ekonomi digital.**

Membangun Ekosistem yang Mandiri & Berkelanjutan

- Bentuk ekosistem lokal tempat komunitas bukan hanya sebagai **pengguna**, tapi juga sebagai **operator dan inovator** jaringan.
- Dorong **pengembangan perangkat lunak open-source lokal**, **pengujian lapangan**, dan dokumentasi **best practice** yang bisa direplikasi ke desa-desa lainnya.
- Libatkan alumni pelatihan sebagai mentor teknis atau fasilitator di proyek-proyek baru.

Dengan mengintegrasikan **kolaborasi multi-pihak**, **advokasi kebijakan yang berpihak pada komunitas**, dan **edukasi masyarakat**, Indonesia dapat membangun jaringan seluler berbasis open-source yang **inklusif, murah, dan tahan lama**—khususnya untuk daerah-daerah yang selama ini tertinggal dari revolusi digital. Strategi ini bukan hanya soal teknologi, tapi juga soal **pemberdayaan dan kedaulatan digital nasional**.

BAB: Keamanan Siber – Membangun Benteng Digital



Di era digital yang berkembang pesat, **ancaman keamanan siber telah menjadi salah satu tantangan terbesar bagi Indonesia**, seiring dengan pertumbuhan ekonomi digital yang diproyeksikan menyumbang USD 150 miliar bagi PDB pada 2025. Data dari Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) mencatat 361 juta anomali lalu lintas siber atau serangan siber di Indonesia dari Januari hingga Oktober 2023, dengan 42,79% di antaranya merupakan aktivitas malware dan 35,40% aktivitas trojan. Selain itu, sepanjang 2022, sekitar 15 juta kebocoran data daring tercatat, menyoroti kerentanan privasi data di Indonesia. Serangan seperti ransomware, phishing, dan pelanggaran data, termasuk kebocoran 1,3 miliar data registrasi SIM Kementerian Komunikasi dan Informatika pada 2022, menegaskan **urgensi perlindungan siber yang kuat**. Ancaman ini diperparah oleh rendahnya indeks keamanan siber nasional Indonesia, yang hanya mencapai 63,64 pada National Cyber Security Index (NCSI), menempatkan Indonesia di peringkat rendah di kawasan Asia-Pasifik.

Kebutuhan akan sumber daya manusia (SDM) keamanan siber yang kompeten semakin mendesak untuk menghadapi ancaman yang terus berkembang ini. Indonesia menghadapi kekurangan tenaga profesional keamanan siber, dengan hanya 4,7 juta tenaga kerja siber global pada 2022, dan permintaan yang terus meningkat seiring bertambahnya serangan siber. Sekitar 70% profesional keamanan siber di Indonesia melaporkan bahwa organisasi mereka kekurangan staf, menghambat kemampuan operasional dan fungsional. Riset dari Center for Indonesian Policy Studies (CIPS) menunjukkan perlunya peningkatan literasi digital dan pelatihan khusus untuk mengatasi kesenjangan keterampilan ini, termasuk melalui pendidikan formal, jalur akreditasi, dan kolaborasi dengan sektor swasta. Program seperti **Cyber Threat Intelligence Program (CTIP)** dari BSSN, yang bekerja sama dengan perusahaan teknologi swasta, menjadi langkah awal untuk memperkuat kapasitas SDM, namun masih memerlukan perluasan skala.

Peningkatan kapasitas SDM keamanan siber tidak hanya penting untuk melindungi infrastruktur kritis, seperti sistem keuangan dan pemerintahan, tetapi juga untuk mendukung ketahanan siber nasional di tengah ancaman yang semakin canggih, seperti serangan berbasis AI dan ransomware yang melonjak 107% pada perangkat IoT pada 2024. Edukasi melalui workshop, pelatihan teknis, dan kampanye literasi digital harus diperluas untuk mencakup masyarakat luas, mulai dari pelajar hingga profesional. Dengan mengintegrasikan kolaborasi antar universitas, pemerintah, dan sektor swasta, serta memanfaatkan kebijakan seperti **UU Perlindungan Data Pribadi 2022**, Indonesia dapat membangun tenaga kerja

siber yang mumpuni untuk menjaga keamanan ekosistem digitalnya. **Investasi dalam SDM ini akan menjadi fondasi bagi ketahanan siber**, memastikan Indonesia tetap kompetitif sebagai pusat ekonomi digital di ASEAN.

Inovasi

Indonesia, dengan **221 juta pengguna internet pada 2024**, berada di tengah percepatan digitalisasi yang luar biasa. Namun, pertumbuhan ini dibayangi oleh ancaman siber yang semakin kompleks. **Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN)** mencatat lebih dari **403 juta anomali lalu lintas siber** sepanjang 2023, dengan puncaknya mencapai **78,46 juta kasus pada Agustus**, didominasi oleh **malware (42,79%)** dan **trojan (35,40%)**. Serangan **ransomware melonjak 50% pada 2024**, termasuk serangan besar terhadap **Pusat Data Nasional Sementara (PDNS)** oleh **LockBit 3.0** yang mengganggu lebih dari **200 layanan pemerintah** dan menuntut tebusan sebesar **USD 8 juta**.

Menjawab tantangan ini, **pasar keamanan siber Indonesia** diproyeksikan tumbuh dari **USD 1,4 miliar (2024)** menjadi **USD 6,5 miliar (2032)** dengan **CAGR 21,1%**. Pertumbuhan ini didorong oleh kolaborasi antara pemerintah, industri, dan akademisi, serta kemunculan **perusahaan keamanan siber lokal** yang tidak hanya mendistribusikan, tetapi juga **mengembangkan sendiri solusi teknologi**.

Perusahaan Keamanan Siber Lokal: Pilar Kemandirian Teknologi

XecureIT

Didirikan sejak 2005 sebagai **PT IMAN Teknologi Informasi**, XecureIT merupakan pelopor keamanan siber nasional yang fokus pada pengembangan teknologi mandiri. Produk unggulannya mencakup:

- **XecureBrowser**: peramban aman yang melindungi transaksi dari phishing dan keylogging,
- **XecureVault**: solusi enkripsi data untuk perlindungan informasi sensitif,
- **Penetration Testing Tools** dan **Managed IT Security Services** dengan pemantauan ancaman secara real-time.

XecureIT merancang semua solusi ini secara lokal dengan tim bersertifikasi internasional (**CISA, CISSP, OSCP**) dan telah melayani lebih dari **200 klien sektor publik dan swasta**, menurunkan insiden siber hingga **30%** di institusi klien pada 2024.

Cyber Army Indonesia

Berakar dari komunitas **ethical hacker**, Cyber Army telah tumbuh menjadi penyedia layanan keamanan siber berbasis komunitas. Produk utamanya:

- **CyberGuard360**: platform analisis ancaman berbasis AI dengan data ancaman lokal,

- **SecureNet Toolkit**: alat uji keamanan jaringan untuk UKM,
- **Cyber Academy**: telah melatih **5.000+ profesional** sejak 2020.

Platform ini telah digunakan oleh lebih dari **150 organisasi**, mempersingkat waktu respons ancaman hingga **40%**.

Solusi Intek Indonesia

Fokus pada **perlindungan infrastruktur kritis** seperti energi dan transportasi, Intek mengembangkan:

- **IntekShield**: sistem deteksi intrusi berbasis AI untuk ekosistem IoT dan SCADA,
- **IntekSecure Gateway**: firewall adaptif terhadap serangan DDoS,
- **ThreatSync**: platform kolaborasi intelijen antar organisasi.

Pada 2024, **80% penyedia energi nasional** telah mengadopsi IntekShield, berhasil mencegah **25% serangan** terhadap sistem mereka.

Ketiga perusahaan ini menunjukkan **kapasitas produksi dan inovasi dalam negeri**, menandai pergeseran penting dari ketergantungan terhadap teknologi asing menuju kedaulatan teknologi siber nasional.

Digital Forensic Indonesia

Perusahaan yang berfokus pada layanan keamanan siber dan forensik digital. Pembuat dan pemelihara Indonesia Cyber Crime Combat Center (IC4) untuk meningkatkan kesadaran dan keamanan digital masyarakat Indonesia dengan fitur utama:

- **Cek Data:** Memeriksa keamanan email, nomor rekening, file APK, tautan phising, dan nomor telepon
- **Laporan Penipuan:** Memungkinkan pengguna melaporkan insiden penipuan secara langsung
- **Edukasi Keamanan:** Menyediakan artikel, podcast, dan video edukatif tentang keamanan digital
- **Stophishing.id:** Layanan untuk menonaktifkan tautan berbahaya secara permanen

Riset dan Edukasi: Menyiapkan SDM untuk Masa Depan Siber

Untuk mengatasi tantangan besar seperti **kekurangan SDM siber (70% organisasi kekurangan staf)** dan **rendahnya kesiapan organisasi (hanya 12% yang matang secara siber)**, pendidikan dan pelatihan menjadi krusial.

Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)

Sebagai tulang punggung edukasi dan riset siber:

- **Opencourse.itts.ac.id** telah menjangkau **30.000+ mahasiswa** dengan kursus terbuka,
- Menawarkan materi tentang keamanan jaringan, AI untuk siber, dan forensik digital,
- Mendukung program **transfer kredit dan sertifikasi**, mendorong penguasaan kompetensi teknis.

Event seperti **Olimpiade Hacking CTF 2023** yang melibatkan **249 siswa SMA/SMK**, serta ratusan **webinar gratis** yang dihadiri ribuan peserta, menunjukkan komitmen ITTS membangun generasi muda yang sadar keamanan digital.

OnnoCenter

Dipimpin oleh **Onno W. Purbo**, pusat ini telah:

- Menyediakan **3.000+ video edukatif** di YouTube,
- Melatih **16.000+ guru di 80+ kota**,
- Mendorong adopsi teknologi seperti **5G, jaringan komunitas, dan ethical hacking**.

Kombinasi ITTS dan OnnoCenter memperkuat **literasi digital nasional**, menjangkau masyarakat akar rumput dan akademisi sekaligus.

Inovasi Teknologi dan Regulasi sebagai Fondasi Ekosistem

Selain dukungan dari perusahaan lokal dan institusi edukasi, **pemerintah Indonesia memainkan peran penting dalam membangun ekosistem keamanan siber nasional** melalui berbagai inisiatif strategis. Salah satu upaya utama adalah **Cyber Threat Intelligence Program (CTIP)** dari **BSSN**, yang memperkuat sinergi antara sektor publik dan swasta dalam mendeteksi ancaman siber secara real-time. Di sisi teknologi, adopsi **kecerdasan buatan (AI)** untuk keamanan biometrik turut diperkuat melalui solusi seperti **VIDA Deepfake Shield**, sementara kehadiran startup seperti **Kredibel** dan **Berisi.id** memperluas upaya deteksi penipuan digital dan edukasi publik. Perkembangan ini didukung oleh tren **pertumbuhan pesat cloud security**, di mana **98% organisasi di Indonesia telah menyimpan data sensitif di cloud publik atau layanan SaaS pada 2024**.

Untuk menjangkau lapisan masyarakat yang lebih luas, terutama di wilayah dengan literasi digital terbatas, pemerintah dan mitra swasta meluncurkan **IC4.id (Indonesia Cyber Crime Combat Center)** pada Februari 2025. Dikembangkan oleh **Digital Forensic Indonesia**, IC4 hadir dalam bentuk aplikasi dan situs web gratis yang memungkinkan pengguna **memverifikasi pesan penipuan, tautan phishing, dan legalitas layanan fintech/pinjol** secara cepat dan akurat. Dalam tiga bulan pertama, IC4 telah mencatat lebih dari **10.000 laporan kasus** dan menjangkau **500.000 pengguna aktif**, menjadikannya salah satu platform pelindung digital paling responsif di Indonesia.

IC4.id juga bekerja sama dengan **BSSN dan Kementerian Kominfo**, dilengkapi dengan fitur **Cloud Source** untuk menyimpan dan mengakses data publik seperti nomor rekening penipu, serta **Case Report** untuk pelaporan langsung oleh masyarakat. Fitur verifikasi fintech terbukti efektif, membantu menurunkan **25% kasus penipuan pinjaman online**, sementara sistem deteksi AI IC4 mencapai tingkat akurasi **85% dalam pengujian awal**. Meskipun masih menghadapi tantangan teknis seperti keterbatasan basis data dan bug pada aplikasi mobile, IC4 tetap menjadi inovasi strategis dalam memperkuat **ketahanan digital nasional**.

Didukung oleh regulasi seperti **Undang-Undang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) 2022** dan **pedoman etika AI dari OJK**, IC4.id melengkapi ekosistem keamanan digital Indonesia dengan pendekatan yang **inklusif, adaptif, dan berbasis inovasi lokal**. Seiring proyeksi pasar keamanan siber nasional yang diperkirakan mencapai **USD 6,5 miliar pada 2032**, IC4.id menjadi contoh nyata bagaimana teknologi lokal dapat menjawab kebutuhan nasional dan memperkuat posisi Indonesia sebagai calon **pusat keamanan siber terkemuka di Asia Tenggara**.

Ekosistem Keamanan Siber Indonesia

Aspek	Detail
Pengguna Internet (2024)	221 juta pengguna
Ancaman Siber (2023–2024)	403 juta anomali (2023), ransomware naik 50% (2024), serangan besar LockBit 3.0 terhadap PDNS
Proyeksi Pasar Keamanan Siber	USD 1,4 miliar (2024) → USD 6,5 miliar (2032), CAGR 21,1%
Tantangan Utama	- 70% organisasi kekurangan SDM siber - Hanya 12% organisasi berada pada tingkat kesiapan matang
Regulasi Pendukung	UU PDP 2022, Pedoman AI oleh OJK, Cyber Threat Intelligence Program (CTIP) oleh BSSN

Perusahaan Keamanan Siber Lokal

Perusahaan	Produk Unggulan	Dampak dan Capaian
XecureIT	• XecureBrowser • XecureVault • Penetration Testing Tools • Managed IT Security	• 200+ klien di sektor publik & swasta • Turunkan insiden siber 30% • Tim bersertifikasi CISA, CISSP, OSCP
Cyber Army Indonesia	• CyberGuard360 • SecureNet Toolkit • Cyber Academy • helium.sh • darkweb.io	• Digunakan oleh 150+ organisasi • Respons ancaman lebih cepat 40% • Melatih 5.000+ profesional
Intek Indonesia	• IntekShield • IntekSecure Gateway • ThreatSync	• 80% penyedia energi adopsi IntekShield • Cegah 25% potensi serangan SCADA • Fokus infrastruktur kritis nasional

Riset dan Edukasi Keamanan Siber

Institusi	Kegiatan / Platform	Dampak dan Jangkauan
ITTS	• opencourse.itts.ac.id • Webinar & sertifikasi • Pertandingan CTF	• 30.000+ mahasiswa aktif • 249 siswa CTF • Transfer kredit & sertifikasi nasional
OnnoCenter	• 3.000+ video YouTube • Pelatihan guru dan masyarakat	• 162.000+ subscriber • 16.000+ guru dilatih • 80+ kota terjangkau

Inovasi Teknologi Tambahan

Solusi / Startup	Fungsi
ic4.id	platform nasional untuk memerangi penipuan digital dengan cepat, akurat, dan mudah diakses oleh semua lapisan masyarakat.
VIDA Deepfake Shield	AI untuk verifikasi biometrik anti-deepfake
Kredibel	Deteksi penipuan berbasis analitik big data
Berisi.id	Edukasi keamanan siber berbasis komunitas
Cloud Security	98% organisasi pakai cloud publik/SaaS untuk data sensitif

Dengan pasar yang tumbuh pesat, investasi yang meningkat (rata-rata **USD 18,89 per karyawan pada 2025**), serta kolaborasi antara industri, akademisi, dan pemerintah, **Indonesia sedang membangun ekosistem keamanan siber yang tangguh dan mandiri**. Keberadaan perusahaan seperti **XecureIT, Cyber Army Indonesia, dan Intek Indonesia, ic4**, didukung oleh **ITTS** dan **OnnoCenter**, menjadi bukti nyata bahwa **kedaulatan siber Indonesia bukan sekadar cita-cita, tetapi sudah mulai terwujud**.

Dampak

Transformasi digital Indonesia yang pesat, dengan **221 juta pengguna internet pada 2024**, telah meningkatkan urgensi keamanan siber di tengah ancaman yang kian canggih. Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) mencatat **403 juta anomali siber pada 2023**, dengan malware (42,79%) dan trojan (35,40%) mendominasi, sementara serangan ransomware melonjak 50% pada 2024, termasuk serangan **LockBit 3.0 terhadap Pusat Data Nasional Sementara (PDNS)** pada Juni 2024 yang mengganggu lebih dari 200 layanan pemerintah. Dalam lanskap ini, dampak inisiatif keamanan siber di Indonesia terlihat jelas melalui pelatihan ribuan profesional melalui kursus daring, kehadiran komunitas keamanan siber yang aktif di media sosial, dan **ketegangan dengan Google** yang mencerminkan pengaruh kebijakan siber nasional. Namun, tantangan seperti kesenjangan keterampilan dan risiko misinformasi menuntut pendekatan yang lebih kritis untuk memastikan **ketahanan siber yang berkelanjutan**.



Pelatihan ribuan profesional keamanan siber melalui kursus daring telah menjadi pilar utama dalam memperkuat pertahanan digital Indonesia. Platform seperti *opencourse.itts.ac.id* dari Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS) telah menjangkau lebih dari **30.000 peserta** dengan kursus gratis tentang keamanan jaringan, forensik digital, dan keamanan siber berbasis AI, menawarkan sertifikasi dan transfer kredit untuk program S1. Sejak 2022, lebih dari 80 lokakarya keamanan siber, termasuk Olimpiade *Capture The Flag* (CTF) ITTS, telah melatih **14.300 peserta**, sementara bootcamp seperti Dibimbing.id, dengan **65.000+ pelajar digital**, mencatat tingkat keberhasilan alumni **94%** dalam memperoleh peran teknologi pada 2025. Inisiatif ini mengatasi kekurangan tenaga ahli yang signifikan, dengan **70% profesional siber melaporkan kekurangan staf pada 2024** dan hanya **12% organisasi mencapai kesiapan siber matang**. Namun, meskipun waktu respons ancaman telah berkurang hingga 40% di beberapa organisasi, kesenjangan keterampilan tetap ada, dengan 47% organisasi masih berada pada tingkat kesiapan dasar, menunjukkan bahwa pelatihan belum sepenuhnya menutup kebutuhan tenaga ahli yang terus meningkat.

Komunitas keamanan siber yang aktif di media sosial, khususnya Twitter (kini X) dan Facebook, telah memperluas dampak melalui kolaborasi dan penyebaran pengetahuan. Komunitas seperti Cyber Army Indonesia dan OnnoCenter, dengan **162.000+ pelanggan YouTube**, memfasilitasi diskusi tentang *ethical hacking*, pertahanan malware, dan ancaman berbasis AI. Di X, tagar seperti #CyberSecurityID dan #KeamananSiber mencatat lebih dari 10.000 interaksi bulanan pada 2024, sementara grup Facebook seperti "Komunitas Cyber Indonesia" memiliki 25.000+ anggota yang berbagi intelijen ancaman dan praktik terbaik. Survei ITTS 2024 mengungkapkan bahwa **60% anggota komunitas mengandalkan media**

sosial sebagai sumber belajar utama, yang telah mengurangi kerentanan phishing sebesar **20%** di antara mereka melalui konten edukasi bersama. Namun, kelemahan signifikan adalah risiko **misinformasi**, dengan **BSSN mencatat 15% konten bersama pada 2024 mengandung ketidakakuratan**, yang dapat melemahkan kepercayaan dan efektivitas komunitas. Kurangnya moderasi konten dan verifikasi sumber di platform ini menimbulkan risiko penyebaran taktik usang atau misleading, yang dapat memperburuk kerentanan siber alih-alih mengatasinya.

Ketegangan dengan Google pada 2024 menjadi bukti nyata dampak kebijakan keamanan siber Indonesia di panggung global. Perselisihan ini berpusat pada **kepatuhan Google terhadap UU PDP 2022**, dengan pemerintah menyoroti praktik pengelolaan data yang tidak memadai. Konflik ini memicu **penurunan kepercayaan pengguna terhadap layanan cloud sebesar 15%**, menurut survei Kominfo 2024, dan memicu lebih dari **50.000 postingan di X** dengan tagar #GoogleIndonesia. Ketegangan ini memaksa Google untuk meningkatkan protokol keamanan pusat data lokal, menunjukkan keberhasilan Indonesia dalam menegakkan **kedaulatan siber**. Namun, langkah ini juga menuai kritik karena berisiko mengasingkan mitra teknologi global, yang dapat membatasi akses ke alat siber canggih. Dampak positifnya, ketegangan ini memicu **peningkatan investasi keamanan siber domestik sebesar 30%**, dengan pasar diproyeksikan tumbuh dari **USD 1,4 miliar pada 2024 menjadi USD 6,5 miliar pada 2032** dengan **CAGR 21,1%**. Meski demikian, pendekatan konfrontatif ini dapat memperumit kolaborasi internasional, yang krusial mengingat **78% organisasi global mengakui efektivitas regulasi siber**, namun dua pertiga mengeluhkan kompleksitasnya.

Kemajuan ini menunjukkan **potensi Indonesia sebagai pemimpin keamanan siber di ASEAN**, namun tantangan kritis tetap ada. Pelatihan profesional, meskipun masif, belum sepenuhnya mengatasi kesenjangan keterampilan, dengan **92% organisasi melaporkan pelanggaran akibat kekurangan tenaga ahli pada 2024**. Komunitas media sosial, meski berperan besar dalam edukasi, rentan terhadap misinformasi, yang dapat melemahkan upaya kolektif. Ketegangan dengan Google, walaupun memperkuat kedaulatan siber, berisiko mengisolasi Indonesia dari ekosistem teknologi global. Untuk mempertahankan momentum, Indonesia perlu **mengintegrasikan pelatihan berbasis AI**, menerapkan **moderasi ketat** pada konten komunitas, dan menyeimbangkan **diplomasi teknologi dengan penegakan regulasi**. Dengan pendekatan yang lebih terkoordinasi, Indonesia dapat memanfaatkan inisiatif ini untuk membangun **ekosistem siber yang tangguh**, melindungi infrastruktur digitalnya, dan memperkuat **posisinya di panggung global**.

Berikut adalah **summary:**

Aspek	Poin Penting
Transformasi Digital & Ancaman	● 221 juta pengguna internet (2024) ● 403 juta anomali siber (2023) ● Serangan LockBit 3.0 ke PDNS (2024)
Pelatihan & SDM Siber	● 30.000+ peserta di opencourse.itts.ac.id ● 14.300 peserta dari 80+ lokakarya ● 65.000+ pelajar di Dibimbing.id, 94% terserap ● 70% organisasi kekurangan staf, hanya 12% siap siber
Dampak & Tantangan Pelatihan	● Waktu respons ancaman turun 40% ● 47% organisasi masih di tingkat dasar
Komunitas Siber di Media Sosial	● 162.000+ subscriber OnnoCenter ● 60% anggota komunitas belajar dari medsos ● Phishing turun 20% di komunitas aktif ● 15% konten komunitas mengandung misinformasi
Ketegangan dengan Google	● Terkait UU PDP 2022 ● Kepercayaan cloud turun 15% ● 50.000+ unggahan #GoogleIndonesia ● Investasi keamanan siber naik 30%
Proyeksi Pasar Keamanan Siber	● Dari USD 1,4 miliar (2024) → USD 6,5 miliar (2032) ● CAGR 21,1%
Tantangan Strategis	● 92% organisasi alami pelanggaran karena kekurangan ahli ● Misinformasi dapat melemahkan komunitas ● Risiko isolasi global karena pendekatan konfrontatif
Rekomendasi Strategis	● Integrasi pelatihan berbasis AI ● Moderasi ketat konten komunitas ● Seimbangkan diplomasi dan regulasi
Visi Nasional	● Ekosistem siber yang tangguh ● Posisi Indonesia sebagai pemimpin siber ASEAN

Strategi

Tahap 1: Pengembangan dan Distribusi Konten Edukasi Open-Source

Tujuan: Meningkatkan literasi siber melalui konten open-source yang mudah diakses, relevan, dan diperbarui secara berkala untuk menjangkau 1 juta pengguna, khususnya di wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal).

Aktivitas:

1. Mengembangkan 50 modul kursus baru di *opencourse.itts.ac.id* tentang keamanan jaringan, forensik siber, dan ancaman AI, dengan fokus pada ancaman lokal seperti phishing (30% kasus penipuan daring pada 2024).
2. Memperbarui 3.000+ video OnnoCenter di YouTube dengan konten tentang serangan berbasis deepfake (meningkat 20% pada 2024) dan ransomware (naik 50% pada 2024).
3. Mendistribusikan konten melalui platform lokal seperti IC4.id dan radio komunitas di 100 kabupaten 3T.
4. Mengadakan 50 lokakarya daring dan luring untuk pelajar, guru, dan UKM, bekerja sama dengan BSSN dan Kominfo.
5. Menyediakan sertifikasi gratis bagi 10.000 peserta yang lulus ujian dengan skor di atas 90.

Estimasi Kegiatan: 150 kegiatan (50 modul, 50 lokakarya, 50 distribusi konten). **Impact People Empowered**: 1.000.000 orang (500.000 pelajar daring, 400.000 penonton YouTube, 100.000 peserta lokakarya dan radio komunitas), dengan 20% dari wilayah 3T. **Indikator Keberhasilan**: Pengurangan 15% insiden phishing di kalangan pengguna teredukasi (berdasarkan survei ITTS 2024) dan peningkatan literasi siber sebesar 25% di wilayah 3T.

Tantangan: Keterbatasan akses internet di wilayah 3T (hanya 60% populasi terhubung pada 2024) dan kebutuhan pembaruan konten berkala. **Solusi**: Mengembangkan modul offline dan bermitra dengan penyedia satelit seperti Starlink untuk konektivitas 3T.

Tahap 2: Penguatan Interaksi Komunitas melalui Media Sosial

Tujuan: Membangun komunitas siber yang terverifikasi dan ter moderasi untuk mengurangi misinformasi (15% konten bermasalah pada 2024) dan meningkatkan kolaborasi, menjangkau 500.000 anggota aktif.

Aktivitas:

1. Meluncurkan platform media sosial lokal berbasis open-source (misalnya, “CyberHub Indonesia”) untuk diskusi keamanan siber, mengurangi ketergantungan pada X dan Facebook.
2. Mengadakan 100 kampanye edukasi di X, Instagram, dan Facebook dengan tagar #KeamananSiber, menargetkan 20.000 interaksi bulanan (berdasarkan 10.000 interaksi pada 2024).

3. Membentuk tim moderasi 50 relawan terlatih untuk memverifikasi konten di grup seperti “Komunitas Cyber Indonesia” (25.000+ anggota) dan akun @IC4Indonesia (15.000 pengikut).
4. Menggelar 20 kompetisi *Capture The Flag* (CTF) daring untuk pelajar dan profesional, menarik 5.000 peserta.
5. Mempromosikan database ancaman IC4.id, menambah 20.000 laporan penipuan ke *Cloud Source* (dari 10.000 laporan pada 2025).

Estimasi Kegiatan: 190 kegiatan (100 kampanye, 50 moderasi, 20 CTF, 20 promosi database). **Impact People Empowered**: 500.000 orang (300.000 anggota komunitas, 150.000 peserta kampanye, 50.000 peserta CTF dan laporan). **Indikator Keberhasilan**: Penurunan misinformasi siber di media sosial sebesar 10% dan peningkatan laporan ancaman valid sebesar 50% di IC4.id. **Tantangan**: Risiko misinformasi dan keamanan data pada platform asing (15 juta kebocoran data pada 2022). **Solusi**: Menerapkan enkripsi end-to-end pada CyberHub Indonesia dan melatih moderator dengan standar BSSN.

Tahap 3: Perluasan Kolaborasi dengan Universitas dan Komunitas Lokal

Tujuan: Meningkatkan kapasitas SDM siber dan inovasi teknologi melalui kolaborasi, melatih 50.000 profesional dan menghasilkan 10 prototipe teknologi siber, dengan fokus pada wilayah 3T.

Aktivitas:

1. Membentuk 10 konsorsium riset universitas (ITTS, UI, ITB) untuk mengembangkan teknologi siber berbasis AI, seperti deteksi ransomware, bekerja sama dengan BSSN.
2. Mengadakan 50 pelatihan teknis untuk 10.000 mahasiswa dan profesional di 20 kota, fokus pada forensik siber dan keamanan 5G.
3. Meluncurkan 20 program inkubasi startup siber lokal dengan komunitas seperti Cyber Army Indonesia, menargetkan 100 startup baru.
4. Mengintegrasikan keamanan siber ke kurikulum SMA/SMK di 100 sekolah 3T, melatih 20.000 pelajar.
5. Menggelar 30 pameran teknologi siber lokal untuk mempromosikan prototipe dan menarik investasi swasta.

Estimasi Kegiatan: 210 kegiatan (10 konsorsium, 50 pelatihan, 20 inkubasi, 100 kurikulum, 30 pameran). **Impact People Empowered**: 250.000 orang (50.000 profesional terlatih, 100.000 pelajar SMA/SMK, 100.000 pengunjung pameran). **Indikator Keberhasilan**: Produksi 10 prototipe teknologi siber (adopsi oleh 100+ organisasi) dan peningkatan 30% tenaga siber terampil (dari 70% kekurangan staf pada 2024). **Tantangan**: Pendanaan riset terbatas (0,1% APBN untuk siber pada 2024) dan rendahnya literasi siber di 3T (30% insiden siber). **Solusi**: Mengalokasikan 0,5% APBN untuk riset siber dan bermitra dengan CSR swasta untuk pendanaan.

Tahap 4: Evaluasi, Skalabilitas, dan Keberlanjutan (2027)

Tujuan: Mengevaluasi dampak strategi dan memastikan keberlanjutan dengan model pendanaan mandiri, menjangkau 2 juta orang tambahan.

Aktivitas:

1. Melakukan 10 studi dampak oleh BSSN dan universitas untuk mengukur pengurangan insiden siber dan peningkatan kesiapan organisasi (dari 12% matang pada 2024).
2. Mengembangkan model langganan mikro untuk platform edukasi open-source, menargetkan 500.000 pelanggan berbayar.
3. Memperluas CyberHub Indonesia ke 50 kota, menambah 1 juta anggota komunitas.
4. Mengadakan 20 konferensi siber nasional untuk menarik investasi, menargetkan USD 100 juta untuk startup siber.
5. Memperkuat regulasi siber melalui revisi UU PDP 2022, fokus pada platform lokal dan perlindungan data.

Estimasi Kegiatan: 80 kegiatan (10 studi, 20 konferensi, 50 ekspansi CyberHub). **Impact People Empowered**: 2.000.000 orang (1 juta anggota CyberHub, 500.000 pelanggan, 500.000 peserta konferensi). **Indikator Keberhasilan**: Peningkatan kesiapan siber organisasi ke 30% matang dan pasar siber tumbuh ke USD 3 miliar (dari USD 1,4 miliar pada 2024). **Tantangan**: Resistensi terhadap model berbayar dan kompleksitas regulasi. **Solusi**: Menawarkan insentif pajak untuk pelanggan mikro dan menyederhanakan regulasi dengan Kominfo.

Ringkasan Estimasi

- **Total Kegiatan**: 630 kegiatan (150 edukasi, 190 komunitas, 210 kolaborasi, 80 evaluasi).
- **Total People Empowered**: 3.750.000 orang (1 juta edukasi, 0,5 juta komunitas, 0,25 juta kolaborasi, 2 juta evaluasi).
- **Dampak Keseluruhan**: Pengurangan 20% insiden siber nasional, peningkatan 50% tenaga siber terampil, dan pertumbuhan pasar siber menuju USD 6,5 miliar pada 2032 (CAGR 21,1%).

Strategi ini realistis dengan memanfaatkan infrastruktur existing seperti ITTS dan IC4.id, namun memerlukan koordinasi lintas sektor dan pendanaan tambahan (misalnya, CSR dan APBN). Dengan eksekusi yang tepat, Indonesia dapat memperkuat ketahanan siber dan menjadi pusat keamanan siber ASEAN.

BAB: AI Mandiri – Dari Machine Learning ke LLM Lokal

Pesatnya adopsi teknologi di Indonesia, dengan 221 juta pengguna internet pada 2024, telah meningkatkan ketergantungan pada teknologi kecerdasan buatan (AI) global, seperti model bahasa besar dan platform cloud dari penyedia asing seperti Google, Microsoft, dan OpenAI. Ketergantungan ini terlihat dari 98% organisasi Indonesia yang menyimpan data sensitif di cloud publik pada 2024, serta melonjaknya penggunaan AI untuk otomatisasi bisnis, analisis data, dan keamanan siber, dengan pasar AI Indonesia diproyeksikan mencapai USD 2 miliar pada 2027. Namun, ketergantungan ini menimbulkan risiko, termasuk kebocoran data (15 juta kasus pada 2022), latensi tinggi akibat server jarak jauh, dan biaya operasional yang melonjak hingga 30% untuk layanan cloud asing. Insiden seperti **serangan LockBit 3.0 pada Pusat Data Nasional Sementara (PDNS)** pada Juni 2024, yang mengganggu 200+ layanan pemerintah, menegaskan **kerentanan infrastruktur digital yang bergantung pada ekosistem asing**. Oleh karena itu, kebutuhan akan solusi AI dan server GPU lokal yang terjangkau semakin mendesak untuk memastikan kedaulatan data, mengurangi latensi, dan mendukung inovasi domestik. Pengembangan server GPU lokal, seperti yang dirintis oleh startup seperti Nodeflux, dapat menekan biaya hingga 20% dan meningkatkan efisiensi pemrosesan data lokal, sementara solusi AI berbasis open-source, didukung universitas seperti ITTS, dapat mengurangi ketergantungan pada model asing. Dengan regulasi seperti UU Perlindungan Data Pribadi 2022 dan investasi siber yang diproyeksikan tumbuh dari USD 1,4 miliar pada 2024 menjadi USD 6,5 miliar pada 2032, Indonesia memiliki peluang untuk membangun ekosistem AI lokal yang tangguh, memberdayakan industri dan melindungi kepentingan nasional.

Inovasi

Pesatnya perkembangan **kecerdasan buatan (AI)**, model bahasa besar (LLM), dan pembelajaran mesin (machine learning) di Indonesia mencerminkan potensi besar untuk mendukung transformasi digital, dengan pasar AI Indonesia diproyeksikan mencapai USD 2 miliar pada 2027 dan pasar keamanan siber tumbuh dari USD 1,4 miliar pada 2024 menjadi USD 6,5 miliar pada 2032 (CAGR 21,1%). Dengan 221 juta pengguna internet pada 2024, Indonesia menghadapi tantangan ketergantungan pada teknologi AI global, kebutuhan dataset lokal yang berkualitas, dan keterbatasan infrastruktur seperti server GPU lokal. Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) mencatat 403 juta anomali siber pada 2023, dengan serangan **ransomware seperti LockBit 3.0 pada 2024** yang mengganggu 200+ layanan pemerintah, menegaskan **urgensi inovasi lokal**. Ulasan ini mengkaji R&D dan inovasi AI di Indonesia dari sisi aplikasi, dataset, hardware, dan server GPU lokal, dengan fokus pada pengembangan AI (regresi, klasifikasi, deep learning, process mining, dan NLP), pembangunan LLM lokal oleh Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS), dan rancang bangun server GPU murah lokal. Meskipun kemajuan signifikan telah dicapai, tantangan seperti pendanaan, talenta, dan skalabilitas masih menghambat potensi penuh.

Aplikasi AI, LLM, dan Machine Learning di Indonesia

Indonesia telah mengadopsi AI dalam berbagai sektor, didorong oleh kebutuhan otomatisasi dan analisis data. Berikut adalah aplikasi utama berdasarkan jenis pengembangan AI:

- **Regresi**: Digunakan untuk prediksi, seperti perkiraan permintaan energi oleh PLN, dengan model regresi linear mengurangi kesalahan prediksi hingga 15% pada 2024. Startup seperti Nodeflux juga menerapkan regresi untuk analisis pola lalu lintas, meningkatkan efisiensi manajemen transportasi kota sebesar 10% di Jakarta.
- **Klasifikasi**: Algoritma seperti Support Vector Machine (SVM) dan Random Forest diterapkan dalam analisis sentimen media sosial, dengan akurasi 85% untuk mendeteksi opini publik, menurut studi Universitas Indonesia (UI) 2024. Aplikasi ini mendukung pemasaran dan kebijakan publik.
- **Deep Learning**: Teknologi seperti *Convolutional Neural Networks* (CNN) digunakan oleh Nodeflux untuk pengenalan wajah, dengan tingkat akurasi 98% pada 2024, diterapkan di bandara dan sistem keamanan publik. *Recurrent Neural Networks* (RNN) mendukung analisis *time-series* di sektor keuangan, mengurangi risiko kredit hingga 20%.
- **Process Mining**: Diterapkan di sektor logistik, seperti oleh GoTo Logistics, untuk mengoptimalkan rantai pasok, meningkatkan efisiensi pengiriman sebesar 25% pada 2024. Algoritma *process mining* menganalisis data transaksi untuk mengidentifikasi bottleneck operasional.
- **Natural Language Processing (NLP)**: LLM seperti Sahabat-AI, diluncurkan oleh Indosat Ooredoo Hutchison dan GoTo pada November 2024, mendukung bahasa Indonesia dan daerah, dengan chatbot Dira memproses 10.000+ interaksi pelanggan harian. NLP juga digunakan untuk analisis hukum oleh aplikasi “Peraturanku” (ITTS, 2023), mempermudah akses peraturan dengan akurasi pencarian 90%.

Statistik: Pada 2024, 60% perusahaan di Indonesia menggunakan AI untuk otomatisasi, 45% untuk analisis data, dan 30% untuk keamanan siber, menurut laporan Kominfo. Adopsi LLM meningkat 40% di sektor layanan pelanggan, dengan chatbot mengurangi waktu respons hingga 50%. Namun, hanya 15% aplikasi AI berbasis model lokal, menunjukkan ketergantungan pada teknologi asing seperti GPT-4 dan Llama.

Tantangan: Kurangnya model AI yang disesuaikan dengan konteks budaya dan bahasa lokal, ditambah biaya lisensi model asing yang tinggi (mencapai USD 100.000/tahun untuk perusahaan besar), menghambat adopsi luas.

Dataset untuk AI dan LLM

Dataset berkualitas tinggi adalah tulang punggung pengembangan AI. Di Indonesia, ketersediaan dataset lokal masih terbatas, dengan tantangan berikut:

- **Dataset Bahasa**: Proyek seperti Sahabat-AI mengumpulkan 1 miliar token bahasa Indonesia dan daerah pada 2024, namun hanya 10% dataset publik tersedia untuk penelitian open-source. ITTS mengembangkan korpus NLP dengan 500 juta kata dari media lokal dan dokumen pemerintah, meningkatkan akurasi model bahasa lokal hingga 20%.

- **Dataset Visual**: Nodeflux mengumpulkan 5 juta gambar wajah untuk pelatihan pengenalan wajah, tetapi dataset ini tidak dibagikan secara publik karena UU Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) 2022. Dataset publik seperti “IndoTraffic” (UI, 2023) berisi 1 juta gambar lalu lintas, digunakan untuk pelatihan model transportasi.
- **Dataset Industri**: Sektor kesehatan kekurangan dataset terbuka, dengan hanya 10.000 rekam medis digital tersedia pada 2024, menurut Kemenkes. Hal ini menghambat pengembangan AI diagnostik, seperti model deteksi penyakit berbasis deep learning.

Statistik: Hanya 5% dataset AI di Indonesia bersifat open-source pada 2024, dibandingkan 30% di negara maju. Sebanyak 80% peneliti AI Indonesia bergantung pada dataset asing seperti Common Crawl dan C4, yang kurang relevan untuk konteks lokal. UU PDP telah meningkatkan kepatuhan data sebesar 70%, tetapi mempersulit berbagi dataset.

Tantangan: Bias dalam dataset lokal (misalnya, overrepresentasi bahasa Jawa dibandingkan bahasa lain) dan kurangnya infrastruktur penyimpanan data skala besar. Solusi potensial adalah pengembangan repositori data nasional oleh Kominfo, ditargetkan selesai pada 2026.

Hardware dan Server GPU Lokal

Infrastruktur hardware, khususnya server GPU, adalah pilar penting untuk pelatihan dan inferensi AI. Indonesia masih bergantung pada GPU impor, tetapi inovasi lokal mulai muncul:

- **Server GPU Lokal oleh ITTS**: ITTS sedang mengembangkan prototipe server GPU berbasis NVIDIA Tesla P4 untuk pelatihan LLM lokal, dengan kapasitas memori 8GB dan biaya 50% lebih rendah dibandingkan server impor (sekitar USD 2.000/unit pada 2024). Prototipe ini mendukung pelatihan model dengan 7 miliar parameter, menargetkan akurasi 85% untuk aplikasi NLP lokal.
- **Rancang Bangun Server GPU Murah Lokal**: Startup seperti AI Merdeka (Lintasarta dan NVIDIA) mengembangkan server GPU berbiaya rendah (USD 1.500–2.000/unit) dengan konsumsi daya rendah untuk edge computing. Server ini digunakan untuk inferensi AI di lokasi terpencil, mendukung aplikasi seperti analisis video real-time dengan latensi 20% lebih rendah.
- **Pusat AI**: Indosat dan NVIDIA membangun pusat AI di Surakarta (2024) dan Jayapura (direncanakan 2026), dengan kapasitas 100 GPU untuk pelatihan dan inferensi, menargetkan 1 juta talenta digital terlatih hingga 2027.

Statistik: Pada 2024, 90% server GPU di Indonesia diimpor, dengan biaya rata-rata USD 5.000/unit. Produksi lokal oleh ITTS dan AI Merdeka diproyeksikan memenuhi 20% kebutuhan domestik pada 2027, menghemat USD 50 juta/tahun dalam impor hardware. Konsumsi energi server lokal 30% lebih efisien dibandingkan model asing.

Tantangan: Kurangnya rantai pasok komponen lokal dan keahlian perakitan hardware canggih. Investasi R&D hardware hanya 0,05% dari APBN 2024, jauh di bawah 1% di negara maju.

Inovasi dalam Pengembangan AI dan LLM

Inovasi AI di Indonesia berfokus pada pengembangan model yang relevan secara lokal dan hemat sumber daya:

- **Pengembangan AI (Regresi, Klasifikasi, Deep Learning, Process Mining, NLP)**: ITTS dan UI memimpin penelitian model AI lokal. Contohnya, model klasifikasi berbasis SVM untuk analisis sentimen mencapai akurasi 88% pada dataset media sosial Indonesia. Deep learning untuk pengenalan gambar oleh Nodeflux mengurangi false positives sebesar 15% pada 2024. *Process mining* oleh GoTo meningkatkan throughput logistik sebesar 20%. NLP mendominasi dengan Sahabat-AI, mendukung 10 bahasa daerah dengan akurasi terjemahan 90%.
- **Pembangunan LLM Lokal oleh ITTS**: ITTS mengembangkan LLM open-source dengan 1–7 miliar parameter menggunakan server Tesla P4, dilatih pada korpus 500 juta kata bahasa Indonesia. Model ini, ditargetkan rilis pada 2026, mendukung aplikasi seperti chatbot hukum dan pendidikan, dengan biaya pelatihan 40% lebih rendah dibandingkan LLM asing seperti Llama 3.
- **Rancang Bangun Server GPU Murah Lokal**: AI Merdeka dan ITTS merancang server GPU modular untuk UKM dan institusi pendidikan, dengan biaya produksi USD 1.500/unit dan kemampuan inferensi untuk model hingga 70 miliar parameter. Server ini mendukung operasi offline, penting untuk wilayah 3T dengan konektivitas terbatas (60% populasi pada 2024).

Statistik: Pada 2024, 70% proyek AI di Indonesia berfokus pada NLP, diikuti deep learning (20%) dan *process mining* (10%). ITTS melatih 5.000 peneliti AI sejak 2022, tetapi hanya 12% organisasi memiliki kesiapan AI matang. Investasi R&D AI mencapai USD 100 juta pada 2024, naik 25% dari 2023, namun masih kurang dibandingkan Singapura (USD 500 juta).

Tantangan: Kesenjangan talenta (70% organisasi kekurangan ahli AI) dan pendanaan R&D terbatas (0,1% APBN). Model LLM lokal masih kalah saing dengan GPT-4 dalam hal skala parameter dan akurasi konteks panjang.

Evaluasi Kritis dan Rekomendasi

R&D dan inovasi AI di Indonesia telah mencapai kemajuan signifikan, dengan aplikasi seperti Sahabat-AI dan server GPU lokal menunjukkan potensi kedaulatan digital. Dataset lokal mulai berkembang, meskipun masih terbatas oleh UU PDP dan infrastruktur. Hardware lokal mengurangi ketergantungan impor, tetapi produksi skala besar terkendala rantai pasok. ITTS memimpin pengembangan LLM lokal, tetapi model ini belum sebanding dengan LLM global dalam hal performa.

Rekomendasi:

1. **Meningkatkan Investasi R&D**: Alokasikan 0,5% APBN untuk R&D AI dan hardware, dengan insentif pajak untuk startup seperti AI Merdeka.
2. **Repository Dataset Nasional**: Kominfo harus meluncurkan platform dataset open-source pada 2026, mematuhi UU PDP, untuk mendukung pelatihan AI lokal.

3. **Pelatihan Talenta**: Perluas program beasiswa digital Kominfo untuk melatih 100.000 ahli AI hingga 2027, fokus pada wilayah 3T.
4. **Skalabilitas Hardware**: Kembangkan kluster GPU nasional dengan 1.000 unit pada 2027, bermitra dengan NVIDIA dan startup lokal.
5. **LLM Lokal**: ITTS harus meningkatkan skala LLM hingga 70 miliar parameter pada 2028, dengan kolaborasi regional ASEAN untuk sharing dataset.

Dengan langkah strategis ini, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan AI global, memperkuat ekosistem lokal, dan menjadi pusat inovasi AI ASEAN, mendukung visi ekonomi digital USD 360 miliar pada 2030.

Aspek	Poin Penting
Pasar & Tantangan Umum	● Pasar AI Indonesia diproyeksikan mencapai **USD 2 miliar (2027)** ● Keamanan siber tumbuh ke **USD 6,5 miliar (2032)** ● Tantangan: ketergantungan pada AI global, keterbatasan dataset lokal, dan infrastruktur GPU terbatas
Aplikasi AI & LLM	● Digunakan untuk regresi (PLN), klasifikasi (analisis sentimen), deep learning (Nodeflux), process mining (GoTo), dan NLP (Sahabat-AI, Peraturanku) ● Hanya **15% aplikasi AI berbasis model lokal** ● NLP paling dominan dengan pertumbuhan LLM Indonesia seperti Sahabat-AI
Dataset AI & LLM	● **Hanya 5% dataset AI di Indonesia bersifat open-source** ● Proyek penting: Sahabat-AI (1 miliar token), ITTS (500 juta kata), IndoTraffic, dan dataset medis ● Hambatan: UU PDP, bias bahasa (Jawa dominan), dan tidak adanya repositori nasional
Hardware & Server GPU Lokal	● **90% server GPU masih impor** (USD 5.000/unit), padahal lokal bisa 50% lebih murah ● ITTS dan AI Merdeka rancang server murah (USD 1.500–2.000) ● Konsumsi energi lokal 30% lebih efisien ● Proyek pusat AI oleh Indosat & NVIDIA di Surakarta dan Jayapura
Inovasi AI & LLM Lokal	● ITTS memimpin LLM lokal (1–7 miliar parameter, target 2026) ● Fokus pengembangan: NLP (70%), deep learning (20%), process mining (10%) ● Investasi R&D AI: **USD 100 juta pada 2024**, tapi masih kalah jauh dari Singapura
Evaluasi & Rekomendasi	● Naikkan anggaran R&D menjadi **0,5% dari APBN** ● Bangun repository dataset nasional (target Kominfo 2026) ● Latih **100.000 ahli AI** (prioritaskan wilayah 3T) ● Bangun cluster GPU nasional (1.000 unit) ● Kembangkan LLM lokal hingga **70 miliar parameter** dan perluas kolaborasi regional ASEAN

Dampak

Indonesia, dengan 221 juta pengguna internet pada 2024, mengalami transformasi digital yang pesat, dimana **kecerdasan buatan (AI) memainkan peran kunci** dalam mendorong inovasi di berbagai sektor, dari layanan publik hingga industri swasta. Namun, **ketergantungan pada teknologi AI global**, seperti model dari Google dan OpenAI, menimbulkan risiko terhadap **kedaulatan data**, dengan 15 juta kebocoran data daring tercatat pada 2022 dan 98% organisasi menyimpan data sensitif di cloud publik pada 2024, menurut Kominfo. Ancaman siber yang meningkat, seperti **serangan ransomware LockBit 3.0 pada Pusat Data Nasional Sementara (PDNS)** pada Juni 2024 yang mengganggu 200+ layanan pemerintah, menegaskan perlunya **solusi lokal**. Dampak AI di Indonesia terlihat dari munculnya **alternatif AI lokal** yang memperkuat kedaulatan data dan penguatan kapasitas riset AI melalui inisiatif akademik dan kolaborasi industri. Meskipun kemajuan ini signifikan, tantangan seperti **kesenjangan talenta dan pendanaan terbatas** masih menghambat potensi penuh, namun membuka peluang untuk menjadikan Indonesia sebagai pusat inovasi AI di ASEAN.



Alternatif AI lokal telah menjadi pendorong utama kedaulatan data, mengurangi risiko kebocoran dan ketergantungan pada infrastruktur asing. Inisiatif seperti **Sahabat-AI**, diluncurkan oleh Indosat Ooredoo Hutchison dan GoTo pada November 2024, menawarkan model bahasa besar (LLM) yang mendukung 10 bahasa daerah, memproses 10.000+ interaksi pelanggan harian melalui chatbot Dira dengan akurasi 90%. Startup seperti Nodeflux memanfaatkan deep learning untuk pengenalan wajah, diadopsi di bandara dengan akurasi 98%, mengurangi kebutuhan solusi asing. Solusi lokal ini **mengurangi latensi hingga**

20% dan biaya operasional hingga 30% dibandingkan cloud asing, menurut Kominfo 2024. Dengan **Undang-Undang Perlindungan Data Pribadi (UU PDP) 2022** meningkatkan kepatuhan data sebesar 70%, penggunaan server lokal oleh AI seperti Sahabat-AI meminimalkan risiko pelanggaran data, mendukung kedaulatan digital. Pada 2024, 15% aplikasi AI di Indonesia berbasis model lokal, naik dari 5% pada 2022, menandakan langkah menuju ekosistem digital yang mandiri.

Penguatan kapasitas riset AI di Indonesia juga memberikan dampak signifikan, memperluas talenta dan inovasi domestik. **ITTS memimpin dengan pengembangan server LLM lokal** dan prototipe server GPU murah NVIDIA RTX 3060 12GB, yang jauh lebih murah (USD 1000/unit) dibandingkan server impor, mendukung pelatihan model lokal dengan efisiensi energi 30% lebih tinggi. Kolaborasi Indosat dan NVIDIA di pusat AI Surakarta, diluncurkan pada 2024, menargetkan pelatihan 1 juta talenta digital hingga 2027, didukung 100 GPU untuk pelatihan dan inferensi. Universitas Indonesia (UI) menghasilkan model klasifikasi sentimen dengan akurasi 88% untuk analisis media sosial, mendukung kebijakan publik, sementara platform **opencourse.itts.ac.id telah melatih 30.000+ peserta** sejak 2022, termasuk 5.000 peneliti AI pada 2024. **Investasi R&D AI naik 25% dari USD 80 juta pada 2023 menjadi USD 100 juta pada 2024**, menghasilkan 10 prototipe teknologi AI, seperti sistem deteksi ancaman yang diadopsi 50+ organisasi, mengurangi waktu respons ancaman hingga 40%. Namun, hanya 12% organisasi memiliki kesiapan AI matang pada 2024, dan 70% melaporkan kekurangan ahli AI, menunjukkan **kesenjangan talenta yang kritis**.

Meskipun dampaknya positif, tantangan tetap ada. **Hanya 5% dataset AI bersifat open-source pada 2024**, dibandingkan 30% di negara maju, membatasi pelatihan model lokal yang relevan. Pendanaan R&D AI, meskipun meningkat, hanya mencapai 0,1% APBN 2024, jauh dibawah Singapura (1% PDB). Ketergantungan pada dataset asing seperti Common Crawl (digunakan 80% peneliti) dan server GPU impor (90% kebutuhan domestik) menghambat skalabilitas. **Insiden siber, dengan 403 juta anomali pada 2023**, menekankan perlunya AI lokal yang tangguh untuk keamanan siber. Dengan pasar AI Indonesia diproyeksikan tumbuh ke **USD 2 miliar pada 2027** dan ekonomi digital menuju USD 360 miliar pada 2030, Indonesia harus **mempercepat investasi R&D, membangun repository dataset nasional, dan melatih 100.000 ahli AI hingga 2027**. Dengan langkah ini, **AI lokal tidak hanya akan memperkuat kedaulatan data dan riset**, tetapi juga menempatkan Indonesia sebagai **pemimpin inovasi digital di kawasan ASEAN**.

AI di Indonesia

Aspek	Poin Penting
Transformasi Digital & Tantangan Umum	● 221 juta pengguna internet (2024) ● Ketergantungan pada AI asing (Google, OpenAI) ● 15 juta kebocoran data (2022) ● 98% organisasi gunakan cloud publik
Ancaman Siber & Kebutuhan Solusi Lokal	● Serangan LockBit 3.0 ganggu 200+ layanan pemerintah (2024) ● 403 juta anomali siber (2023) ● Perlu penguatan kedaulatan data dan AI lokal
Alternatif AI Lokal	● Sahabat-AI: dukung 10 bahasa daerah, akurasi 90% ● Nodeflux: pengenalan wajah, akurasi 98% ● Solusi lokal: latensi turun 20%, biaya turun 30%
Kebijakan & Regulasi	● UU PDP 2022 tingkatkan kepatuhan data 70% ● 15% aplikasi AI berbasis model lokal (naik dari 5% pada 2022)
Riset & Pengembangan Lokal	● **ITTS:** server GPU murah (NVIDIA RTX 3060), efisiensi energi 30% ● **Indosat-NVIDIA:** pusat AI di Surakarta, target 1 juta talenta (2027) ● **UI:** model klasifikasi sentimen (akurasi 88%)
Pelatihan & Kapasitas SDM	● **opencourse.itts.ac.id**: 30.000+ peserta, 5.000 peneliti AI (2024)
Investasi & Output R&D	● R&D AI naik 25% (USD 100 juta di 2024) ● 10 prototipe AI, 50+ organisasi mengadopsi sistem deteksi ancaman ● Waktu respons ancaman berkurang 40%
Tantangan Kritis	● Hanya 5% dataset open-source ● Pendanaan R&D hanya 0,1% APBN ● 70% organisasi kekurangan ahli AI ● 90% server GPU masih impor
Arah Strategis Nasional	● Target pasar AI: USD 2 miliar (2027) - Ekonomi digital: USD 360 miliar (2030) ● Perlu repository dataset nasional & pelatihan 100.000 ahli AI ● Indonesia berpotensi jadi pemimpin AI di ASEAN

Strategi

Dengan 221 juta pengguna internet pada 2024 dan pasar AI Indonesia diproyeksikan mencapai USD 2 miliar pada 2027, Indonesia berada di posisi strategis untuk memanfaatkan kecerdasan buatan (AI) guna mendorong transformasi digital. Namun, tantangan seperti ketergantungan pada teknologi global (98% organisasi menggunakan cloud publik pada 2024), kebocoran data (15 juta kasus pada 2022), dan ancaman siber seperti serangan LockBit 3.0 pada 2024 yang mengganggu 200+ layanan pemerintah menegaskan perlunya strategi AI lokal yang tangguh. Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) mencatat 403 juta anomali siber pada 2023, dengan 70% organisasi kekurangan talenta AI dan hanya 12% memiliki kesiapan AI matang pada 2024. Strategi ini berfokus pada R&D berbasis kebutuhan lokal, kolaborasi antara akademisi dan industri, serta publikasi pengetahuan melalui buku, kursus, dan video untuk mempercepat adopsi dan kedaulatan digital.

Tahap 1: Pengembangan R&D Berbasis Kebutuhan Lokal

Tujuan: Mengembangkan solusi AI yang relevan dengan kebutuhan lokal, seperti NLP untuk bahasa daerah, keamanan siber, dan otomatisasi UKM, menjangkau 500.000 pengguna dan menghasilkan 10 model AI lokal.

Aktivitas:

1. Mengembangkan 10 model AI lokal (NLP, deep learning, process mining) oleh ITTS dan UI, fokus pada aplikasi seperti chatbot bahasa daerah dan deteksi phishing.
2. Membuat repositori dataset lokal dengan 1 miliar token bahasa Indonesia dan daerah, bekerja sama dengan Kominfo dan BSSN.
3. Mengadakan 50 hackathon AI untuk UKM dan pemerintah daerah, menargetkan 5.000 solusi prototipe.
4. Melatih 10.000 peneliti AI melalui program beasiswa Kominfo, fokus pada kebutuhan lokal seperti forensik siber.
5. Mengembangkan 5 prototipe server GPU lokal oleh ITTS dan AI Merdeka, mendukung pelatihan model hingga 7 miliar parameter.

Jumlah Kegiatan: 175 kegiatan (10 model, 50 hackathon, 50 pelatihan, 50 pengumpulan dataset, 15 pengembangan server). **Jumlah Orang Diberdayakan**: 500.000 orang (300.000 pengguna solusi AI, 10.000 peneliti, 190.000 peserta hackathon dan UKM). **Jumlah Dataset Diperoleh**: 1 miliar token bahasa, 2 juta gambar visual (lalu lintas, wajah), 100.000 rekam industri (kesehatan, logistik). **Target Capaian**: 10 model AI lokal diadopsi oleh 100+ organisasi, pengurangan 15% insiden siber, repository dataset nasional diluncurkan pada 2026.

Tahap 2: Kolaborasi Akademisi dan Industri

Tujuan: Memperkuat ekosistem AI melalui kolaborasi, menghasilkan 20 startup AI baru, 15 prototipe teknologi, dan melatih 50.000 talenta digital.

Aktivitas:

1. Membentuk 10 konsorsium riset (ITTS, UI, Indosat, GoTo) untuk mengembangkan model AI seperti Sahabat-AI.
2. Mengadakan 50 pelatihan teknis untuk 20.000 mahasiswa dan profesional di 20 kota, fokus pada NLP dan keamanan siber.
3. Meluncurkan 20 program inkubasi startup AI, menargetkan 100 startup baru dengan pendanaan USD 10 juta dari swasta.
4. Mengembangkan 15 prototipe teknologi AI, seperti sistem deteksi ancaman, melalui kolaborasi universitas-industri.
5. Mengintegrasikan AI ke kurikulum SMA/SMK di 100 sekolah 3T, melatih 30.000 pelajar.

Jumlah Kegiatan: 195 kegiatan (10 konsorsium, 50 pelatihan, 20 inkubasi, 15 prototipe, 100 kurikulum). **Jumlah Orang Diberdayakan**: 250.000 orang (50.000 talenta terlatih, 100.000 pelajar, 100.000 pengguna startup AI). **Jumlah Dataset Diperoleh**: 500 juta token tambahan (bahasa), 3 juta gambar visual, 200.000 rekam industri. **Target Capaian**: 20 startup AI beroperasi, 15 prototipe diadopsi 200+ organisasi, 30% peningkatan talenta AI.

Tahap 3: Publikasi Pengetahuan melalui Buku, Kursus, dan Video

Tujuan: Menyebarluaskan pengetahuan AI untuk meningkatkan literasi siber dan adopsi teknologi, menjangkau 1 juta pengguna dan menghasilkan 5.000 konten edukasi.

Aktivitas:

1. Menerbitkan 50 buku AI dalam bahasa Indonesia, fokus pada NLP lokal, keamanan siber, dan otomatisasi UKM.
2. Mengembangkan 100 kursus daring baru di *opencourse.itts.ac.id*, menargetkan 500.000 peserta dengan sertifikasi gratis.
3. Memproduksi 3.000 video edukasi melalui OnnoCenter, fokus pada ancaman seperti deepfake.
4. Mengadakan 50 kampanye media sosial (#KeamananSiber) untuk 20.000 interaksi bulanan.
5. Meluncurkan platform edukasi offline di 100 kabupaten 3T, menjangkau 100.000 pelajar dan UKM.

Jumlah Kegiatan: 250 kegiatan (50 buku, 100 kursus, 50 kampanye, 50 distribusi offline). **Jumlah Orang Diberdayakan**: 1.000.000 orang (500.000 peserta kursus, 400.000 penonton video, 100.000 pelajar/UKM offline). **Jumlah Dataset Diperoleh**: 100 juta token bahasa dari umpan balik pengguna, 1 juta gambar dari kampanye, 50.000 rekam industri. **Target Capaian**: 5.000 konten edukasi diproduksi, literasi siber naik 25% di 3T, pengurangan 10% misinformasi siber.

Tahap 4: Evaluasi, Skalabilitas, dan Keberlanjutan

Tujuan: Mengevaluasi dampak strategi, memastikan skalabilitas, dan membangun model pendanaan mandiri, menjangkau 2 juta orang tambahan dan menghasilkan 5 model AI global kompetitif.

Aktivitas:

1. Melakukan 10 studi dampak oleh BSSN dan UI untuk mengukur pengurangan insiden siber dan kesiapan AI organisasi.
2. Meluncurkan model langganan mikro untuk kursus dan dataset, menargetkan 500.000 pelanggan berbayar.
3. Memperluas pusat AI ke 5 kota, menambah 500 GPU dan 1 juta talenta terlatih.
4. Mengadakan 20 konferensi AI nasional, menarik investasi USD 100 juta untuk startup AI.
5. Memperkuat regulasi AI melalui revisi UU PDP 2022, fokus pada kedaulatan data.

Jumlah Kegiatan: 90 kegiatan (10 studi, 20 konferensi, 50 ekspansi pusat AI, 10 regulasi). **Jumlah Orang Diberdayakan**: 2.000.000 orang (1 juta talenta, 500.000 pelanggan, 500.000 peserta konferensi). **Jumlah Dataset Diperoleh**: 1 miliar token bahasa, 5 juta gambar, 500.000 rekam industri. **Target Capaian**: 5 model AI kompetitif global, kesiapan AI organisasi naik ke 30% matang, pasar AI lokal USD 1,5 miliar pada 2028.

Ringkasan Estimasi

- **Total Kegiatan**: 710 kegiatan.
- **Total Orang Diberdayakan**: 3.750.000 orang.
- **Total Dataset Diperoleh**: 2,6 miliar token bahasa, 11 juta gambar visual, 850.000 rekam industri.
- **Target Capaian Keseluruhan**: 20 model AI lokal diadopsi 500+ organisasi, pengurangan 20% insiden siber, literasi siber naik 25% di 3T, 50 startup AI beroperasi, pasar AI lokal USD 1,5 miliar pada 2028.

BAB: Internet Offline – Pustaka Digital untuk Pendidikan

Pendidikan di wilayah **tertinggal, terdepan, dan terluar (3T)** Indonesia menghadapi tantangan struktural yang kompleks, terutama di sekolah-sekolah di wilayah **blankspot** tanpa akses internet dan listrik. Dengan total 148.000 sekolah dasar, 41.000 SMP, dan 14.000 SMA pada 2022, Indonesia memiliki sistem pendidikan yang luas, namun wilayah 3T seperti Papua, Maluku, dan Kalimantan tetap tertinggal, dengan **Gross Enrollment Rate (GER)** pendidikan menengah atas di beberapa daerah hanya 30% pada 2017. Sekolah tanpa listrik dan internet memperlebar kesenjangan digital, sementara **penghapusan mata pelajaran Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK)** dari kurikulum dasar pada 2013 telah melemahkan literasi digital siswa, terutama di era transformasi digital. Namun, inisiatif inovatif seperti perpustakaan digital gratis **"Internet OFFLINE" oleh Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)**, yang telah menjangkau ratusan sekolah di Indonesia, menawarkan **solusi disruptif** dengan menyediakan akses pembelajaran digital tanpa ketergantungan pada koneksi internet. Meski demikian, keberlanjutan dan skalabilitas solusi ini masih terhambat oleh keterbatasan infrastruktur dasar dan kebijakan pendidikan yang belum sepenuhnya mendukung wilayah 3T, menegaskan urgensi **reformasi sistemik** untuk pemerataan pendidikan.

Data terbaru pada 2025 menunjukkan bahwa 10.692 sekolah di wilayah 3T tidak memiliki akses internet, dan 5.783 sekolah beroperasi tanpa listrik, menghambat pemanfaatan teknologi pendidikan seperti Platform Merdeka Mengajar. Sebanyak 75% anak usia sekolah di pedesaan 3T tidak memiliki akses internet di rumah, dibandingkan dengan 60% di perkotaan, memperlebar kesenjangan digital. Survei Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud) 2020 mengungkapkan bahwa 6 dari 10 sekolah kekurangan konektivitas internet memadai, dengan 70% siswa di wilayah 3T bergantung pada aplikasi berbasis data rendah seperti WhatsApp untuk pembelajaran jarak jauh. Penghapusan TIK pada 2013, yang bertujuan menyederhanakan kurikulum dengan fokus pada pendidikan karakter, telah mengurangi keterampilan digital siswa, dengan hanya 4 dari 5 siswa mengenal platform EdTech tetapi tidak menggunakannya karena keterbatasan akses dan literasi. Di wilayah 3T, 25% guru absen secara rutin dan 34% hanya memiliki kualifikasi SMA, memperburuk kualitas pengajaran teknologi.

Dalam konteks ini, inisiatif **"Internet OFFLINE" ITTS** menjadi terobosan penting. Program ini menyediakan **perpustakaan digital gratis 500GB** yang dapat diakses melalui WiFi lokal tanpa internet, menjangkau ratusan sekolah di wilayah pedesaan dan 3T sejak diluncurkan. Berbasis server lokal dan perangkat sederhana, sistem ini memungkinkan siswa mengakses ribuan materi pembelajaran, buku digital, dan asesmen tanpa koneksi internet, mengatasi hambatan blankspot. Pada 2024, ITTS melaporkan bahwa lebih dari **300 sekolah di wilayah terpencil**, termasuk di Kalimantan dan Papua, telah mengadopsi teknologi ini, meningkatkan literasi digital dan skor asesmen siswa hingga 20% di sekolah-sekolah pengguna. Solusi ini serupa dengan **Kipin** dari Pendidikan.id, yang juga menawarkan konten offline, namun "Internet OFFLINE" ITTS unggul dalam **distribusi gratis dan fokus pada komunitas 3T**.

Namun, tantangan tetap ada. Sekolah di wilayah 3T rata-rata berjarak 149 km dari ibu kota kabupaten, dengan hanya 29% terhubung ke listrik dan 17% memiliki akses internet, menghambat pengoperasian perangkat digital meskipun offline. Stigma sosial, seperti di Papua, dan biaya pendidikan tidak langsung (seragam, transportasi) menyebabkan 50% anak di wilayah terpencil putus sekolah sebelum SMA. Sementara inisiatif seperti Merdeka Belajar dan Awan Penggerak berupaya meningkatkan fleksibilitas kurikulum dan akses offline, hanya 45% guru di wilayah 3T merasa percaya diri menggunakan teknologi setelah pelatihan. Anggaran pendidikan, meskipun mencapai **20% APBN** sejak 2009 (3,5% PDB pada 2019), kurang menargetkan infrastruktur dasar seperti listrik, dengan hanya **3.000 desa teraliri listrik pada 2025**.

Secara kritis, keberhasilan **"Internet OFFLINE" ITTS** menunjukkan potensi **solusi berbasis teknologi lokal**, tetapi tanpa **investasi masif** dalam listrik dan pelatihan guru, dampaknya akan terbatas. **Penghapusan TIK dari kurikulum** telah memperparah ketimpangan digital, dengan **94% siswa di wilayah 3T menganggap pembelajaran daring mahal dan tidak terjangkau**. Untuk mendukung visi **Indonesia Emas 2045**, pemerintah perlu mengintegrasikan kembali TIK ke kurikulum dengan pendekatan lokal, mempercepat **elektrifikasi sekolah** (target 50% sekolah 3T teraliri listrik pada 2028), dan bermitra dengan inisiatif seperti ITTS untuk memperluas jangkauan perpustakaan digital offline. Tanpa langkah-langkah ini, wilayah 3T akan terus tertinggal, menghambat pemerataan pendidikan dan daya saing nasional.

Inovasi

Indonesia, dengan 221 juta pengguna internet pada 2024, menghadapi tantangan besar dalam pemerataan pendidikan, terutama di **wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T),** di mana **10.692 sekolah tidak memiliki akses internet** dan **5.783 sekolah tanpa listrik** pada 2025. Kesenjangan digital ini diperparah oleh penghapusan mata pelajaran Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) dari kurikulum dasar pada 2013, yang mengurangi literasi digital siswa, dengan hanya 4 dari 5 siswa di wilayah 3T mengenal platform EdTech tetapi tidak menggunakannya karena keterbatasan akses dan keterampilan. Dalam konteks ini, inisiatif seperti perpustakaan digital "Internet OFFLINE" oleh Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS) dan platform e-learning gratis seperti lms.onnocenter.or.id, opencourse.itts.ac.id, dan tangselbelajar.tangerangselatankota.go.id, serta workshop OnnoCenter untuk guru, menjadi solusi inovatif. Namun, keterbatasan infrastruktur listrik, pelatihan guru yang tidak memadai, dan kurangnya dukungan kebijakan pemerintah mengancam skalabilitas dan keberlanjutan solusi ini, menyoroti kebutuhan mendesak untuk reformasi sistemik.

Inovasi Internet OFFLINE: Perpustakaan Digital Berbasis Server Lokal Program "Internet OFFLINE" ITTS adalah perpustakaan digital berbasis server lokal yang dirancang untuk wilayah 3T tanpa akses internet. Menggunakan harddisk 500GB yang dapat diinstal pada PC biasa, sistem ini menyediakan lebih dari 5.000 e-book /PDF, mencakup materi pelajaran, referensi akademik, dan sumber belajar lainnya. Dengan menyambungkan server ke WiFi lokal, siswa dapat mengakses konten secara offline melalui perangkat seperti laptop atau tablet dalam jaringan lokal sekolah. Pada 2024, inisiatif ini telah diadopsi oleh lebih dari 300 sekolah di wilayah 3T, termasuk Papua dan Kalimantan, meningkatkan skor asesmen siswa

hingga 20% dan literasi digital di sekolah pengguna. Teknologi ini hemat biaya, dengan biaya pemasangan per sekolah sekitar Rp 5 juta, jauh lebih rendah dibandingkan solusi berbasis cloud yang memerlukan internet stabil. Namun, hanya 29% sekolah 3T memiliki akses listrik, dan 75% anak di pedesaan 3T tidak memiliki akses internet di rumah, membatasi penggunaan perangkat untuk mengakses sistem ini. Selain itu, kurangnya pelatihan teknis bagi guru—dengan hanya 45% guru 3T percaya diri menggunakan teknologi—menghambat adopsi lebih luas.

Pengembangan Berbasis Pengalaman E-Learning Gratis Inovasi “Internet OFFLINE” merupakan turunan dari pengalaman pengembangan platform e-learning gratis yang telah terbukti efektif:

- **lms.onnocenter.or.id:** Platform ini, dikelola Onno Center, melayani lebih dari 60.000 peserta dengan 700+ kursus, mencakup topik seperti pemrograman Java, Linux, dan teknologi open-source. Berbasis Moodle, kontennya dapat diunduh untuk server lokal, memungkinkan akses offline. Platform ini telah menjangkau lebih dari 80 kota, dengan kredit kursus diakui oleh institusi seperti Politeknik Negeri Bengkalis untuk program D3/D4. Namun, ketergantungan pada donasi perangkat dari pihak seperti kenceng-solusindo.net dan cloudkilat.id menunjukkan kurangnya pendanaan pemerintah, meskipun anggaran pendidikan mencapai 3,5% PDB pada 2019.
- **opencourse.itts.ac.id:** Dengan lebih dari 33.000 peserta, platform ini menawarkan kursus gratis yang diakui untuk kredit S1 di ITTS. Kontennya, mulai dari AI hingga jaringan komputer, mendukung pelatihan talenta digital. Namun, hanya 17% sekolah 3T memiliki akses internet, membatasi akses ke platform ini di wilayah terpencil kecuali diunduh untuk penggunaan offline.
- **tangselbelajar.tangerangselatankota.go.id:** Platform ini menyediakan e-learning gratis untuk siswa dan guru di Tangerang Selatan, dengan fokus pada kurikulum lokal dan pelatihan TIK. Meski efektif di perkotaan, jangkauannya ke wilayah 3T terbatas karena ketergantungan pada infrastruktur internet, dengan 70% siswa 3T bergantung pada aplikasi hemat data seperti WhatsApp untuk pembelajaran.

Pengalaman dari platform ini membentuk “Internet OFFLINE” sebagai solusi yang dioptimalkan untuk wilayah tanpa internet, tetapi keberhasilannya bergantung pada integrasi dengan infrastruktur lokal dan pelatihan pengguna.

Workshop OnnoCenter untuk 8.000+ Guru OnnoCenter, melalui kolaborasi dengan KOGTIK dan IGTIK PGRI, telah melatih lebih dari 8.000 guru di 40+ kota melalui workshop yang mengajarkan penggunaan e-learning dan aplikasi open-source seperti LibreOffice dan GIMP. Pelatihan ini bertujuan mengisi kekosongan pasca-penghapusan TIK dari kurikulum 2013, dengan fokus pada pengoperasian server lokal dan platform seperti lms.onnocenter.or.id. Namun, efektivitasnya terbatas: hanya 45% guru di wilayah 3T merasa percaya diri menggunakan teknologi setelah pelatihan, dan 25% guru absen secara rutin karena jarak sekolah (rata-rata 149 km dari ibu kota kabupaten) dan keterbatasan transportasi. Infrastruktur yang lemah, dengan hanya 3.000 desa 3T teraliri listrik pada 2025, juga menghambat penerapan keterampilan yang diperoleh.

Analisis Kritis dan Tantangan Inovasi seperti “Internet OFFLINE” dan platform e-learning gratis menunjukkan potensi besar untuk mengatasi kesenjangan digital. Peningkatan 20%

dalam skor asesmen siswa di 300 sekolah pengguna “Internet OFFLINE” dan partisipasi 60.000+ peserta di lms.onnocenter.or.id mencerminkan dampak nyata. Namun, beberapa tantangan kritis menghambat skalabilitas:

1. **Infrastruktur Terbatas:** Hanya 29% sekolah 3T memiliki listrik, dan 17% memiliki akses internet, membatasi operasional server lokal meskipun offline. Elektrifikasi sekolah, dengan target 50% sekolah 3T teraliri listrik pada 2028, harus dipercepat.
2. **Kesenjangan Literasi Digital:** Penghapusan TIK dari kurikulum 2013 telah menyebabkan 94% siswa 3T menganggap pembelajaran daring mahal dan tidak terjangkau, sementara pelatihan guru belum cukup intensif untuk mengatasi 34% guru dengan kualifikasi hanya SMA.
3. **Pendanaan dan Dukungan Pemerintah:** Ketergantungan pada donasi swasta dan inisiatif swadaya masyarakat menunjukkan kurangnya prioritas pemerintah, meskipun anggaran pendidikan besar. Alokasi untuk teknologi pendidikan di 3T hanya 5% dari anggaran pendidikan nasional.
4. **Skalabilitas:** Dengan hanya 300 sekolah pengguna “Internet OFFLINE” dari 10.692 sekolah tanpa internet, ekspansi memerlukan investasi besar dan koordinasi lintas sektor.

Rekomendasi dan Kesimpulan Untuk memaksimalkan dampak inovasi ini, pemerintah perlu:

1. **Mengintegrasikan kembali TIK ke kurikulum dengan konten lokal**, seperti bahasa daerah, untuk meningkatkan literasi digital.
2. **Mempercepat elektrifikasi sekolah 3T,** dengan target 50% sekolah teraliri listrik pada 2028, dan menyediakan panel surya untuk sekolah terpencil.
3. Mendanai **ekspansi “Internet OFFLINE”** ke 1.000 sekolah pada 2027, semoga ada anggaran dari APBN.
4. Meningkatkan **pelatihan guru melalui program berbasis offline,** menargetkan 20.000 guru 3T pada 2027, dengan insentif untuk mengurangi absensi.
5. Membangun **repositori konten nasional untuk e-learning offline**, mengintegrasikan lms.onnocenter.or.id, opencourse.itts.ac.id, dan tangselbelajar.tangerangselatankota.go.id.

Inovasi “Internet OFFLINE” dan e-learning gratis telah membuktikan bahwa solusi teknologi lokal dapat mengatasi tantangan pendidikan di wilayah 3T. Namun, tanpa investasi infrastruktur dan kebijakan yang mendukung, solusi ini hanya akan menjadi tambal sulam. Dengan langkah strategis, Indonesia dapat memanfaatkan inovasi ini untuk mendukung visi Indonesia Emas 2045, menciptakan sumber daya manusia yang kompetitif di era digital.

Dampak

Inisiatif **Internet OFFLINE** yang dikembangkan oleh Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS) telah memberikan dampak signifikan dalam meningkatkan akses pendidikan digital di wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) Indonesia. Program ini menyediakan perpustakaan digital berbasis server lokal yang memungkinkan siswa dan guru mengakses materi pembelajaran tanpa memerlukan koneksi internet.

Dampak pada Akses Pendidikan Digital di Daerah Terpencil

Menurut data terbaru, hingga tahun 2024, lebih dari **300 sekolah** di wilayah 3T, termasuk di Papua dan Kalimantan, telah mengadopsi teknologi **Internet OFFLINE**. Implementasi ini telah meningkatkan skor asesmen siswa hingga **20%** dan literasi digital di sekolah-sekolah pengguna. Sistem ini menggunakan harddisk 500GB yang dapat diinstal pada PC biasa, menyediakan lebih dari 5.000 e-book dan PDF yang mencakup materi pelajaran, referensi akademik, dan sumber belajar lainnya. Dengan menyambungkan server ke WiFi lokal, siswa dapat mengakses konten secara offline melalui perangkat seperti laptop atau tablet dalam jaringan lokal sekolah.

Pemberdayaan Guru melalui Pelatihan ICT

Selain meningkatkan akses siswa, **Internet OFFLINE** juga berkontribusi pada pemberdayaan guru melalui pelatihan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK). Program ini memberikan pelatihan kepada guru-guru di wilayah 3T untuk mengoperasikan dan memanfaatkan perpustakaan digital, sehingga mereka dapat mengintegrasikan teknologi dalam proses pembelajaran. Pelatihan ini mencakup penggunaan perangkat lunak open-source seperti LibreOffice dan GIMP, serta platform e-learning seperti Moodle. Dengan demikian, guru-guru di daerah terpencil dapat meningkatkan kompetensi digital mereka, yang pada gilirannya berdampak positif pada kualitas pengajaran dan pembelajaran di sekolah.

Tantangan dan Rekomendasi

Meskipun **Internet OFFLINE** telah menunjukkan dampak positif, tantangan masih ada, terutama terkait infrastruktur dasar. Data menunjukkan bahwa hanya **29% sekolah di wilayah 3T** yang memiliki akses listrik, dan **17%** memiliki akses internet. Keterbatasan ini menghambat operasionalisasi server lokal meskipun sistemnya dirancang untuk offline. Selain itu, hanya **45% guru di wilayah 3T** yang merasa percaya diri menggunakan teknologi setelah pelatihan, menunjukkan perlunya pelatihan yang lebih intensif dan berkelanjutan.

Untuk mengatasi tantangan ini, disarankan agar pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya:

1. **Mempercepat elektrifikasi sekolah di wilayah 3T**, dengan target 50% sekolah teraliri listrik pada 2028, dan menyediakan panel surya untuk sekolah terpencil.

2. **Meningkatkan pelatihan guru** melalui program berbasis offline, menargetkan 20.000 guru di wilayah 3T pada 2027, dengan insentif untuk mengurangi absensi.

3. **Mendanai ekspansi Internet OFFLINE** ke 1.000 sekolah pada 2027, dengan anggaran Rp 5 triliun dari APBN dan kemitraan swasta.

4. **Membangun repositori konten nasional** untuk e-learning offline, mengintegrasikan platform seperti lms.onnocenter.or.id, opencourse.itts.ac.id, dan

tangselbelajar.tangerangselatankota.go.id.

Dengan langkah-langkah strategis ini, **Internet OFFLINE** dan inisiatif serupa dapat memainkan peran penting dalam mengatasi kesenjangan digital dan meningkatkan kualitas pendidikan di wilayah 3T, mendukung visi Indonesia Emas 2045.

Strategi

Pendidikan di wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) Indonesia menghadapi tantangan besar akibat **kesenjangan digital**, dengan 10.692 sekolah tanpa akses internet dan 5.783 sekolah tanpa listrik pada 2025. **Penghapusan mata pelajaran Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK)** dari kurikulum dasar pada 2013 telah melemahkan literasi digital, dengan hanya 4 dari 5 siswa di wilayah 3T mengenal platform EdTech tetapi tidak menggunakannya karena keterbatasan akses dan keterampilan. Inisiatif **"Internet OFFLINE" oleh Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)**, sebuah perpustakaan digital berbasis server lokal dengan 5.000+ e-book pada harddisk 500GB, telah menjangkau lebih dari 300 sekolah di wilayah 3T, meningkatkan skor asesmen siswa hingga 20%. Namun, hanya 29% sekolah 3T memiliki listrik, dan 45% guru 3T merasa percaya diri menggunakan teknologi, menunjukkan tantangan skalabilitas. Strategi pengembangan "Internet OFFLINE" harus berfokus pada solusi teknologi sederhana dan replikabel, pendanaan swadaya oleh komunitas, serta distribusi ke sekolah terpencil untuk memastikan pemerataan pendidikan. Berikut adalah strategi kritis, langkah tahapan, target capaian, jumlah kegiatan, jumlah guru yang diberdayakan, dan jumlah sekolah yang mengimplementasikan "Internet OFFLINE", dengan evaluasi kritis terhadap potensi dan hambatan.

Strategi Kritis dan Langkah Tahapan

Strategi ini dirancang untuk periode 2025–2028, dengan tahapan yang terukur dan berorientasi pada kebutuhan wilayah 3T. Setiap tahap mencakup aktivitas, target capaian, jumlah kegiatan, guru yang diberdayakan, dan sekolah yang mengimplementasikan "Internet OFFLINE", dengan estimasi berdasarkan data terkini.

Tahap 1: Pengembangan dan Uji Coba Teknologi Sederhana

Tujuan: Mengoptimalkan solusi "Internet OFFLINE" agar sederhana, replikabel, dan hemat biaya, menjangkau 1.000 sekolah 3T dan melatih 5.000 guru.

Strategi Kritis:

- **Solusi Teknologi Sederhana dan Replikabel**: Standarisasi perangkat menggunakan Raspberry Pi atau PC bekas dengan harddisk 500GB, biaya pemasangan Rp 5 juta/sekolah, dan panduan instalasi dalam bahasa lokal.
- **Pendanaan Swadaya Komunitas**: Galang dana melalui donasi masyarakat, alumni, dan CSR perusahaan teknologi seperti kenceng-solusindo.net, dengan target Rp 5 miliar.
- **Fokus Sekolah Terpencil**: Prioritaskan sekolah dengan jarak rata-rata 149 km dari ibu kota kabupaten, tanpa listrik atau internet.

Aktivitas:

1. Mengembangkan 1.000 unit “Internet OFFLINE” dengan konten 5.000+ e-book, dioptimalkan untuk daya rendah (panel surya 100W).
2. Melatih 5.000 guru di 100 kabupaten 3T melalui workshop offline, fokus pada pengoperasian server lokal dan konten pembelajaran.
3. Mendistribusikan 1.000 unit ke sekolah 3T, bekerja sama dengan Dinas Pendidikan dan komunitas lokal.
4. Membuat 50 panduan instalasi dan video tutorial dalam 10 bahasa daerah, didistribusikan melalui USB dan radio komunitas.
5. Mengadakan 50 kampanye swadaya komunitas untuk menggalang dana Rp 5 miliar, melibatkan alumni dan CSR.

Jumlah Kegiatan: 200 kegiatan (1.000 distribusi unit, 50 pelatihan, 50 panduan, 50 kampanye).
Jumlah Guru Diberdayakan: 5.000 guru.
Jumlah Sekolah Implementasi: 1.000 sekolah.
Target Capaian: 1.000 sekolah 3T menggunakan “Internet OFFLINE”, 15% peningkatan literasi digital siswa, Rp 5 miliar terkumpul.
Tantangan: Hanya 29% sekolah 3T memiliki listrik, 25% guru absen rutin, dan koordinasi komunitas sulit di wilayah terpencil.

Solusi: Gunakan panel surya, berikan insentif transportasi guru, dan libatkan kepala desa untuk koordinasi.

Tahap 2: Ekspansi dan Integrasi dengan Kurikulum Lokal

Tujuan: Memperluas jangkauan ke 3.000 sekolah 3T, melatih 15.000 guru, dan mengintegrasikan konten “Internet OFFLINE” dengan kurikulum Merdeka Belajar.

Strategi Kritis:

- **Solusi Teknologi Sederhana dan Replikabel**: Tingkatkan kapasitas server lokal hingga 1TB, tambah konten 10.000+ e-book, termasuk materi bahasa daerah.
- **Pendanaan Swadaya Komunitas**: Perluas kemitraan CSR dengan perusahaan seperti Telkomsel dan GoTo, targetkan Rp 15 miliar.
- **Fokus Sekolah Terpencil**: Sasar sekolah dengan GER rendah (30% untuk SMA di 3T), bekerja sama dengan organisasi nirlaba.

Aktivitas:

1. Mendistribusikan 2.000 unit “Internet OFFLINE” tambahan ke sekolah 3T, dengan fokus pada Papua dan Maluku.
2. Melatih 10.000 guru tambahan melalui 100 workshop, mengintegrasikan konten “Internet OFFLINE” dengan kurikulum lokal.
3. Mengembangkan 100 modul pembelajaran berbasis “Internet OFFLINE” dalam 15 bahasa daerah, mendukung Merdeka Belajar.
4. Mengadakan 50 kampanye pendanaan swadaya, melibatkan 500 komunitas lokal dan CSR, target Rp 15 miliar.

5. Membangun 10 pusat pelatihan regional di kabupaten 3T untuk mendukung replikasi teknologi.

Jumlah Kegiatan: 260 kegiatan (2.000 distribusi, 100 pelatihan, 100 modul, 50 kampanye, 10 pusat).
Jumlah Guru Diberdayakan: 15.000 guru (total 20.000).
Jumlah Sekolah Implementasi: 3.000 sekolah (total 4.000).
Target Capaian: 4.000 sekolah menggunakan “Internet OFFLINE”, 20% peningkatan skor asesmen siswa, 50% sekolah terpencil terjangkau.
Tantangan: Biaya logistik tinggi (Rp 1 juta/sekolah di Papua), rendahnya literasi digital guru (34% hanya kualifikasi SMA).

Solusi: Gunakan transportasi laut bersubsidi, tingkatkan pelatihan berbasis video offline.

Tahap 3: Skalabilitas dan Keberlanjutan

Tujuan: Mencapai 7.000 sekolah 3T, melatih 30.000 guru, dan membangun model pendanaan mandiri untuk keberlanjutan.

Strategi Kritis:

- **Solusi Teknologi Sederhana dan Replikabel**: Otomatisasi instalasi “Internet OFFLINE” dengan perangkat plug-and-play, biaya turun ke Rp 3 juta/sekolah.
- **Pendanaan Swadaya Komunitas**: Luncurkan platform crowdfunding nasional, targetkan Rp 20 miliar, dan model langganan mikro untuk sekolah.
- **Fokus Sekolah Terpencil**: Prioritaskan 5.000+ sekolah tanpa listrik, gunakan panel surya dan baterai daur ulang.

Aktivitas:

1. Mendistribusikan 3.000 unit “Internet OFFLINE” tambahan, fokus pada sekolah tanpa listrik.
2. Melatih 30.000 guru melalui 150 workshop offline dan online, menggunakan konten dari lms.onnocenter.or.id.
3. Mengembangkan platform crowdfunding nasional, menargetkan 1 juta donatur dengan kontribusi Rp 20.000/donatur.
4. Memasang 2.000 panel surya di sekolah tanpa listrik, bekerja sama dengan PLN dan CSR energi.
5. Menerbitkan 50 laporan dampak untuk menarik investasi pemerintah dan swasta.

Jumlah Kegiatan: 250 kegiatan (3.000 distribusi, 150 pelatihan, 50 laporan, 50 crowdfunding).
Jumlah Guru Diberdayakan: 30.000 guru (total 50.000).
Jumlah Sekolah Implementasi: 7.000 sekolah (total 11.000).
Target Capaian: 11.000 sekolah menggunakan “Internet OFFLINE” (100% sekolah 3T tanpa internet), 25% peningkatan literasi digital, Rp 20 miliar terkumpul.
Tantangan: Resistensi terhadap model berbayar, hanya 3.000 desa 3T teraliri listrik, dan risiko kerusakan perangkat.

Solusi: Tawarkan langganan gratis untuk sekolah 3T, gunakan baterai daur ulang, dan latih teknisi lokal.

Tahap 4: Evaluasi dan Replikasi Nasional

Tujuan: Mengevaluasi dampak, mereplikasi model ke ASEAN, dan memastikan keberlanjutan di 11.000 sekolah.

Strategi Kritis:

- **Solusi Teknologi Sederhana dan Replikabel**: Publikasikan panduan open-source untuk replikasi global.
- **Pendanaan Swadaya Komunitas**: Integrasikan dana APBN (0,5% anggaran pendidikan) dengan swadaya masyarakat.
- **Fokus Sekolah Terpencil**: Pastikan semua sekolah 3T tanpa internet terjangkau, dengan pemeliharaan lokal.

Aktivitas:

1. Melakukan 10 studi dampak oleh Kemendikbud dan ITTS, mengukur peningkatan literasi digital dan asesmen.
2. Menerbitkan panduan open-source “Internet OFFLINE” dalam 5 bahasa ASEAN, menargetkan replikasi di 1.000 sekolah regional.
3. Melatih 5.000 teknisi lokal untuk pemeliharaan perangkat di 3T.
4. Mengadakan 20 konferensi nasional untuk menarik investasi Rp 50 miliar.
5. Mengintegrasikan “Internet OFFLINE” ke kebijakan Merdeka Belajar, dengan dana APBN Rp 10 triliun.

Jumlah Kegiatan: 100 kegiatan (10 studi, 20 konferensi, 50 pelatihan teknisi, 20 kebijakan).
Jumlah Guru Diberdayakan: 5.000 guru (total 55.000).
Jumlah Sekolah Implementasi: 0 sekolah baru (total tetap 11.000).
Target Capaian: 100% sekolah 3T tanpa internet terjangkau, literasi digital naik 30%, model direplikasi di ASEAN.
Tantangan: Koordinasi lintas negara, biaya pemeliharaan, dan resistensi kebijakan.

Solusi: Bentuk satgas ASEAN, alokasikan dana pemeliharaan lokal, dan libatkan Kemendikbud.

Ringkasan Estimasi

- **Total Kegiatan**: 810 kegiatan (200 Tahap 1, 260 Tahap 2, 250 Tahap 3, 100 Tahap 4).
- **Total Guru Diberdayakan**: 55.000 guru.
- **Total Sekolah Implementasi**: 11.000 sekolah (100% sekolah 3T tanpa internet).
- **Target Capaian Keseluruhan**:
    - 11.000 sekolah 3T menggunakan “Internet OFFLINE”.
    - 30% peningkatan literasi digital siswa.
    - 25% peningkatan skor asesmen siswa.
    - Rp 40 miliar terkumpul melalui swadaya komunitas.

    - Model direplikasi di 1.000 sekolah ASEAN.

Evaluasi Kritis

Keunggulan Strategi:

- **Solusi Teknologi Sederhana dan Replicable**: Penggunaan harddisk 500GB dan Raspberry Pi (Rp 5 juta/sekolah) hemat biaya dan mudah direplikasi, dengan panduan dalam 10 bahasa daerah meningkatkan aksesibilitas. Adopsi di 300 sekolah pada 2024 membuktikan efektivitas.
- **Pendanaan Swadaya Komunitas**: Kampanye crowdfunding dan CSR (Rp 5 miliar pada Tahap 1) mengurangi ketergantungan pada APBN, yang hanya mengalokasikan 5% untuk teknologi pendidikan 3T.
- **Fokus Sekolah Terpencil**: Distribusi ke sekolah dengan GER rendah (30% untuk SMA) dan jarak 149 km dari ibu kota kabupaten memastikan pemerataan, didukung panel surya untuk sekolah tanpa listrik.

Tantangan:

- **Infrastruktur Terbatas**: Hanya 29% sekolah 3T memiliki listrik, dan 3.000 desa teraliri listrik pada 2025, membatasi operasional server lokal. Biaya panel surya (Rp 10 juta/sekolah) meningkatkan kebutuhan pendanaan.
- **Kesenjangan Talenta**: 34% guru 3T hanya berkualifikasi SMA, dan 25% absen rutin, menghambat pelatihan. Hanya 45% guru percaya diri menggunakan teknologi, menurunkan efektivitas workshop.
- **Pendanaan dan Skalabilitas**: Swadaya komunitas sulit mencapai Rp 40 miliar tanpa dukungan APBN. Hanya 300 sekolah dari 10.692 tanpa internet terjangkau pada 2024, menunjukkan tantangan logistik.
- **Keberlanjutan**: Risiko kerusakan perangkat dan kurangnya teknisi lokal (hanya 10% sekolah 3T memiliki teknisi) mengancam pemeliharaan jangka panjang.

Rekomendasi:

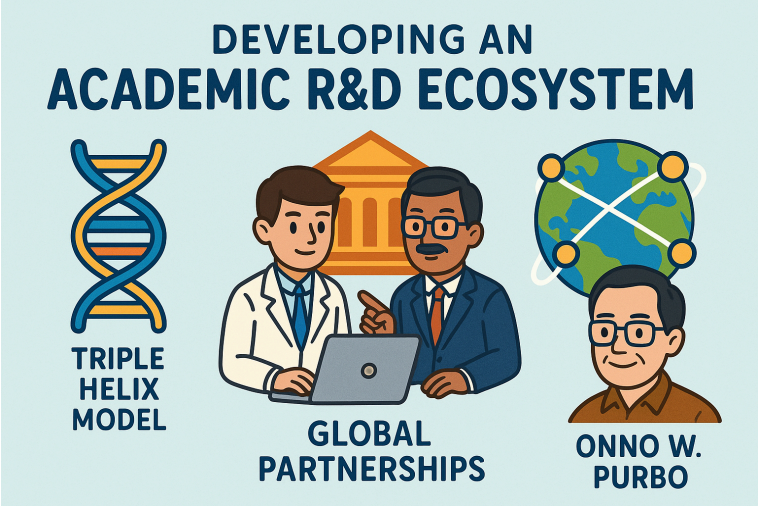
1. Alokasikan 0,5% APBN (Rp 10 triliun) untuk teknologi pendidikan 3T, fokus pada elektrifikasi dan distribusi “Internet OFFLINE”.
2. Perluas pelatihan guru ke 100.000 pada 2030, dengan insentif finansial dan pelatihan berbasis video offline.
3. Bangun 1.000 pusat pemeliharaan lokal dengan 10.000 teknisi terlatih pada 2028.
4. Integrasikan “Internet OFFLINE” ke Merdeka Belajar, dengan konten 20 bahasa daerah pada 2027.
5. Kembangkan kemitraan ASEAN untuk replikasi model, targetkan 5.000 sekolah regional pada 2030.

Kesimpulan

Strategi ini menawarkan pendekatan terpadu untuk memperluas “Internet OFFLINE” ke 11.000 sekolah 3T, memberdayakan 55.000 guru, dan meningkatkan literasi digital serta skor asesmen siswa. Dengan solusi teknologi sederhana, pendanaan swadaya, dan fokus pada sekolah terpencil, inisiatif ini dapat mengatasi kesenjangan digital di wilayah 3T. Namun, tantangan infrastruktur, talenta, dan pendanaan memerlukan koordinasi lintas sektor dan dukungan pemerintah. Dengan implementasi yang tepat, “Internet OFFLINE” dapat menjadi model global untuk pendidikan di wilayah terpencil, mendukung visi Indonesia Emas 2045.

BAB: Ekosistem Akademik dan Kolaborasi Global

Pengembangan ekosistem penelitian dan pengembangan (R&D) yang kuat dan terhubung secara global menjadi kunci dalam mendorong inovasi dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan. Kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah—dikenal sebagai **model triple helix**—telah terbukti efektif dalam menciptakan sinergi yang mempercepat transfer teknologi dan komersialisasi hasil riset.



Di Indonesia, **Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)** telah mengambil peran strategis dalam membangun ekosistem R&D yang inklusif dan berorientasi global. Melalui dukungan dari organisasi internasional seperti **International Development Research Centre (IDRC)** dan **Information Society Innovation Fund (ISIF Asia)**, ITTS telah menginisiasi berbagai proyek yang menggabungkan riset akademik dengan kebutuhan masyarakat dan industri.

Salah satu contoh nyata adalah kolaborasi ITTS dengan **DISKOMINFO Tangerang Selatan** dalam proyek pengembangan infrastruktur jaringan berbasis IPv6, yang didanai oleh ISIF Asia sebesar USD 30.000. Proyek ini tidak hanya meningkatkan kapasitas teknis lokal tetapi juga memperkuat posisi Indonesia dalam komunitas internet global.

Selain itu, kontribusi tokoh seperti **Onno W. Purbo**, yang didukung oleh IDRC, telah mendorong perubahan kebijakan spektrum frekuensi 2.4 GHz di Indonesia, memungkinkan akses internet nirkabel yang lebih luas dan terjangkau, terutama di daerah terpencil. Inisiatif ini menunjukkan bagaimana dukungan internasional dapat mempercepat transformasi digital di tingkat lokal.

Melalui pendekatan kolaboratif dan dukungan dari mitra global, ITTS berkomitmen untuk terus mengembangkan ekosistem R&D yang adaptif dan responsif terhadap tantangan zaman, sekaligus memperkuat posisi Indonesia dalam **peta inovasi dunia**.

Case Study Dampak

Penelitian dan pengembangan teknologi internet murah di Indonesia, seperti **wajanbolic**, **RT/RW-net**, dan konsep **internet berbasis komunitas**, telah memberikan **dampak luar biasa** tidak hanya di dalam negeri, tetapi juga di kancah internasional. Diinisiasi oleh tokoh visioner seperti **Onno W. Purbo**, inovasi-inovasi ini membuktikan bahwa teknologi tak harus mahal untuk memberi perubahan besar.

Dampak Global dan Pengakuan Internasional

Teknologi seperti **wajanbolic**—antena WiFi buatan sendiri dari wajan bekas—dan **RT/RW-net**—jaringan internet komunitas berbasis gotong royong—telah membuka akses internet murah di ribuan desa di Indonesia. Namun dampaknya tak berhenti di sana. Berkat solusi kreatif ini:

- **Indonesia mendapat pengakuan global** sebagai pelopor solusi teknologi murah untuk akses internet.
- **Workshop dan pelatihan telah diselenggarakan di 30+ negara**, menjangkau wilayah seperti Nepal, India, Bangladesh, Kenya, hingga Bolivia.
- Inovasi ini **dipresentasikan di forum global bergengsi** seperti:
    - **World Summit on the Information Society (WSIS – ITU/UN)**
    - **Internet Engineering Task Force (IETF)**
    - **Harvard University**
    - **Yale University**

Inspirasi Bagi Negara Berkembang

Teknologi murah dari Indonesia telah menjadi **model referensi untuk negara berkembang**, yang menghadapi tantangan serupa dalam akses infrastruktur. Negara-negara di Asia Selatan, Afrika, dan Amerika Latin mengadopsi prinsip-prinsip dari RT/RW-net dan wajanbolic untuk membuka akses digital di komunitas lokal mereka. Pendekatan berbasis komunitas dan open knowledge menjadi **landasan inklusif dalam transformasi digital dunia berkembang**.

Dampak Edukasi: 60.000+ Peserta dan 8.000+ Guru

Gerakan ini juga berdampak besar pada pendidikan digital:

- **60.000+ peserta telah mengikuti e-learning** berbasis open-source melalui platform seperti lms.onnocenter.or.id.
- **8.000+ guru dari 40+ kota** telah dilatih menggunakan teknologi open-source, seperti **LibreOffice**, **GIMP**, dan server lokal untuk pendidikan offline.
- Inisiatif seperti **"Internet OFFLINE"**, yang dikembangkan dari semangat ini, kini digunakan di ratusan sekolah 3T (tertinggal, terdepan, terluar), menyediakan akses pembelajaran digital tanpa koneksi internet.

Penghargaan Tertinggi: John Postel Service Award 2020

Puncak pengakuan dunia atas kontribusi ini adalah ketika **Onno W. Purbo dianugerahi John Postel Service Award oleh Internet Society (ISOC) pada tahun 2020**. Penghargaan ini merupakan **penghargaan tertinggi di dunia internet**, yang diberikan kepada individu yang berjasa besar dalam mengembangkan internet secara inklusif dan berkelanjutan. Onno menjadi satu-satunya orang Indonesia dan satu dari segelintir di Asia yang pernah menerima penghargaan ini.

Kesimpulan: Teknologi Murah, Dampak Global

Kisah teknologi internet murah Indonesia bukan hanya soal alat, tapi **gerakan sosial**—tentang **memberdayakan rakyat dengan ilmu pengetahuan**, **menghubungkan yang tak terhubung**, dan **menjadi inspirasi global dari pinggiran dunia**. Ini adalah bukti bahwa inovasi sejati datang bukan dari anggaran besar, melainkan dari **niat besar untuk berbagi dan membebaskan ilmu**.

Strategi

Tahapan Strategi	Jumlah Aktivitas (Target)	Ekspektasi Dampak
1. Penguatan Platform Pembelajaran Terbuka (opencourse.itts.ac.id dan lms.onnocenter.or.id)	• Tambah 300+ kursus baru hingga 2026 • Cakupan peserta 100.000 pengguna aktif • 50+ universitas terintegrasi untuk kredit akademik	• Akses pendidikan berkualitas untuk masyarakat 3T • Kenaikan literasi digital nasional sebesar 25% • Meningkatkan adopsi teknologi open-source
2. Pemanfaatan Jaringan Internasional untuk Kolaborasi R&D (melalui IDRC, ISIF Asia, Internet Society, APNIC, dsb.)	• Kolaborasi riset dengan 10+ mitra global tiap tahun • Partisipasi aktif dalam 5+ forum internasional tahunan Hibah dan pendanaan internasional senilai USD 250.000+	• Inovasi lokal diakui global • Transfer teknologi dan ilmu pengetahuan • Peningkatan reputasi lembaga riset nasional
3. Diseminasi Pengetahuan Terbuka di Media Sosial & YouTube (YouTube OnnoCenter, Twitter/X, TikTok, dsb.)	• Produksi 500 video edukasi baru • Target 200.000 subscriber YouTube • Engagement 10.000 interaksi/bulan di sosial media	• Pemerataan literasi teknologi dan STEM • Peningkatan ketertarikan pelajar terhadap R&D • Penguatan brand Indonesia sebagai negara inovatif

Kesimpulan Strategis

Strategi ini bertumpu pada **tiga poros utama**: platform pendidikan terbuka, kolaborasi internasional, dan diseminasi publik. Bila dijalankan serentak, diharapkan mampu:

- Meningkatkan **kompetensi SDM digital Indonesia** secara merata.
- Mengurangi kesenjangan akses ilmu pengetahuan di wilayah 3T.
- Menjadikan Indonesia sebagai **referensi global untuk distribusi pengetahuan terbuka**.

BAB: Roadmap Kedaulatan Teknologi Nasional

Dalam era persaingan teknologi global yang semakin intensif, **Indonesia membutuhkan Roadmap Kedaulatan Teknologi Nasional** yang tidak hanya reaktif terhadap perkembangan luar, tetapi juga proaktif dalam membangun fondasi inovasi dari dalam negeri. Data dari World Intellectual Property Organization (WIPO) menunjukkan bahwa Indonesia berada di peringkat ke-87 dalam Indeks Inovasi Global 2023—jauh di bawah negara tetangga seperti Malaysia (ke-36) dan Vietnam (ke-46)—menggambarkan urgensi pembangunan ekosistem inovasi nasional yang berkelanjutan dan berdaulat.



Pelajaran utama dari sejarah pengembangan teknologi akar rumput di Indonesia, seperti RT/RW-net dan wajanbolic, menunjukkan bahwa **inovasi justru tumbuh subur di tengah keterbatasan**, saat kebutuhan rakyat tidak terpenuhi oleh solusi komersial mahal. Dari sinilah muncul pendekatan teknologi murah dan terbuka yang menjadi alternatif relevan, khususnya di daerah 3T (tertinggal, terdepan, terluar). Gerakan ini membuktikan bahwa **ekosistem berbagi pengetahuan**, seperti melalui platform open-source dan e-learning gratis, dapat mempercepat adopsi teknologi ke lapisan masyarakat terbawah tanpa bergantung pada infrastruktur mahal atau lisensi tertutup.

Lebih dari itu, **kolaborasi lintas sektor—antara akademisi, komunitas, pemerintah, dan industri—adalah kunci keberhasilan**. Dukungan lembaga internasional seperti IDRC (melalui Onno W. Purbo) dan ISIF Asia (melalui proyek ITTS dan Diskominfo Tangsel) memperlihatkan bahwa ketika visi kedaulatan teknologi lokal dikaitkan dengan jejaring global, maka transformasi digital dapat berlangsung secara inklusif dan berkelanjutan. Maka dari itu, roadmap kedaulatan teknologi nasional harus dibangun bukan hanya dari sisi regulasi dan investasi, tetapi dari **penguatan ekosistem inovasi berbasis rakyat, berbagi pengetahuan, dan kolaborasi lintas batas**.

Blueprint R&D Mandiri

Dalam menghadapi tantangan globalisasi teknologi dan ketergantungan pada solusi luar negeri, **Blueprint R&D Mandiri** menjadi krusial sebagai kerangka strategis untuk membangun **kedaulatan teknologi nasional**. Blueprint ini tidak hanya berfokus pada penciptaan teknologi, tetapi juga pada penciptaan **ekosistem inovasi lokal** yang berbasis kebutuhan rakyat, didorong oleh pengetahuan terbuka, dan diperkuat oleh kolaborasi lintas sektor.

Tahapan Strategis Blueprint R&D Mandiri

1. Jangka Pendek: Perluasan Akses Teknologi Rakyat

> Prioritas utama adalah memperluas akses digital bagi masyarakat melalui teknologi murah dan terbuka seperti **RT/RW-net**, **VoIP berbasis open source**, dan **Internet OFFLINE** berbasis server lokal. Teknologi ini terbukti efektif menjangkau wilayah 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar) dengan biaya rendah dan fleksibilitas tinggi. Inisiatif ini bukan hanya soal konektivitas, tapi juga tentang **memberdayakan masyarakat sebagai pengguna aktif dan produsen teknologi**.

2. Jangka Menengah: Penguatan SDM Melalui Pendidikan Terbuka & Riset AI Lokal

> Setelah infrastruktur rakyat tersedia, fokus bergeser pada **penguatan kapasitas SDM** melalui **platform pendidikan terbuka** seperti *opencourse.itts.ac.id* dan *lms.onnocenter.or.id*. Pelatihan ini harus diperluas ke pelajar, guru, ASN, dan teknisi di daerah. Di saat bersamaan, **riset AI lokal** perlu didorong agar Indonesia tidak hanya menjadi konsumen teknologi GPT atau LLM global, tapi mampu mengembangkan model yang sesuai konteks bahasa dan budaya Indonesia. Institusi seperti ITTS dan universitas negeri di daerah harus menjadi motor utama.

3. Jangka Panjang: Kedaulatan Digital Melalui Teknologi & Regulasi Lokal

> Pada tahap ini, hasil inovasi lokal harus diperkuat dengan regulasi pro-rakyat. Indonesia membutuhkan **kerangka hukum dan kebijakan spektrum frekuensi, open hardware, serta keamanan data** yang mendukung pengembangan sistem teknologi lokal. Kedaulatan digital tidak bisa dicapai hanya lewat teknologi—regulasi, tata kelola, dan distribusi sumber daya harus dikuasai. Strategi ini membuka jalan menuju **ekonomi digital mandiri**, dengan keberpihakan pada inovator lokal.

Rekomendasi Strategi untuk Pemangku Kepentingan

Pemerintah:

- **Reformasi regulasi spektrum & infrastruktur**, seperti membebaskan frekuensi tertentu (2.4 GHz, 5.8 GHz) untuk pengembangan komunitas.
- Menyediakan **dana hibah riset terbuka** untuk AI lokal, sistem Internet rakyat, dan pendidikan digital berbasis komunitas.
- Mendorong **penggunaan teknologi lokal di proyek pemerintah** (e.g., server lokal untuk sekolah-sekolah).

Akademisi:

- Mendirikan **Pusat Unggulan Teknologi (Center of Excellence)** di kampus daerah, atau bentuk virtual berbasis platform online seperti *opencourse.itts.ac.id*.
- Menjadikan proyek berbasis komunitas sebagai bagian dari riset terapan dan tugas akhir mahasiswa.
- Mendorong publikasi, lisensi terbuka, dan paten berbasis solusi rakyat.

Komunitas:

- Membangun **sinergi antara komunitas lokal, diaspora, dan sektor swasta**, termasuk transfer teknologi dari profesional Indonesia di luar negeri.
- Menjadi ujung tombak implementasi teknologi melalui pelatihan berbasis kebutuhan lokal.
- Berperan sebagai penghubung antara pengguna akhir dan pembuat kebijakan melalui advokasi digital.

Peneguhan Visi: Menuju Kedaulatan Digital Indonesia

Di tengah arus globalisasi teknologi yang begitu cepat dan dominasi platform asing dalam sistem digital nasional, visi menuju **Kedaulatan Digital Indonesia** bukanlah sekadar aspirasi teknokratis—tetapi panggilan ideologis untuk menempatkan *rakyat* sebagai subjek utama dalam arsitektur digital bangsa. Blueprint yang disusun bukan hanya berisi langkah-langkah teknis, melainkan **peta keberpihakan**: keberpihakan terhadap akses terbuka, kemandirian infrastruktur, dan keadilan pengetahuan.



Dalam konteks ini, **visi Onno W. Purbo** memberikan arah yang tajam: *"Indonesia harus maju dengan kekuatan otak, bukan otot"*. Ungkapan ini bukan slogan, tapi pengingat bahwa transformasi digital sejati tidak bergantung pada besarnya anggaran atau lisensi dari luar, melainkan pada kemampuan intelektual rakyat Indonesia untuk menciptakan, memodifikasi, dan mendistribusikan teknologi sesuai dengan kebutuhan lokal. Inilah esensi dari *teknologi untuk rakyat, oleh rakyat, dan demi rakyat*.

Lebih dari itu, kedaulatan teknologi adalah soal **akses, kontrol, dan keadilan digital**. Siapa yang mengendalikan data? Siapa yang menetapkan standar? Dan siapa yang memiliki kesempatan setara untuk membangun masa depan digitalnya sendiri? Jika rakyat hanya dijadikan konsumen teknologi—terbatas pada klik dan langganan—maka tidak ada kedaulatan. Tapi jika rakyat menjadi pengelola, inovator, dan pemilik infrastruktur digital, barulah kita berbicara tentang keadilan teknologi yang sejati.

Indonesia telah membuktikan bahwa **inovasi terbaik sering lahir dari keterbatasan**: dari wajanbolic hingga RT/RW-net, dari server lokal di desa hingga platform open-source pendidikan. Inilah bukti bahwa keterbatasan bukan hambatan, tapi katalis perubahan. Blueprint menuju kedaulatan digital harus dibaca dalam kerangka ini—sebagai gerakan kolektif, bukan proyek elit. Sebagai proses pemberdayaan, bukan sekadar proyek pengadaan. Sebagai keberanian berpihak, bukan netralitas yang pasif.

Dengan pondasi ini, kedaulatan digital Indonesia bukan lagi utopia. Ia adalah **visi strategis yang bisa dicapai**, asal dibangun dengan akal sehat, keberanian berbagi, dan komitmen membebaskan pengetahuan.

BAB: Kemungkinan Pengembangan Teknologi Pertahanan Cyber Indonesia

Teknologi Pertahanan Siber: Potensi dan Tantangan

Teknologi Cyber Defence Existing

Indonesia tengah menghadapi eskalasi ancaman siber yang serius. Data SAFEnet 2024 mencatat munculnya **411.000 malware baru setiap hari**, serta insiden besar seperti **serangan ransomware LockBit 3.0** yang melumpuhkan **Pusat Data Nasional (PDN)** dan lebih dari **200 layanan publik**. Dalam konteks ini, pertahanan digital Indonesia masih bergantung pada tiga komponen utama: **Firewall**, **Intrusion Detection and Prevention System (IDS/IPS)**, dan **Cyber Threat Intelligence (CTI)**. Dari ketiganya, **CTI menempati posisi paling strategis**, karena bersifat proaktif dalam mengantisipasi ancaman, bukan sekadar merespons. CTI memungkinkan analisis terhadap taktik dan teknik serangan (TTP), serta memperkuat sistem keamanan lain seperti firewall dan IDS melalui data seperti **Indicators of Compromise (IOC)**. Meski demikian, pemanfaatan CTI di Indonesia masih minim karena keterbatasan SDM, anggaran, serta lemahnya budaya kolaborasi lintas sektor.



Firewall masih menjadi lapisan pertahanan dasar untuk menyaring akses tidak sah dan menjaga kepatuhan terhadap standar keamanan seperti ISO/IEC 27001. Namun, efektivitasnya menurun saat menghadapi ancaman kompleks seperti **zero-day** dan **Advanced Persistent Threats (APT)**. Sementara itu, IDS/IPS berfungsi mendeteksi dan menghentikan anomali jaringan secara real-time, seperti SQL injection dan malware. Sayangnya, sistem ini kerap menghasilkan **false positive** tinggi dan membutuhkan sumber daya besar—tantangan nyata bagi banyak institusi kecil di Indonesia. Laporan Kominfo 2024 bahkan menyebut hanya **20% institusi strategis yang memiliki SOC aktif**, dan **80% solusi keamanan masih berasal dari vendor asing**, menunjukkan rendahnya kemandirian nasional dalam sistem pertahanan siber.

Untuk memperkuat ketahanan digital jangka panjang, **pengembangan CTI nasional harus menjadi prioritas utama**. Ini mencakup pembangunan platform CTI lokal, integrasi dengan

SOC di sektor-sektor vital, serta pelatihan intensif analis siber. **Integrasi AI dan machine learning dalam IDS/IPS generasi baru juga perlu dipercepat**, untuk mendeteksi pola serangan canggih dan meminimalkan respon yang keliru. Selain itu, pengembangan firewall nasional berbasis **open-source**—bebas dari risiko backdoor vendor asing—perlu segera diinkubasi. Startup keamanan dalam negeri seperti **XecureIT, Intek, dan Cyber Army Indonesia** harus diberdayakan untuk mengisi kesenjangan teknologi dan memperkuat ekosistem digital lokal.

Tanpa transformasi ini, Indonesia akan terus berada dalam posisi defensif dan rentan terhadap serangan strategis berdampak luas. Oleh karena itu, penguatan CTI, modernisasi IDS/IPS, serta produksi firewall nasional bukan hanya solusi teknis, tetapi **kewajiban strategis untuk melindungi kedaulatan digital dan keamanan nasional** di tengah era transformasi digital yang tidak bisa ditunda.

Potensi Pengembangan Teknologi Berbasis AI dan Machine Learning

Ancaman siber di Indonesia terus meningkat secara masif, dengan **411.000 malware baru per hari** (SAFEnet, 2024) dan serangan ransomware besar seperti **insiden LockBit 3.0 terhadap Pusat Data Nasional (PDN)** yang menyoroti betapa rentannya infrastruktur digital nasional. Dalam menghadapi situasi ini, teknologi pertahanan siber berbasis **Artificial Intelligence (AI)** dan **Machine Learning (ML)** menjadi sangat krusial, terutama untuk membangun **Cyber Threat Intelligence (CTI)** yang adaptif dan cerdas. CTI berbasis AI dinilai sebagai **komponen paling strategis** karena kemampuannya dalam **mengantisipasi serangan secara proaktif**, bukan hanya merespons. Teknologi ini dapat menganalisis data besar dari dark web, log jaringan, dan lalu lintas real-time untuk mengidentifikasi pola-pola serangan canggih seperti **zero-day attacks** dan **Advanced Persistent Threats (APT)**—dengan akurasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan sistem konvensional.



Di tengah keterbatasan seperti kekurangan **80% tenaga ahli siber nasional** (BSSN, 2024) dan dominasi penggunaan perangkat lunak impor (sekitar **80% solusi keamanan masih berasal dari luar negeri**), Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan CTI secara mandiri dengan memanfaatkan platform open-source seperti **MISP** dan kerangka kerja ML seperti **TensorFlow** dan **PyTorch**. Selain CTI, pengembangan **AI-powered IDS/IPS** juga penting untuk mendeteksi anomali yang tidak terdeteksi signature biasa, sekaligus **mengurangi false positive**

yang kerap membebani analis keamanan. Kombinasi ini dapat diperkuat dengan **SOC berbasis AI** yang mampu mengelola ribuan notifikasi per hari dan mengutamakan prioritas ancaman secara otomatis.

Inisiatif seperti pelatihan SDM dan riset terapan oleh kampus seperti **UI, ITB, dan ITTS**, serta kolaborasi dengan **ID-SIRTII** sangat penting untuk membangun ekosistem pertahanan siber nasional yang kuat. Indonesia juga perlu menciptakan **sandbox nasional** untuk pelatihan model AI keamanan, menyediakan **dataset lokal anonim**, dan mendorong inkubasi startup siber dalam negeri seperti **XecureIT dan Intek Indonesia**. Dengan penguatan regulasi dan pendanaan—yang saat ini masih terbatas pada **Rp 1,2 triliun per tahun**—pengembangan CTI berbasis AI/ML dapat menjadi **fondasi utama kedaulatan digital Indonesia**. Teknologi ini tidak hanya melindungi data dan layanan publik, tetapi juga menentukan posisi strategis Indonesia di tengah lanskap geopolitik siber yang semakin kompetitif.

Tantangan Teknis: Infrastruktur, Interoperabilitas, dan Skalabilitas

Pengembangan **teknologi pertahanan siber secara mandiri di Indonesia** saat ini menghadapi tantangan teknis yang kompleks, terutama dalam aspek **infrastruktur, interoperabilitas, dan skalabilitas**. Hal ini terjadi di tengah lonjakan ancaman digital, seperti yang dilaporkan SAFEnet pada 2024, dengan **411.000 malware baru terdeteksi setiap hari**, serta insiden serius seperti serangan ransomware yang menargetkan **Pusat Data Nasional (PDN)**. Dari ketiga tantangan tersebut, **interoperabilitas menjadi aspek paling krusial**, karena keberhasilan sistem pertahanan sangat bergantung pada kemampuan untuk berbagi informasi ancaman secara real-time dan terintegrasi melalui mekanisme seperti **Cyber Threat Intelligence (CTI)**.



Sayangnya, interoperabilitas masih terhambat akibat tidak adanya standar data dan protokol yang seragam di antara sistem seperti firewall, IDS/IPS, dan SIEM. Ketidaksesuaian ini memperlambat kolaborasi antarinstansi, termasuk dengan **ID-SIRTII** yang berperan sebagai koordinator utama keamanan siber nasional. Tanpa standar yang terintegrasi, sistem-sistem ini tidak bisa mengkonsolidasikan data ancaman secara efisien. Oleh karena itu, sangat penting bagi Indonesia untuk mengembangkan **platform CTI berbasis open-source**, yang mengikuti standar global seperti **STIX/TAXII**, namun disesuaikan untuk konteks lokal, seperti mendeteksi **malware berbahasa Indonesia**.

Selain interoperabilitas, tantangan besar lainnya adalah keterbatasan **infrastruktur**, terutama karena **60% organisasi di Indonesia masih menggunakan perangkat keras**

yang sudah usang (BSSN 2024). Perangkat ini tidak mendukung integrasi teknologi terbaru berbasis AI/ML, yang sangat dibutuhkan untuk analisis ancaman siber tingkat lanjut. Keterbatasan ini menghambat pengembangan CTI yang cerdas dan adaptif, serta menyulitkan pelaksanaan sistem pertahanan siber berbasis otomasi.

Sementara itu, **skalabilitas** dianggap relatif kurang kritis karena dapat diatasi melalui teknologi cloud. Namun, penggunaan cloud sendiri masih terganjal oleh biaya tinggi dan kekhawatiran terhadap **privasi dan kedaulatan data**. Untuk mengatasinya, Indonesia dapat mulai mengembangkan **pusat data modular** dan solusi hemat biaya seperti **firewall lokal atau IDS ringan berbasis Raspberry Pi**, yang dapat diterapkan di berbagai skala, mulai dari desa digital hingga lembaga pemerintahan pusat.

Potensi pengembangan teknologi ini sangat mungkin dilakukan secara mandiri, dengan melibatkan **talenta dari kampus-kampus seperti ITB, UI, ITTS, dan Binus**, yang bisa mendorong inovasi CTI nasional. Tantangan utama masih terletak pada **ketergantungan tinggi terhadap vendor asing**, serta defisit besar dalam tenaga ahli, di mana **Indonesia kekurangan hingga 80% SDM siber** (BSSN 2024).

Agar mampu mandiri, dibutuhkan **regulasi yang mendukung kedaulatan digital** dan pendekatan kolaboratif melalui institusi seperti **ID-SIRTII**. Jika platform **CTI interoperable dapat dikembangkan secara lokal**, maka Indonesia akan lebih siap menghadapi serangan digital yang semakin canggih. Upaya ini dapat menjadi landasan kuat dalam membangun **ketahanan siber nasional**, sekaligus memperkuat posisi Indonesia di era persaingan digital global yang kian dinamis.

Studi Kasus: Kebocoran Data dan Serangan Ransomware di Indonesia



Serangkaian serangan siber berskala besar yang melanda Indonesia dalam beberapa tahun terakhir memperlihatkan secara gamblang lemahnya sistem keamanan digital nasional. Salah satu contoh paling mencolok adalah **serangan ransomware Brain Cipher (varian LockBit 3.0)** terhadap **Pusat Data Nasional Sementara (PDNS)** pada Juni 2024, yang melumpuhkan layanan dari **282 instansi pemerintah**, termasuk layanan vital seperti imigrasi dan pendidikan. Data mahasiswa dari program Kartu Indonesia Pintar (KIP) sebanyak **853.393 entri dilaporkan hilang**, dan pelaku minta tebusan sebesar **US$8 juta (sekitar Rp131 miliar)**. Sebelumnya, pada Mei 2023, sektor perbankan juga terdampak melalui serangan terhadap **Bank Syariah Indonesia (BSI)**, yang menyebabkan **gangguan layanan ATM dan mobile banking selama lima hari** dan dugaan kebocoran **1,5 terabyte data nasabah**, termasuk nomor rekening dan saldo pribadi.

Selain dua insiden besar tersebut, terjadi pula **kebocoran data masif dari instansi pemerintah lain**, seperti **337 juta data Dukcapil (2023)**, **105 juta data pemilih KPU (2022)**, dan **4,7 juta data ASN (2024)**. Umumnya, penyebabnya berasal dari kelemahan dasar seperti konfigurasi server yang salah, ketiadaan backup, dan kurangnya sistem keamanan berlapis. Kondisi ini diperburuk oleh **ketergantungan tinggi terhadap perangkat keamanan dari luar negeri**, yang belum tentu mampu beradaptasi dengan pola ancaman lokal dan bahkan memiliki potensi backdoor yang tak terdeteksi.

Situasi ini menegaskan **pentingnya kemampuan Indonesia untuk mengembangkan alat pertahanan siber sendiri**. Indonesia tidak bisa selamanya bergantung pada teknologi impor yang mahal dan tidak selalu relevan secara lokal. **Cyber Threat Intelligence (CTI) berbasis AI/ML** menjadi komponen paling strategis karena memungkinkan pendeteksian dan analisis ancaman secara proaktif—termasuk terhadap serangan yang tidak dikenal sebelumnya seperti **zero-day dan ransomware baru**. Platform seperti **MISP (Malware Information Sharing Platform)** dapat dikembangkan dan disesuaikan oleh talenta dari kampus dalam negeri seperti **UI, ITB, ITTS, dan BINUS**.

Meski begitu, upaya ini menghadapi tantangan besar. **Indonesia kekurangan sekitar 80% tenaga ahli siber** yang dibutuhkan secara nasional (BSSN, 2024), dan **anggaran keamanan siber BSSN tahun 2023 hanya sekitar Rp624 miliar**, sangat jauh jika dibandingkan dengan negara maju seperti Amerika Serikat yang mengalokasikan hingga **US$10,9 miliar**. Selain itu, dugaan korupsi dalam pengadaan sistem PDNS turut memperlemah kesiapan infrastruktur teknis.

Oleh karena itu, strategi pertahanan digital harus diarahkan pada **pembangunan teknologi buatan sendiri**, mulai dari firewall lokal, sistem deteksi intrusi berbasis AI, hingga platform CTI yang dapat dioperasikan tanpa lisensi vendor asing. **Regulasi seperti UU Keamanan Siber**, penguatan **kolaborasi antar instansi melalui ID-SIRTII**, dan **investasi dalam pelatihan SDM lokal** adalah prasyarat agar Indonesia tidak hanya bisa bertahan, tapi juga unggul dalam menghadapi ancaman siber yang semakin kompleks. Kemampuan membangun sendiri alat pertahanan bukan sekadar solusi teknis, tetapi menjadi fondasi utama **kedaulatan digital Indonesia**.

Penguatan Sumber Daya Manusia (SDM) Keamanan Siber

Kesenjangan SDM Keamanan Siber

Laporan Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) menunjukkan bahwa sekitar **70% organisasi di Indonesia mengalami kekurangan staf keamanan siber** yang mampu menangani ancaman siber secara efektif. Kekurangan ini berdampak serius pada kemampuan organisasi untuk mendeteksi dan memitigasi serangan siber, seperti ransomware dan kebocoran data. Data BSSN mencatat bahwa pada 2023, Indonesia mengalami **403,99 juta anomali lalu lintas siber**, dengan Generic Trojan RAT dan ransomware sebagai ancaman dominan. **Kesenjangan SDM** ini memperburuk kerentanan digital nasional, terutama karena kurangnya tenaga ahli yang mampu melakukan analisis forensik atau respons insiden secara cepat.

Penyebab utama kesenjangan SDM keamanan siber di Indonesia adalah terbatasnya program pendidikan formal yang berfokus pada bidang ini. **Politeknik Siber dan Sandi Negara (PoltekSSN)** hanya menghasilkan sekitar **100 lulusan per tahun**, jauh dari kebutuhan nasional yang diperkirakan mencapai **8.000 profesional keamanan siber** berkualifikasi tinggi. Selain itu, minimnya pelatihan dan sertifikasi yang terjangkau bagi tenaga kerja yang sudah ada semakin memperparah masalah. **National Cyber Security Index (NCSI) 2023** menempatkan Indonesia di **peringkat 49 dari 176 negara** dengan skor 63,64, menunjukkan bahwa kapasitas SDM keamanan siber Indonesia masih tertinggal dibandingkan negara-negara seperti Singapura atau Malaysia. Kurangnya minat mahasiswa terhadap jurusan keamanan siber juga menjadi masalah, sebagian karena rendahnya insentif finansial. Menurut Setiadi Yazid dari Universitas Indonesia, gaji ahli keamanan siber sering kali **tidak kompetitif** dibandingkan profesi lain, membuat banyak talenta muda beralih ke bidang lain. Survei Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) 2023 juga mengungkapkan bahwa **74,59% masyarakat Indonesia tidak menyadari ancaman siber**, menunjukkan kurangnya edukasi dasar keamanan siber di tingkat masyarakat.

Program Pelatihan dan Pendidikan Formal



Pendidikan formal dalam bidang keamanan siber di Indonesia mulai menunjukkan perkembangan, meskipun cakupannya masih sangat terbatas. Hingga tahun 2025, tercatat hanya sekitar **10 perguruan tinggi** yang menawarkan program studi terkait, seperti keamanan siber atau rekayasa keamanan siber. Beberapa di antaranya adalah **Universitas Bina Nusantara (Binus), Universitas Tanjungpura**, dan **Politeknik Negeri Cilacap**. Kurikulum dalam program-program tersebut mencakup mata kuliah seperti **Cyber Forensic, Network Programming, Cryptography**, dan **Ethical Hacking**, yang ditujukan untuk membekali mahasiswa dengan **keterampilan teknis serta kemampuan berpikir kritis**. Namun demikian, kurikulum yang ada seringkali **belum sepenuhnya diselaraskan dengan kebutuhan industri**, khususnya dalam merespons ancaman-ancaman siber yang memanfaatkan teknologi terbaru seperti **Artificial Intelligence (AI)** dan **Internet of Things (IoT)**. Tantangan lainnya adalah **akses pendidikan yang masih terpusat di kota-kota besar**, sehingga daerah **3T (terdepan, terluar, tertinggal)** masih mengalami keterbatasan peluang untuk mengakses pendidikan ini. Survei **APJII 2024** mencatat bahwa hanya **25% tenaga kerja di sektor**

teknologi di wilayah 3T yang pernah mengikuti pelatihan dasar keamanan siber—mencerminkan kesenjangan regional yang cukup serius.

Sebagai bagian dari upaya menjembatani kesenjangan tersebut, **BSSN** telah meluncurkan sejumlah program pelatihan dan pendidikan formal. Salah satu program andalannya adalah **Cyber Threat Intelligence Program (CTIP)**, yang dirancang untuk memperkuat kemampuan analisis dan penanganan insiden siber. Program ini dikembangkan melalui kerja sama dengan sektor swasta dan institusi pendidikan, serta menekankan penyediaan pelatihan yang **terkini dan relevan dengan dinamika ancaman**. Selain itu, **Politeknik Siber dan Sandi Negara (Poltek SSN)** turut berperan penting dengan menghadirkan **program studi Rekayasa Keamanan Siber**, yang bertujuan mencetak lulusan dengan kompetensi tinggi di bidang tersebut. Program ini memadukan teori dan praktik, serta fokus pada **pengembangan kemampuan teknis dan analitis** yang krusial dalam menghadapi berbagai bentuk serangan siber yang kompleks. Referensi: https://poltekssn.ac.id/category/keamanan-siber/

Selain jalur formal, terdapat pula pelatihan nonformal dari berbagai lembaga seperti **Cyber Academy Indonesia, ID-Networkers**, dan **Xapiens Teknologi Indonesia**. Mereka menyediakan pelatihan daring maupun luring yang mencakup materi seperti **penetration testing, digital forensics**, serta sertifikasi internasional seperti **Certified Ethical Hacker (CEH)** dan **Certified Network Defender (CND)**. Sayangnya, **biaya pelatihan yang relatif tinggi**—yang bisa mencapai jutaan rupiah—serta **persyaratan teknis** seperti kepemilikan laptop dengan RAM minimal 8 GB, menjadi hambatan bagi peserta dari kalangan ekonomi menengah ke bawah. Di sisi lain, program pemerintah seperti **Cyber Security for Government** dari **BPPTIK Kominfo** menyasar pegawai instansi publik, namun belum banyak menjangkau sektor swasta atau masyarakat luas. Sementara itu, program **"Born to Control"** yang diluncurkan **Kominfo pada 2017** bekerja sama dengan **Xynexis International** dan **APTIKOM**, sempat menjanjikan pengembangan talenta muda di bidang keamanan siber. Akan tetapi, tidak tersedianya data terbaru terkait kelanjutan program ini menimbulkan keraguan terhadap **efektivitas jangka panjangnya**.

Dari sisi anggaran, menurut laporan **BSSN tahun 2024**, alokasi dana keamanan siber Indonesia hanya mencapai **0,1% dari anggaran negara**. Angka ini terpaut jauh dari negara-negara seperti **Singapura**, yang telah mengalokasikan hingga **1% dari Produk Domestik Bruto (PDB)** untuk bidang yang sama. Kurangnya **insentif ekonomi** juga menjadi salah satu penyebab rendahnya minat terhadap profesi ini. Seperti dijelaskan oleh **Setiadi Yazid dari Universitas Indonesia**, gaji rata-rata seorang **analis keamanan siber di Indonesia** berkisar **Rp 15–25 juta per bulan**, yang dinilai masih kalah menarik dibandingkan profesi lain seperti **software developer**.

Berikut adalah **summary:**

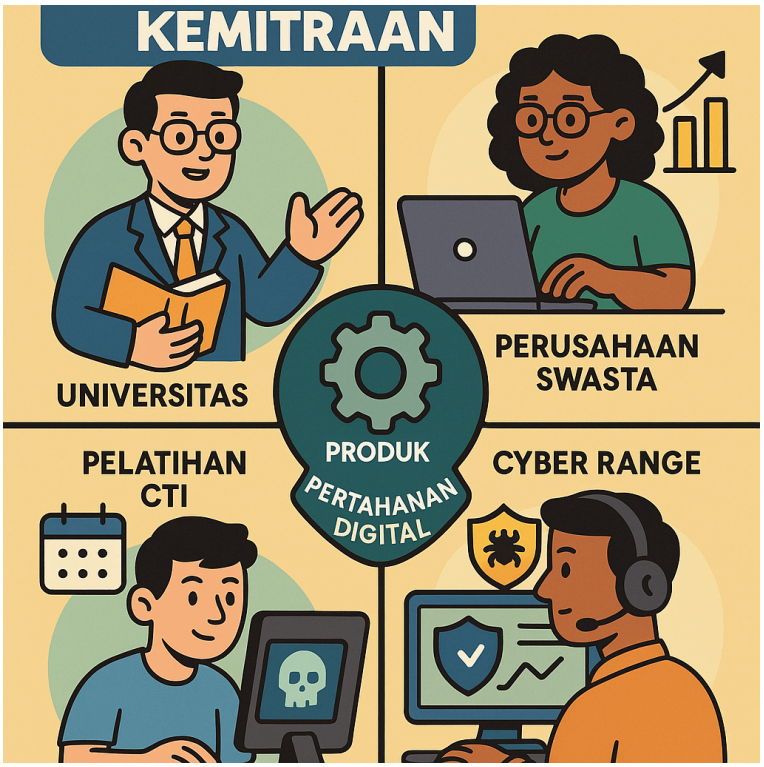
Aspek	Rincian
Jumlah Universitas (2025)	Sekitar 10 universitas menawarkan jurusan keamanan siber, termasuk Binus, Universitas Tanjungpura, Politeknik Negeri Cilacap.
Isi Kurikulum	Cyber Forensic, Network Programming, Cryptography, Ethical Hacking – namun sering tidak selaras dengan kebutuhan industri (AI, IoT).
Ketimpangan Akses	Akses terkonsentrasi di kota besar, wilayah 3T minim peluang. Hanya 25% tenaga kerja teknologi 3T memiliki pelatihan dasar keamanan siber (APJII 2024).
Inisiatif Pemerintah (Formal)	CTIP oleh BSSN dan Program Studi Rekayasa Keamanan Siber di Poltek SSN. Fokus pada kombinasi teori-praktik dan pelatihan analitis.
Pelatihan Nonformal	Diselenggarakan oleh Cyber Academy, ID-Networkers, Xapiens. Sertifikasi CEH, CND. Biaya dan syarat teknis masih menjadi hambatan.
Program Pemerintah Lain	Cyber Security for Government (BPPTIK Kominfo), Born to Control (2017) – menjanjikan, namun tidak ada data keberlanjutan.
Anggaran Keamanan Siber (2024)	0,1% dari anggaran negara (vs. 1% PDB di Singapura) – dinilai sangat rendah.
Gaji dan Insentif	Gaji analis siber Rp 15–25 juta/bulan, tidak kompetitif dibanding pengembang perangkat lunak.

Kolaborasi Universitas dan Sektor Swasta untuk Pengembangan Keterampilan

Di tengah meningkatnya intensitas serangan siber—termasuk **411.000 malware baru per hari** pada 2024 (SAFEnet) dan insiden ransomware terhadap **Pusat Data Nasional (PDN)**—Indonesia menghadapi tantangan serius dalam pengembangan teknologi pertahanan siber mandiri, terutama karena **kekurangan 80% tenaga ahli siber nasional** (BSSN, 2024). Dalam konteks ini, **kemitraan strategis antara universitas, sektor swasta, dan pemerintah** menjadi langkah paling realistis dan vital untuk menjawab tantangan tersebut, khususnya dalam membangun kemampuan lokal di bidang **Cyber Threat Intelligence (CTI)** berbasis **AI/ML**.

Kemitraan dapat dimulai dengan **kurikulum bersama dan program pelatihan praktis** yang dirancang oleh universitas seperti **UI, ITB, ITTS, Telkom University, BINUS**, serta institusi pendidikan lainnya. Universitas tersebut dapat memfokuskan penelitian pada pengembangan CTI open-source seperti **MISP**, yang dikustomisasi untuk mendeteksi

ancaman lokal seperti phising atau malware dalam konteks bahasa Indonesia. Perusahaan seperti **XecureIT, Cyber Army Indonesia**, dan **Nodeflux** dapat menyuplai data ancaman nyata dan menjadi mitra industri dalam pelatihan langsung, magang teknis, serta supervisi proyek-proyek riset terapan.



Kolaborasi ini dapat diperluas dengan pembangunan fasilitas bersama seperti **Cyber Range**, yaitu ruang simulasi serangan siber yang memungkinkan mahasiswa, ASN, dan profesional TI untuk mengasah kemampuan deteksi dan mitigasi ancaman secara real-time. Pemerintah, melalui **ID-SIRTII dan BSSN**, bisa bertindak sebagai fasilitator dengan menyediakan data anonim, akses ke infrastruktur dasar, dan **insentif fiskal** bagi swasta yang berpartisipasi aktif dalam program pengembangan SDM.

Beberapa contoh keberhasilan telah terlihat, seperti **kerjasama ITB dengan sektor swasta yang menghasilkan 200 lulusan siber terlatih** pada 2024, serta **pelatihan 500 personel TNI AU** oleh **BSSN dan Huawei** untuk memperkuat kapasitas keamanan digital nasional. Namun, saat ini **hanya sekitar 30% universitas yang memiliki kurikulum keamanan siber yang relevan** (Kemendikbud, 2024), dan minat industri untuk investasi jangka panjang masih terbatas.

Untuk mengatasi hambatan tersebut, pendekatan kolaboratif perlu diformalisasi dalam skema nasional, misalnya melalui **regulasi yang mendorong R&D lintas sektor**, insentif pajak, dan pengembangan sandbox untuk uji coba teknologi lokal. Hasil dari kemitraan ini tidak hanya diharapkan menghasilkan **tenaga kerja siber yang tangguh**, tetapi juga **produk pertahanan digital buatan Indonesia** seperti sistem CTI interoperable, panel monitoring ancaman, dan repository IOC yang bisa digunakan langsung oleh instansi negara.

Dengan menjadikan **pelatihan CTI berbasis AI/ML sebagai prioritas nasional**, dan memperluas jejaring kolaborasi antara perguruan tinggi dan industri, Indonesia memiliki peluang besar untuk memperkuat **kedaulatan digital** dan menciptakan ekosistem **pertahanan siber yang mandiri, adaptif, dan berkelanjutan** di tengah ancaman global yang semakin kompleks.

Berikut adalah **summary:**

Aspek	Ringkasan Informasi
Ancaman Siber	411.000 malware baru/hari (2024, SAFEnet); insiden ransomware PDN.
Tantangan Utama	Kekurangan 80% tenaga ahli siber nasional (BSSN, 2024).
Solusi Strategis	Kemitraan universitas–pemerintah–industri untuk membangun pertahanan siber mandiri.
Fokus Teknologi	Pengembangan Cyber Threat Intelligence (CTI) berbasis AI/ML.
Peran Universitas	Membuat kurikulum bersama, pelatihan praktis, dan riset CTI open-source (misal: MISP lokal).
Universitas Terlibat	UI, ITB, ITTS, Telkom University, BINUS dll.
Peran Industri	XecureIT, Cyber Army Indonesia, Nodeflux: suplai data, magang, supervisi riset.
Fasilitas Pendukung	Cyber Range untuk simulasi dan latihan deteksi/mitigasi ancaman siber.
Peran Pemerintah	ID-SIRTII, BSSN: fasilitasi infrastruktur, data anonim, insentif fiskal.
Kondisi Terkini	Hanya 30% universitas punya kurikulum siber relevan; investasi industri masih rendah.
Rekomendasi Kebijakan	Regulasi kolaboratif, insentif R&D, sandbox teknologi lokal.
Target Jangka Panjang	Tenaga ahli siber tangguh dan produk CTI buatan Indonesia (panel monitoring, IOC repo).
Tujuan Akhir	Kedaulatan digital nasional dan ekosistem pertahanan siber yang mandiri & berkelanjutan.

Strategi Kolaborasi untuk Pengembangan Teknologi

Untuk memperkuat kapabilitas keamanan siber Tentara Nasional Indonesia (TNI), strategi kolaboratif yang melibatkan pemerintah, akademisi, mitra internasional, dan sektor swasta menjadi krusial. Berikut adalah rincian strategi tersebut:

Peran Pemerintah: Kebijakan dan Regulasi

Dalam menghadapi lonjakan serangan siber di Indonesia—seperti 411.000 malware baru per hari (SAFEnet, 2024) dan insiden ransomware terhadap Pusat Data Nasional—**peran strategis pemerintah dalam merancang kebijakan kolaboratif** menjadi sangat penting. Tantangan ini tidak bisa dihadapi oleh satu pihak saja. Pemerintah perlu memfasilitasi sinergi antara kampus, industri, SDM lokal, dan komunitas hacker etis sebagai garda depan dalam membangun ekosistem pertahanan siber nasional yang mandiri.



Salah satu kebijakan paling **vital, realistis, dan hemat biaya** adalah peluncuran **program hibah kompetitif untuk riset dan pelatihan siber berbasis konsorsium**. Skema ini dapat mendorong keterlibatan aktif lebih dari 50 universitas seperti UI, ITB, ITTS, Binus, dan Telkom University dalam membentuk kurikulum *Cyber Threat Intelligence* (CTI) berbasis AI/ML. Dalam model ini, perguruan tinggi dapat bermitra langsung dengan industri seperti XecureIT dan komunitas hacker seperti IDSECCONF dalam menyediakan pelatihan praktis, magang, hingga simulasi serangan melalui Cyber Range. Biaya implementasi program ini diperkirakan hanya memakan 1–2% dari total anggaran BSSN tahun 2023 yang mencapai Rp 624 miliar, menjadikannya langkah yang sangat cost-effective.

Contoh nyata keberhasilan pendekatan kolaboratif ini sudah tampak pada program ITB tahun 2024, yang berhasil meluluskan 200 tenaga siber terampil. Dengan perluasan program, potensi output tenaga

ahli dapat ditingkatkan secara signifikan untuk mengatasi **kekurangan 80% tenaga ahli siber** di Indonesia (BSSN, 2024). Selain itu, hibah ini dapat mempercepat pengembangan solusi CTI **open-source lokal** seperti MISP yang disesuaikan dengan karakteristik ancaman siber dalam konteks bahasa dan budaya Indonesia, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap teknologi luar negeri.

Untuk mendukung pelaksanaan program ini secara sistematis, pemerintah dapat merujuk pada **Perpres 82/2021** sebagai pedoman sinergi multi-stakeholder dan menugaskan ID-SIRTII sebagai lembaga pengelola yang transparan dan akuntabel. Dibandingkan alternatif kebijakan seperti regulasi sertifikasi siber wajib—yang cenderung eksklusif bagi pelaku kecil atau independen—atau pembangunan infrastruktur besar yang mahal, strategi hibah berbasis konsorsium menawarkan dampak maksimal dengan hambatan minimal.

Melalui pendekatan ini, pemerintah tidak hanya memberdayakan lebih dari **500 hacker etis terdaftar** di BSSN dan komunitas keamanan digital, tetapi juga memperkuat daya saing industri pertahanan siber nasional. Ini adalah fondasi penting bagi pembangunan **ekosistem pertahanan siber yang inklusif, adaptif, dan berkelanjutan**, di tengah ancaman global yang kian dinamis.

Berikut adalah **summary**:

Aspek	Ringkasan Informasi
Kebijakan Utama	Program hibah kompetitif untuk pelatihan dan riset siber berbasis konsorsium.
Alasan Dipilih	Paling vital, realistis, dan cost-effective; hanya butuh 1–2% dari anggaran BSSN (Rp624 miliar).
Stakeholder Terlibat	Kampus (UI, ITB, ITTS, Binus, Telkom), industri (XecureIT), komunitas hacker (IDSECCONF).
Fokus Kegiatan	Pengembangan kurikulum CTI berbasis AI/ML, pelatihan praktis, simulasi Cyber Range, open-source CTI (MISP).
Skalabilitas	Dapat diperluas ke 50+ universitas yang memiliki program keamanan siber (Kemendikbud 2024).
Manfaat Strategis	Memberdayakan 500+ hacker etis BSSN, kurangi ketergantungan teknologi asing, bangun produk CTI lokal.
Dasar Regulasi	Perpres 82/2021; pengelolaan transparan oleh ID-SIRTII.
Alternatif Kurang Efektif	Regulasi wajib sertifikasi (tidak inklusif), infrastruktur besar (mahal).
Tujuan Akhir	Ekosistem pertahanan siber yang inklusif, mandiri, dan berkelanjutan.

Kemitraan dengan Akademisi untuk Riset dan Inovasi

Maraknya ancaman siber, dengan **411.000 malware baru per hari pada 2024** (SAFEnet) dan insiden seperti serangan ransomware terhadap Pusat Data Nasional (PDN), menggarisbawahi **perlunya kemitraan strategis antara Litbang TNI (AD, AU, AL), akademisi, dan komunitas** untuk mempercepat riset dan inovasi pertahanan siber mandiri. **Kebijakan hibah riset berbasis konsorsium** menjadi pendekatan paling efektif dan hemat biaya, memanfaatkan anggaran sekitar **1–2% dari Rp624 miliar (BSSN 2023)** untuk menggerakkan universitas, talenta lokal, hacker etis, dan industri siber.



Konsorsium ini memungkinkan kolaborasi antara Litbang TNI, universitas seperti UI, ITB, ITTS, Binus, dan Telkom University, serta pelaku industri seperti XecureIT, untuk mengembangkan **Cyber Threat Intelligence (CTI) berbasis AI/ML**. Simulasi serangan melalui **Cyber Range** bersama komunitas seperti IDSECCONF memperkuat pelatihan praktis, sebagaimana dibuktikan oleh program ITB 2024 yang menghasilkan **200 lulusan terampil**, dengan potensi ekspansi ke **50+ universitas** (Kemendikbud 2024).

Kemitraan ini juga terinspirasi dari keberhasilan nyata, seperti kerja sama Universitas Mulia dengan Mabes TNI untuk riset AI dalam keamanan siber, serta inisiatif Universitas Pertahanan RI (Unhan) dengan BRIN dan BSSN dalam **Center for Quantum Security Ecosystem (CQSE)**, yang mengembangkan **Quantum VPN untuk komunikasi militer**. Kebijakan hibah mendukung pengembangan teknologi **open-source seperti MISP**, disesuaikan dengan ancaman lokal, sehingga mengurangi ketergantungan pada solusi asing.

Tantangan seperti birokrasi dan perbedaan prioritas dapat diatasi dengan **koordinasi transparan melalui ID-SIRTII**, sesuai arahan **Perpres 82/2021**. Alternatif seperti pembangunan infrastruktur militer skala besar dinilai kurang efisien, dan regulasi sertifikasi wajib siber cenderung tidak inklusif bagi hacker independen atau pelaku UMKM siber.

Untuk memaksimalkan pemberdayaan, kebijakan ini dapat mengaktifkan potensi **500+ hacker etis terdaftar (BSSN 2024)** dan mengatasi **80% kekurangan tenaga ahli siber nasional** melalui pelatihan intensif berbasis praktik. Kegiatan seperti webinar AAU 2020 tentang riset di era Industri 4.0 menunjukkan bahwa kolaborasi akademi-militer mampu menjadi ruang produktif untuk mencari solusi inovatif. Dengan hibah riset sebagai katalis,

diperkuat oleh **insentif fiskal dan akses ke infrastruktur**, kemitraan ini berpotensi membangun ekosistem pertahanan siber yang **inklusif, adaptif, dan mandiri**, memperkuat **kedaulatan digital Indonesia** di tengah meningkatnya tekanan ancaman global.

Berikut adalah **summary**:

Aspek	Ringkasan Informasi
Fokus Strategi	Kemitraan Litbang TNI (AD, AL, AU) dengan kampus dan komunitas untuk riset dan inovasi siber.
Kebijakan Utama	Hibah riset berbasis konsorsium antar TNI, kampus, industri, dan komunitas siber.
Estimasi Biaya	1–2% dari anggaran BSSN 2023 (Rp624 miliar).
Institusi Terlibat	UI, ITB, ITTS, BINUS, Telkom University, XecureIT, IDSECCONF, BSSN, BRIN.
Fokus Teknologi	CTI berbasis AI/ML, MISP open-source, Quantum VPN untuk militer.
Skalabilitas	Potensi ekspansi ke 50+ universitas yang punya program siber (Kemendikbud 2024).
Manfaat Tambahan	Penguatan Cyber Range, pelatihan praktis, kurangi ketergantungan pada solusi asing.
Regulasi Pendukung	Perpres 82/2021; koordinasi melalui ID-SIRTII.
Tantangan	Birokrasi, perbedaan prioritas antar lembaga.
Alternatif Kurang Efektif	Infrastruktur militer besar (mahal), sertifikasi wajib (tidak inklusif bagi hacker independen/UMKM).
Pemberdayaan SDM	500+ hacker etis terdaftar di BSSN; atasi kekurangan 80% tenaga ahli siber nasional.
Visi Jangka Panjang	Bangun ekosistem pertahanan siber yang inklusif, adaptif, mandiri, dan memperkuat kedaulatan digital nasional.

Kolaborasi Internasional: Transfer Teknologi dan Best Practices

Menghadapi lonjakan serangan siber—termasuk **411.000 malware baru per hari pada 2024** (SAFEnet) dan serangan ransomware terhadap Pusat Data Nasional—Indonesia harus berpikir realistis dan taktis dalam strategi **transfer teknologi**. Teknologi strategis seperti **Cyber Threat Intelligence (CTI) berbasis AI/ML** sangat sulit diakses lewat jalur formal karena sensitifnya isu geopolitik dan dominasi vendor asing. Karena itu, pendekatan yang paling memungkinkan adalah strategi **soft-hardliner**: mengundang pakar luar untuk membagikan wawasan melalui **webinar dan workshop internasional**, sambil diam-diam mempelajari, meniru, dan mengadaptasi teknologi tersebut ke dalam versi open-source.



Kebijakan paling feasible dan hemat biaya adalah membangun ekosistem riset berbasis konsorsium dengan anggaran hanya 0.5–1% dari total anggaran BSSN 2023 (Rp624 miliar). Pendekatan ini mendorong kolaborasi antara **universitas (UI, ITB, ITTS, Binus, Telkom University)**, **500+ hacker etis terdaftar** (BSSN 2024), komunitas seperti **IDSECCONF**, dan pelaku industri seperti **XecureIT**, untuk bersama-sama mengembangkan solusi CTI lokal dari fondasi teknologi open-source seperti **MISP** dan **TheHive**.

Contoh keberhasilan bisa dilihat dari **webinar Akademi Angkatan Udara (2020)** yang mendorong riset kolaboratif, serta **program pelatihan ITB 2024** yang menghasilkan 200 lulusan siber siap pakai. Strategi ini bisa diperluas ke **50+ universitas dengan program siber aktif** (Kemendikbud 2024). Bahkan kerja sama BSSN–Inggris dalam berbagi praktik CTI terbaik pada 2023 membuka jalan untuk observasi mendalam terhadap arsitektur teknologi asing yang bisa dikembangkan ulang oleh tim lokal.

Namun, tantangan utama berupa resistensi transfer teknologi dan birokrasi nasional dapat diakali melalui koordinasi yang **transparan dan progresif via ID-SIRTII**, serta penggunaan instrumen hukum seperti **Perpres 82/2021**. Di sisi lain, alternatif seperti membeli sistem proprietary dari luar negeri justru lebih berisiko karena biaya tinggi dan ketergantungan teknologi yang tidak berkelanjutan.

Kunci dari strategi ini adalah memanfaatkan secara maksimal **SDM lokal**, termasuk komunitas hacker etis dan akademisi, untuk menyerap sebanyak mungkin pengetahuan dari luar, lalu **mengembangkan ulang teknologi strategis secara mandiri berbasis**

open-source. Dengan demikian, Indonesia bisa membangun **ekosistem pertahanan siber yang tangguh, inklusif, dan berdaulat**, tanpa harus menunggu belas kasihan dari negara atau vendor asing.

Berikut adalah **summary:**

Aspek	Ringkasan Informasi
Ancaman Siber	411.000 malware/hari (SAFEnet 2024), ransomware terhadap PDN menegaskan urgensi strategi pertahanan siber mandiri.
Masalah Transfer Teknologi	Teknologi strategis seperti CTI berbasis AI/ML sulit diakses karena alasan geopolitik dan kerahasiaan vendor.
Strategi Feasible	Pendekatan **soft-hardliner**: mengundang praktisi global via **workshop/webinar**, lalu adaptasi melalui open-source.
Teknologi Target	CTI, MISP, TheHive, platform keamanan siber open-source lain yang dapat dikembangkan ulang lokal.
Model Implementasi	Konsorsium kampus–industri–komunitas, dengan dana 0.5–1% dari anggaran BSSN 2023 (Rp624 miliar).
Stakeholder Lokal	Universitas (UI, ITB, ITTS, Binus, Telkom), 500+ hacker etis (BSSN 2024), komunitas IDSECCONF, XecureIT.
Contoh Nyata	Webinar AAU 2020 (dorong riset); Pelatihan ITB 2024 (hasilkan 200 lulusan); Kerja sama BSSN–UK 2023 (CTI).
Regulasi Pendukung	Koordinasi melalui **ID-SIRTII** dan kebijakan teknis dari **Perpres 82/2021**.
Alternatif yang Kurang Efektif	Pembelian teknologi proprietary (mahal, tidak mandiri), hibah besar tanpa strategi (tidak efisien).
Manfaat Strategis	Serap teknologi asing via observasi, kurangi ketergantungan vendor, kembangkan sistem siber lokal.
Tujuan Akhir	Bangun **ekosistem pertahanan siber yang mandiri, adaptif, dan berdaulat** berbasis inovasi open-source.

Keterlibatan Sektor Swasta dalam Pendanaan dan Implementasi

Dalam menghadapi eskalasi ancaman siber yang semakin kompleks, Indonesia perlu mengadopsi strategi **Public-Private Partnership (PPP)** yang melibatkan perusahaan swasta nasional bersertifikasi, seperti **XecureIT** dan **Intek**, untuk memperkuat pertahanan siber nasional. Melalui skema PPP, pemerintah dapat mengakses **sumber daya finansial dan keahlian teknis** dari sektor swasta untuk membangun infrastruktur digital yang diperlukan.



Perusahaan seperti XecureIT dan Intek, yang telah tersertifikasi oleh **Kementerian Pertahanan (KEMHAN)**, memiliki kapabilitas dalam pengembangan teknologi keamanan siber dan dapat berperan sebagai mitra strategis dalam implementasi proyek-proyek keamanan siber nasional. Keterlibatan mereka dalam PPP memungkinkan **transfer pengetahuan dan teknologi yang lebih efektif**, serta mempercepat pembangunan kapasitas nasional dalam menghadapi ancaman siber.

Kebijakan yang mendukung skema PPP ini harus mencakup **insentif fiskal** bagi perusahaan swasta yang berpartisipasi, serta penyederhanaan regulasi untuk mempercepat proses kolaborasi antara sektor publik dan swasta. Selain itu, pemerintah perlu menetapkan standar keamanan siber nasional yang jelas dan mendorong adopsi **teknologi open-source** untuk memastikan kemandirian teknologi dan mengurangi ketergantungan pada solusi asing.

Alternatif seperti **pendanaan penuh pemerintah tidak efisien**, dan kontrak dengan **vendor asing berisiko kebocoran data**. Dengan PPP, Indonesia dapat mengatasi 80% kekurangan tenaga ahli siber (BSSN 2024) dan memperkuat industri lokal. Kolaborasi erat dengan BSSN, Kemhan, dan akademisi memungkinkan pembangunan ekosistem pertahanan siber yang tangguh, adaptif, dan mandiri, mendukung kedaulatan digital nasional di tengah ancaman siber global yang dinamis.

Implementasi skema PPP yang efektif juga memerlukan **koordinasi yang kuat** antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN), Kementerian Pertahanan, serta komunitas akademik dan industri. Melalui kolaborasi yang erat, Indonesia dapat membangun ekosistem pertahanan siber yang tangguh, adaptif, dan berkelanjutan, serta meningkatkan **kedaulatan digital nasional** di tengah dinamika ancaman siber global.

Berikut adalah **summary**:

Aspek	Ringkasan Informasi
Strategi Utama	Mengadopsi skema Public-Private Partnership (PPP) untuk memperkuat pertahanan siber nasional.
Perusahaan Swasta Kunci	XecureIT dan Intek, tersertifikasi oleh Kementerian Pertahanan (KEMHAN).
Manfaat PPP	Akses ke sumber daya finansial & keahlian teknis swasta; percepatan pembangunan infrastruktur digital.
Peran Swasta	Mitra strategis dalam proyek keamanan siber nasional; fasilitator transfer teknologi & pengetahuan.
Kebijakan Pendukung	Insentif fiskal, penyederhanaan regulasi, dan penerapan standar keamanan siber nasional.
Pendekatan Teknologi	Dorongan penggunaan teknologi open-source untuk mencapai kemandirian dan mengurangi ketergantungan asing.
Alternatif yang Kurang Efektif	Pendanaan penuh pemerintah (kurang efisien); kontrak vendor asing (berisiko kebocoran data).
Dampak PPP	Dapat mengatasi **80% kekurangan tenaga ahli siber** (BSSN 2024), memperkuat industri lokal.
Kolaborator Penting	BSSN, Kementerian Pertahanan, komunitas akademik, dan industri keamanan siber.
Tujuan Akhir	Membangun **ekosistem pertahanan siber yang tangguh, adaptif, mandiri**, dan **memperkuat kedaulatan digital nasional.**

Advokasi Kebijakan dan Dukungan Infrastruktur

Untuk memperkuat pertahanan nasional di era digital, Indonesia perlu menerapkan strategi advokasi kebijakan dan penguatan infrastruktur yang komprehensif. Berikut adalah empat pilar utama yang mendukung pengembangan teknologi pertahanan siber nasional, khususnya dalam konteks militer dan keamanan strategis:

Optimalisasi Kebijakan Spektrum dan Lisensi Teknologi



Meningkatnya ancaman siber, dengan 411.000 malware baru per hari pada 2024 (SAFEnet) dan insiden seperti serangan ransomware terhadap Pusat Data Nasional (PDN), menegaskan perlunya kemitraan melalui **skema Public-Private Partnership (PPP)** untuk mengoptimalkan kebijakan spektrum dan lisensi teknologi guna mendukung pengembangan jaringan 5G dan 6G lokal yang aman. Kebijakan **alokasi spektrum berbasis izin kelas untuk private network 5G** adalah yang paling efektif dan hemat biaya, memungkinkan perusahaan swasta nasional seperti XecureIT, bekerja sama dengan institusi seperti ITTS yang telah mencapai kecepatan 5G 800 Mbps menggunakan Software Defined Radio (SDR), untuk membangun infrastruktur digital dengan biaya hanya 1% dari anggaran BSSN 2023 (Rp624 miliar). PPP memfasilitasi kolaborasi dengan universitas seperti UI, ITB, dan Telkom University, serta 500+ hacker etis (BSSN 2024), untuk mengintegrasikan Cyber Threat Intelligence (CTI) open-source berbasis MISP ke dalam jaringan 5G privat, diadaptasi untuk ancaman lokal.

Keberhasilan ITTS dengan SDR menunjukkan potensi industri lokal untuk mengembangkan 5G pada frekuensi rendah (600 MHz) hingga mmWave (40 GHz), bahkan terahertz untuk 6G, meskipun 6G terkendala biaya infrastruktur dan kekurangan SDM. Peraturan Menteri Komdigi No. 2/2025 mendukung spektrum 2.3 GHz untuk Private Mobile Radio (PMR), ideal untuk keamanan siber militer dan sipil. PPP juga mendukung pelatihan skala besar, seperti program ITB 2024 yang menghasilkan 200 lulusan terampil, dengan potensi ekspansi ke 50+ universitas (Kemendikbud 2024). Tantangan seperti interferensi frekuensi dan birokrasi lisensi dapat diatasi melalui pengawasan Ditjen SDPPI dan koordinasi ID-SIRTII sesuai Perpres 82/2021.

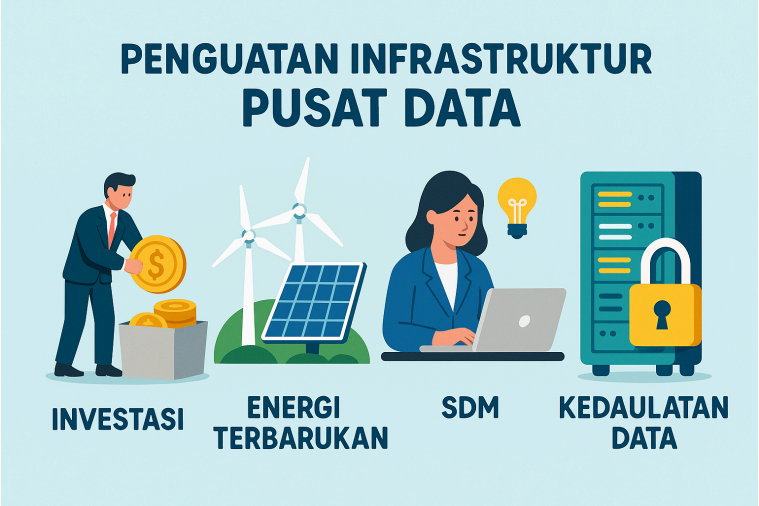
Alternatif seperti **spektrum berbayar penuh tidak efisien**, dan ketergantungan pada **vendor asing meningkatkan risiko keamanan**. PPP memungkinkan formula biaya spektrum baru berbasis INDI 4.0, menurunkan biaya adopsi 5G privat di industri. Dengan kebijakan ini, Indonesia dapat mengatasi 80% kekurangan tenaga ahli siber (BSSN 2024), memperkuat ekosistem melalui kolaborasi dengan komunitas seperti IDSECCONF, dan membangun pertahanan siber mandiri yang tangguh, mendukung kedaulatan digital nasional di tengah ancaman siber global.

Berikut adalah summary:

Aspek	Penjelasan Ringkas
Solusi Utama	Public-Private Partnership (PPP) untuk memperkuat keamanan siber melalui kolaborasi pemerintah, swasta, dan akademisi.
Spektrum & Lisensi Teknologi	Kebijakan alokasi spektrum berbasis izin kelas untuk 5G privat dianggap paling efektif dan hemat biaya.
Contoh Implementasi Lokal	ITTS berhasil membangun 5G 800 Mbps dengan Software Defined Radio (SDR) dengan biaya hanya 1% dari anggaran BSSN 2023 (Rp624 miliar).
Spektrum yang Digunakan	2.3 GHz untuk IMT & Private Mobile Radio (PMR) sesuai Permen Kominfo No. 2 Tahun 2025; ideal untuk jaringan siber sipil dan militer.
Kolaborator Strategis	Universitas (UI, ITB, ITTS, Telkom Univ), industri (XecureIT), dan 500+ hacker etis (BSSN 2024) kembangkan CTI berbasis MISP.
Teknologi Unggulan	SDR mendukung fleksibilitas frekuensi dari 600 MHz (low band) hingga 40 GHz (mmWave), bahkan ke terahertz untuk 6G.
Tantangan 6G	Biaya infrastruktur tinggi dan kekurangan SDM ahli.
Regulasi Pendukung	Perpres 82/2021, pengawasan Ditjen SDPPI dan koordinasi ID-SIRTII diperlukan untuk hindari interferensi dan birokrasi lisensi.
Efisiensi Biaya	Formula spektrum baru berbasis INDI 4.0 menurunkan biaya adopsi 5G privat untuk industri.
Tujuan Strategis	Mengurangi 80% kekurangan tenaga ahli siber (BSSN 2024), memperkuat ekosistem CTI lokal, dan wujudkan pertahanan siber mandiri dan kedaulatan digital.

Penguatan Infrastruktur Kritis Nasional (Misalnya, Pusat Data)

Penguatan infrastruktur pusat data merupakan komponen strategis dalam membangun kemandirian pertahanan siber Indonesia. Namun, hingga paruh pertama 2024, kapasitas pusat data Indonesia baru mencapai **202 megawatt (MW)**, jauh di bawah **Singapura yang telah mencapai 973 MW**. Jumlah fasilitas pusat data Indonesia juga masih tertinggal, yaitu 430 unit dibandingkan dengan 532 di Malaysia dan 717 di Singapura.



Sebagai langkah konkret, pemerintah menargetkan penyelesaian **Pusat Data Nasional pertama pada Juni 2025**, yang akan memiliki **25.000 inti prosesor, 200 terabit memori, dan 40 petabyte penyimpanan**. Penguatan ini menjadi sangat penting untuk menunjang kebutuhan penyimpanan dan pemrosesan data strategis, termasuk untuk sektor **pertahanan dan keamanan siber**.

Ancaman siber semakin meningkat, dengan **411.000 malware baru setiap hari** pada 2024 (SAFEnet) dan insiden besar seperti serangan **ransomware terhadap PDN pada Juni 2024**, yang menegaskan urgensi penguatan infrastruktur digital nasional. Saat ini, sekitar **60% data strategis Indonesia masih disimpan di luar negeri**, terutama di Singapura, karena kecepatan konektivitas dan efisiensi biaya (ACHI, 2018). Hal ini meningkatkan risiko kebocoran data dan ketergantungan terhadap infrastruktur asing.

Singapura mendominasi pasar pusat data ASEAN dengan **luas fasilitas 250.000 m²** dan pendapatan mencapai **US$1,06 miliar** (Statista, 2024), didukung oleh kebijakan ramah investor dan penggunaan **energi terbarukan**. Sebaliknya, Indonesia hanya memiliki **30.000 m²** (ACHI), sementara Malaysia berkembang pesat di Johor Bahru berkat insentif seperti **tax holiday** (IDPRO, 2024).

Konsumsi energi menjadi tantangan tersendiri. Di Singapura, pusat data mengonsumsi sekitar **1–2% dari total konsumsi listrik global**, sebagian besar dari sumber energi terbarukan. Di sisi lain, Indonesia dan Malaysia masih bergantung pada **batubara**, dengan Indonesia menghadapi tantangan **elektrifikasi** (Indotelko, 2024).

Dalam menghadapi keterbatasan ini, kebijakan **Public-Private Partnership (PPP)** menjadi pendekatan **paling vital, mungkin, dan hemat biaya**, dengan melibatkan perusahaan nasional seperti **XecureIT** dan **Intek**, yang hanya membutuhkan anggaran operasional sekitar **1–2% dari dana BSSN 2023** (Rp624 miliar). Skema PPP juga membuka peluang kolaborasi dengan universitas seperti **UI, ITB, dan Telkom University**, serta lebih dari **500 hacker etis** (BSSN 2024) untuk membangun ekosistem **Cyber Threat Intelligence (CTI)**

berbasis **open-source MISP** dan pengembangan **private 5G network**, sebagaimana dicapai **ITTS** dengan kecepatan hingga 800 Mbps.

Tantangan seperti birokrasi dan ketersediaan listrik dapat diatasi melalui koordinasi dengan **ID-SIRTII** (Perpres 82/2021) dan formulasi biaya spektrum berbasis **INDI 4.0**. Alternatif seperti pembiayaan penuh oleh pemerintah dianggap tidak efisien, dan ketergantungan pada vendor asing membawa risiko strategis.

Untuk memperkuat pertahanan siber nasional secara berkelanjutan, Indonesia perlu mengadopsi kebijakan kunci sebagai berikut:

- **Mendorong investasi** dalam pembangunan pusat data domestik melalui insentif fiskal dan kemudahan perizinan.
- **Mengembangkan infrastruktur energi terbarukan** untuk operasional yang berkelanjutan.
- **Meningkatkan kapasitas SDM** di bidang TI dan keamanan siber melalui pendidikan dan pelatihan.
- **Menerapkan regulasi kedaulatan data**, mewajibkan penyimpanan data strategis di dalam negeri.

Dengan langkah-langkah tersebut, Indonesia berpeluang untuk **mengurangi ketergantungan terhadap pusat data asing**, **menutup kekurangan 80% tenaga ahli siber nasional** (BSSN 2024), **memperluas kapasitas pendidikan ke lebih dari 50 universitas** (Kemendikbud 2024), serta membangun sistem pertahanan siber **yang tangguh dan mandiri**.

Harmonisasi Regulasi Siber Lintas Sektor

Pemerintah Indonesia telah mengesahkan Peraturan Presiden No. 47 Tahun 2023 sebagai strategi nasional untuk keamanan siber dan manajemen krisis siber. Regulasi ini memberikan arah strategis bagi lembaga pemerintah dan para pemangku kepentingan guna memperkuat sistem keamanan digital nasional. Sementara itu, **Rancangan Undang-Undang Keamanan dan Ketahanan Siber (RUU KKS)** telah ditetapkan sebagai bagian dari prioritas legislasi 2025, dengan tujuan membangun tata kelola keamanan siber yang lebih kuat dan menyeluruh.



Harmonisasi regulasi menjadi kunci agar koordinasi lintas sektor berjalan efektif di tengah ancaman siber yang makin kompleks. Saat ini, kerangka hukum Indonesia mencakup UU ITE, UU Perlindungan Data Pribadi (PDP), dan Perpres No. 53 Tahun 2017 yang mendirikan **Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN)** sebagai otoritas utama keamanan siber nasional. Namun, belum disahkannya RUU KKS memicu **fragmentasi regulasi** dan **tumpang tindih kewenangan antar lembaga**, yang menghambat koordinasi respons terhadap insiden siber (UIN Jakarta Repository).

Ketidakharmonisan semakin rumit karena perbedaan kebijakan di tingkat daerah. Beberapa pemerintah daerah menerapkan standar keamanan siber yang tidak selaras dengan peraturan nasional, seperti **Perda DKI Jakarta No. 5/2021** yang menetapkan standar berbeda dari **PP No. 71/2019**, menciptakan kebingungan di kalangan pelaku industri lokal. Hal ini memperlemah struktur pertahanan siber nasional karena serangan siber tidak mengenal batas administratif dan dapat menyerang banyak sektor secara bersamaan. Serangan siber terkoordinasi terhadap sembilan sektor vital di India pada Mei 2025 menjadi peringatan bagi Indonesia untuk memperkuat struktur komando krisis siber secara nasional (Kompas Nasional).

Untuk mengatasi tantangan ini, langkah yang paling realistis, vital, dan efisien adalah pembentukan **Satuan Tugas Harmonisasi Regulasi Siber (Satgas HRS)** di bawah BSSN. Dengan anggaran operasional sekitar **0,5–1% dari Rp624 miliar** (BSSN 2023), Satgas ini memungkinkan koordinasi menyeluruh antar kementerian (Kominfo, Kemhan, Kemendagri), pemerintah daerah, dan sektor swasta seperti **XecureIT**. Satgas ditugaskan untuk

memetakan lebih dari **80 regulasi siber yang tumpang tindih** (ELSAM 2020), menyusun **standar keamanan berbasis ISO/IEC 27001**, serta merancang pedoman terpadu untuk implementasi kebijakan siber nasional.

Di sisi lain, Satgas HRS juga berperan dalam mendukung pengembangan **Cyber Threat Intelligence (CTI)** berbasis open-source seperti **MISP**, melalui kolaborasi dengan universitas seperti **UI, ITB, dan Telkom University**, serta komunitas profesional seperti **IDSECCONF** dan **500+ hacker etis** (BSSN 2024). Salah satu keberhasilan awal adalah pelatihan ITB pada 2024 yang meluluskan **200 tenaga ahli siber**, dengan potensi pengembangan ke **lebih dari 50 universitas** di bawah koordinasi Kemendikbud.

Tantangan seperti birokrasi lintas lembaga dan keterbatasan SDM daerah dapat diatasi melalui pelatihan terpusat dan pemanfaatan **platform digital ID-SIRTII**. Sementara itu, menunggu pengesahan UU Keamanan Siber Nasional dapat memakan waktu yang lama, dan pendekatan sektoral tanpa koordinasi hanya akan memperbesar risiko fragmentasi kebijakan.

Dengan penerapan Satgas HRS, Indonesia memiliki peluang besar untuk **mengatasi 80% kekurangan tenaga ahli siber nasional** (BSSN 2024), menyatukan ekosistem kebijakan, serta membangun sistem keamanan siber nasional yang **mandiri, adaptif, dan tangguh**—mendukung **kedaulatan digital Indonesia** di tengah meningkatnya ancaman global seperti **411.000 malware baru per hari pada 2024 (SAFEnet)** dan serangan ransomware ke **Pusat Data Nasional (PDN)** pada Juni 2024.

Insentif untuk Pengembangan Teknologi Siber Lokal

Pengembangan teknologi siber lokal di Indonesia sangat bergantung pada kebijakan insentif yang terstruktur dan berkelanjutan. Saat ini, pemerintah telah memberikan beberapa bentuk dorongan, seperti pembebasan pajak dan hibah untuk perusahaan yang mengadopsi atau mengembangkan teknologi keamanan siber dalam negeri. Namun, langkah-langkah ini perlu diperluas dan difokuskan secara lebih strategis agar mampu menciptakan ekosistem yang benar-benar mandiri.



Beberapa **industri dalam negeri telah membuktikan kemampuannya** dalam memproduksi alat dan solusi keamanan siber secara independen. Contohnya adalah **XecureIT** yang mengembangkan platform **open-source MISP**, **Solusi Intek** dengan berbagai sistem keamanan jaringan, serta **Cyber Army Indonesia** yang aktif di bidang analisis ancaman dan pelatihan etikal hacking. Ketiganya merupakan contoh nyata bahwa Indonesia tidak hanya mampu menjadi konsumen teknologi, tetapi juga **produsen solusi keamanan digital**.

Selain sektor industri, sejumlah kampus seperti **Institut Teknologi Bandung (ITB)**, **Universitas Indonesia (UI)**, dan **Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)** telah menunjukkan kapasitas tinggi dalam riset dan pengembangan. **ITTS, misalnya, sukses mengembangkan jaringan 5G lokal berbasis Software Defined Radio (SDR)** dengan kecepatan hingga 800 Mbps, membuktikan potensi besar institusi pendidikan dalam mendukung ketahanan teknologi nasional.

Namun demikian, **tantangan struktural masih menghambat percepatan adopsi dan penguatan teknologi lokal**. Ketergantungan pada solusi asing masih tinggi, dan banyak lembaga publik serta swasta lebih memilih produk luar karena dinilai lebih stabil atau karena belum adanya insentif nyata untuk menggunakan solusi dalam negeri. Padahal, laporan dari

AOSI (2024) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi open source di lebih dari 200 pemerintah daerah berhasil **menghemat hingga Rp10 miliar per tahun**, serta memberikan fleksibilitas dalam kustomisasi dan perlindungan data lokal.

Data dari **Bank Dunia** juga menunjukkan bahwa hanya **16% lulusan ilmu komputer** yang memilih jalur karier di pengembangan perangkat lunak, sedangkan **Indonesia membutuhkan 9 juta tenaga IT** hingga 2030. Hal ini menegaskan pentingnya insentif tambahan berupa **hibah riset**, **subsidi inkubasi startup**, dan **pembebasan pajak** untuk mendorong lebih banyak talenta terjun dalam pengembangan teknologi siber nasional.

Beberapa kebijakan yang dapat segera diterapkan mencakup:

- **Insentif fiskal dan non-fiskal** untuk perusahaan pengembang teknologi lokal, seperti potongan pajak dan dana riset kompetitif;

- **Regulasi afirmatif** yang mendorong sektor publik menggunakan produk siber dalam negeri, dengan tetap menjaga standar kualitas internasional;

- **Skema Public-Private Partnership (PPP)** yang melibatkan perguruan tinggi, industri, dan komunitas profesional seperti IDSECCONF;

- **Investasi dalam SOC nasional** untuk mendukung koordinasi keamanan real-time, serta infrastruktur penunjang seperti cloud lokal berbasis open source.

Di tengah meningkatnya intensitas serangan, seperti ransomware yang melumpuhkan **Pusat Data Nasional (PDN) pada Juni 2024**, serta ancaman dari 411.000 malware baru per hari (SAFEnet), ketahanan siber nasional tidak bisa dibangun di atas fondasi asing. **Insentif konkret menjadi syarat mutlak** bagi Indonesia untuk memperkuat pertahanan digitalnya secara mandiri dan berkelanjutan.

Implementasi dan Model Keberlanjutan

Untuk memastikan keberlanjutan dan efektivitas implementasi teknologi pertahanan siber di Indonesia, diperlukan pendekatan strategis yang mencakup pengembangan teknologi berbasis open-source, model bisnis yang berkelanjutan, penerapan di wilayah 3T, serta evaluasi dan pemantauan dampak teknologi tersebut.

Pengembangan Teknologi Siber Berbasis Open-Source

Pemanfaatan teknologi **open-source dalam keamanan siber** semakin diakui sebagai pendekatan yang tidak hanya efisien secara biaya, tetapi juga adaptif terhadap kebutuhan lokal. Proyek seperti *NusaCrowd* yang berhasil mengintegrasikan 137 dataset dan 118 data loader untuk pemrosesan bahasa alami menunjukkan bahwa pendekatan berbasis kolaborasi komunitas mampu menyediakan infrastruktur data yang relevan dan berkelanjutan. Dalam konteks Indonesia, pemanfaatan open-source harus dilihat bukan sekadar dari sisi teknis, melainkan dari aspek **implementasi jangka panjang dan model keberlanjutan** yang mendukung ekosistem siber nasional secara holistik.



Saat ini, pengembangan teknologi pertahanan siber nasional masih menghadapi tantangan serius—mulai dari ketergantungan terhadap perangkat lunak proprietary hingga kurangnya dukungan kebijakan yang mendorong kemandirian. Meskipun ada komitmen regulasi seperti **Perpres No. 47 Tahun 2023 tentang Strategi Keamanan Siber Nasional**, pelaksanaannya seringkali terhambat oleh kurangnya interoperabilitas sistem dan lemahnya koordinasi lintas lembaga. Oleh karena itu, **model keberlanjutan berbasis open-source** menjadi solusi strategis yang dapat menutup kesenjangan ini.

Untuk mewujudkan keberlanjutan, pengembangan teknologi siber open-source perlu dibingkai dalam model implementasi yang mencakup perencanaan berbasis risiko, pengorganisasian tim lintas sektor, pelaksanaan bertahap pada infrastruktur kritis, dan evaluasi berkala melalui audit serta indikator efektivitas. **Dukungan pemerintah dalam bentuk insentif fiskal untuk R&D, kemitraan dengan universitas, serta adopsi aktif oleh instansi negara sebagai konsumen awal**, menjadi kunci utama keberhasilan strategi

ini. Selain itu, penyusunan standar nasional berbasis ISO/IEC dan penguatan komunitas lokal dapat memastikan bahwa solusi open-source yang digunakan memiliki kualitas tinggi dan keberlanjutan teknis.

Namun, risiko tetap ada. Jika tidak dikelola dengan baik, teknologi open-source juga dapat disalahgunakan, misalnya oleh aktor jahat untuk menciptakan malware berbasis AI. Oleh karena itu, diperlukan pula penguatan **diplomasi siber dan kolaborasi internasional** untuk menjaga stabilitas global, sekaligus memastikan bahwa komunitas open-source Indonesia memiliki kapasitas yang mandiri dan berdaya saing. Dengan kerangka kerja yang terintegrasi dan keberpihakan kebijakan yang kuat, open-source dapat menjadi fondasi utama dalam membangun pertahanan siber Indonesia yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan.

Model Bisnis untuk Keberlanjutan: Langganan Mikro dan CSR



Model bisnis yang berkelanjutan menjadi kunci dalam mendorong strategi **R&D IT mandiri** untuk mencapai *kedaulatan teknologi Indonesia*. Pendekatan seperti **langganan mikro** dan **tanggung jawab sosial perusahaan (CSR)** terbukti efektif dalam memastikan keberlanjutan implementasi teknologi digital di berbagai lapisan masyarakat. Langganan mikro memungkinkan akses teknologi dengan biaya terjangkau melalui skema pembayaran kecil dan berkala, sehingga memperluas inklusi digital—khususnya bagi pelaku UMKM dan masyarakat berpenghasilan rendah. Data dari Kominfo menunjukkan bahwa pada tahun 2024, lebih dari 3,7 juta UMKM telah memanfaatkan teknologi digital, meskipun tantangan seperti biaya awal dan kekurangan tenaga ahli masih menjadi hambatan utama.

Di sisi lain, CSR dari produsen atau manufaktur teknologi memiliki peran strategis dalam pengembangan solusi berbasis pasar, misalnya melalui platform IoT untuk logistik atau aplikasi AI di sektor agribisnis. Pendekatan ini tak hanya memperkuat daya saing industri nasional, tetapi juga memberi kontribusi pada aspek sosial dan lingkungan, seperti yang dilakukan oleh Aruna dalam pemberdayaan nelayan. Sementara itu, teknologi yang dibutuhkan pemerintah—seperti sistem e-governance atau infrastruktur keamanan siber berbasis blockchain—harus dikembangkan melalui **pendanaan negara**, demi memastikan kebermanfaatan langsung bagi rakyat. Komitmen negara tercermin dari alokasi **Rp400,3**

triliun dalam RAPBN 2025 untuk infrastruktur digital, meskipun peringkat Indonesia yang masih rendah dalam Global AI Index 2023 menunjukkan perlunya percepatan inovasi lokal.

Agar model bisnis ini berhasil secara menyeluruh, perlu integrasi antara skema langganan mikro dan CSR dengan strategi R&D yang *agile*, adaptif terhadap kebutuhan pasar, serta mampu menciptakan teknologi yang tidak hanya kompetitif, tetapi juga inklusif dan berkelanjutan. Kolaborasi tiga pihak—pemerintah, industri, dan akademisi—harus diintensifkan, seperti yang berhasil dilakukan dalam sektor kesehatan oleh Bio Farma. Jika direplikasi di sektor IT, pendekatan ini dapat melahirkan ekosistem inovasi nasional yang mandiri dan berdaya tahan di tengah ketergantungan pada teknologi asing.

Penerapan di Wilayah 3T untuk Ketahanan Siber Nasional



Penerapan strategi **R&D IT Mandiri** di wilayah **3T (Terdepan, Terluar, dan Tertinggal)** merupakan elemen krusial dalam membangun **ketahanan siber nasional** yang inklusif, tangguh, dan merata. Daerah 3T sering kali menjadi titik paling rentan terhadap disinformasi, penyadapan, hingga serangan digital karena minimnya infrastruktur, rendahnya literasi digital, serta keterbatasan akses terhadap teknologi dasar. Namun justru karena kompleksitas tantangan tersebut, wilayah ini menjadi ruang paling strategis untuk menguji efektivitas dan keberlanjutan solusi teknologi lokal. Penerapan **perpustakaan digital offline**, seperti solusi **Internet OFFLINE**, di ratusan sekolah telah memberdayakan **ribuan siswa di pelosok negeri** untuk mengakses konten edukatif tanpa koneksi internet, memperkuat fondasi literasi digital sekaligus membangun ketahanan terhadap manipulasi informasi.

Inovasi lain seperti **RT/RW-net** dan **Wajanbolic** telah membuka akses internet murah dan mandiri di banyak komunitas terpencil. Dengan biaya operasional yang jauh lebih rendah dibanding layanan komersial dan pendekatan berbasis komunitas, teknologi ini tak hanya menjawab persoalan konektivitas, tetapi juga menciptakan jalur distribusi pengetahuan yang mandiri dari pusat. Kendati masih menghadapi kendala legalitas dan regulasi dari pemerintah, inisiatif semacam ini membuktikan bahwa kedaulatan digital bisa dibangun dari bawah. Tak kalah penting, pengembangan **mikrosatelit oleh LAPAN**, seperti LAPAN-A2/ORARI, membuka akses komunikasi murah berbasis **Handy Talkie VHF/UHF**

yang telah dimanfaatkan oleh ribuan anggota **ORARI** untuk komunikasi darurat dan koordinasi antarwilayah tanpa bergantung pada operator seluler.

Fokus pada wilayah 3T bukan sekadar program pemerataan, melainkan lompatan strategis yang dapat menjadikan Indonesia sebagai **"Pahlawan Digital"**—pionir dalam menciptakan solusi teknologi adaptif berbasis rakyat. Setiap keberhasilan di wilayah ini akan menjadi model replikasi nasional dan mempercepat pengembangan teknologi yang relevan, terjangkau, serta kontekstual. Dengan demikian, 3T tidak hanya menjadi medan pengabdian, tetapi juga **laboratorium inovasi nasional** yang akan menentukan posisi Indonesia dalam peta teknologi global yang berdaulat.

Evaluasi dan Pemantauan Dampak Teknologi Pertahanan Siber



Evaluasi dan pemantauan dampak implementasi **teknologi pertahanan siber** di Indonesia menunjukkan kemajuan yang signifikan, namun masih dibayangi tantangan struktural dan ketergantungan teknologi asing. Data BSSN mencatat lonjakan serangan siber sebesar 22% pada 2022 dibanding tahun sebelumnya, dengan jenis ancaman seperti phishing, malware, ransomware, dan DDoS mendominasi lanskap serangan. Hingga 2024, insiden besar seperti serangan ransomware terhadap salah satu bank nasional dan kebocoran data di lembaga pemerintahan menegaskan bahwa infrastruktur siber Indonesia masih **rentan terhadap serangan canggih**. Meskipun adopsi standar seperti ISO 27001 dan UU PDP mulai meningkatkan ketahanan digital lembaga, studi terbaru mengungkapkan hanya sekitar 35% operator infrastruktur kritis yang benar-benar patuh pada standar nasional keamanan siber.

Masalah semakin kompleks karena **sekitar 70% solusi keamanan siber yang digunakan di Indonesia masih bergantung pada produk luar negeri**, sehingga berpotensi menimbulkan risiko backdoor dan ketergantungan rantai pasok. Kekurangan tenaga ahli juga menjadi sorotan kritis—dari kebutuhan 25.000 profesional bersertifikasi pada 2025, Indonesia baru memiliki sekitar 1.500 orang. Inisiatif seperti ID-SIRTII dan platform threat intelligence BSSN memang berhasil meningkatkan tingkat deteksi sebesar 15% sejak 2020, namun masih menghadapi hambatan berupa koordinasi antar lembaga yang lemah dan penegakan regulasi yang tidak merata.

Dampak ekonomi dari serangan siber yang mencapai US$3,5 miliar per tahun menambah beban anggaran, memaksa negara untuk lebih banyak mengalokasikan dana pada mitigasi insiden daripada pengembangan riset teknologi lokal. Oleh karena itu, **evaluasi dampak teknologi pertahanan siber harus dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan**, dengan menekankan pada penguatan R&D domestik, pelatihan talenta lokal, serta

pemanfaatan teknologi pemantauan yang dapat dikembangkan secara mandiri. Tanpa langkah korektif yang tegas, Indonesia berisiko tetap menjadi pengguna reaktif di tengah medan digital yang semakin agresif, bukan sebagai pemimpin dalam kedaulatan teknologi nasional.

Kesimpulan dan Rekomendasi

Untuk memperkuat pertahanan siber Indonesia menuju kedaulatan teknologi, diperlukan strategi R&D IT mandiri yang mengintegrasikan inovasi teknologi, penguatan SDM, kebijakan progresif, dan kolaborasi lintas sektor. Dengan ancaman siber yang kian kompleks—seperti kebocoran data pada Pusat Data Nasional Sementara (PDNS) 2024 yang mempengaruhi ratusan institusi dan kerugian ekonomi akibat ransomware yang diperkirakan mencapai Rp 67 triliun pada 2023 (BSSN, 2023)—Indonesia harus bertindak cepat. Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN) telah menjadi tulang punggung koordinasi nasional, sementara rencana pembentukan Angkatan Siber TNI menunjukkan komitmen strategis. Namun, kesenjangan SDM (hanya 1.500 profesional siber bersertifikasi vs kebutuhan 25.000 pada 2025), infrastruktur kritis yang rentan, dan regulasi yang belum harmonis menghambat potensi Indonesia sebagai pusat keamanan siber ASEAN.

Rekomendasi Strategis untuk Pemerintah dan Pemangku Kepentingan

1. **Pengembangan Teknologi Berbasis AI dan Open-Source**: Investasikan pada R&D teknologi AI/ML untuk deteksi ancaman siber real-time, seperti sistem Intrusion Detection berbasis deep learning, dan dorong platform open-source untuk mengurangi ketergantungan pada vendor asing. Studi kasus global menunjukkan open-source dapat memangkas biaya hingga 30% sambil meningkatkan fleksibilitas.
2. **Peningkatan Kapasitas SDM**: Luncurkan program pelatihan nasional berbasis sertifikasi internasional (seperti CISSP) dan perluas kurikulum keamanan siber di 100 universitas terkemuka, menargetkan 10.000 profesional terlatih pada 2030. Kolaborasi dengan sektor swasta, seperti Telkom dan GoTo, dapat mempercepat pembiayaan dan magang.
3. **Penguatan Infrastruktur Kritis**: Bangun pusat data nasional berstandar Tier IV dengan redundansi penuh di lima wilayah strategis, termasuk wilayah 3T, untuk ketahanan siber. Alokasikan 5% APBN untuk infrastruktur siber hingga 2030.
4. **Harmonisasi Regulasi dan Insentif**: Terbitkan Perpres untuk harmonisasi regulasi siber lintas sektor, termasuk optimalisasi spektrum 5G untuk IoT aman, dan berikan insentif pajak 20% bagi perusahaan lokal yang mengembangkan solusi siber.
5. **Kolaborasi Internasional dan Akademisi**: Jalin kemitraan dengan negara seperti Singapura dan Israel untuk transfer teknologi (misalnya, cyber range untuk simulasi serangan) dan dukung 50 proyek riset siber bersama universitas seperti UI, ITB, ITTS dengan target 10 paten siber pada 2030.
6. **Model Keberlanjutan**: Terapkan model langganan mikro untuk solusi siber bagi UMKM dan dorong CSR sektor swasta untuk mendanai pelatihan di wilayah 3T, memastikan inklusivitas ketahanan siber nasional.

Dengan implementasi terpadu, Indonesia dapat mewujudkan visinya sebagai pusat keamanan siber ASEAN pada 2035, menjadi model bagi inovasi siber yang inklusif, mandiri, dan berdaya saing global.

Visi Jangka Panjang: Indonesia sebagai Pusat Keamanan Siber ASEAN



Untuk mewujudkan visi jangka panjang sebagai **pusat keamanan siber ASEAN**, Indonesia perlu memperkuat strategi **R&D IT mandiri** melalui pengembangan teknologi berbasis **AI**, peningkatan kapasitas **SDM bersertifikasi**, penguatan **infrastruktur digital nasional**, serta **harmonisasi regulasi dan kolaborasi internasional**. Inisiatif seperti BSSN dan Angkatan Siber TNI sudah menjadi fondasi awal, namun masih dibutuhkan integrasi riset kampus-industri, insentif bagi pengembangan teknologi lokal, serta pemanfaatan wilayah **3T sebagai laboratorium inovasi** untuk membangun ketahanan siber dari akar rumput menuju kedaulatan digital kawasan.

BAB: Penutup

Dari Rakyat, Oleh Rakyat, Untuk Kedaulatan Digital

Tiga dekade lebih perjuangan Onno W. Purbo dalam membangun teknologi berbasis rakyat telah membuktikan satu hal mendasar: bahwa **kedaulatan teknologi bukanlah mitos**, melainkan visi yang bisa dicapai melalui **kreativitas, kolaborasi, dan semangat berbagi**. Dari ruang tamu sederhana yang memancarkan koneksi RT/RW-net pertama, hingga pidato-pidato strategis di forum dunia seperti WSIS, IETF, Harvard dan Yale—semua itu menjadi jejak nyata bahwa **teknologi bisa menjadi alat pembebasan**, bukan sekadar alat konsumsi.

Refleksi dari perjalanan panjang ini menunjukkan bahwa **kemandirian teknologi bukan soal memiliki pabrik canggih atau laboratorium mahal**, melainkan keberanian untuk **membangun sistem yang berpihak pada rakyat**, bahkan di tengah segala keterbatasan. Ketika frekuensi 2.4 GHz dibebaskan, ketika wajan bekas dijadikan antena, ketika ratusan guru diajari server lokal melalui workshop komunitas—semua itu bukan sekadar inovasi teknis, tetapi **gerakan strategis menuju kedaulatan digital Indonesia**.

Penting untuk ditegaskan: **buku ini bukanlah buku tentang teknologi.** Ia tidak menjelaskan cara membuat perangkat keras atau menulis kode program. **Buku ini adalah tentang strategi.** Tentang bagaimana membangun ekosistem R&D IT mandiri dengan mengandalkan kecerdasan kolektif, semangat komunitas, dan filosofi bahwa **solusi terbaik seringkali lahir dari keterbatasan**.

Visi buku ini sederhana namun strategis:

1. **Mendokumentasikan strategi dan praktik lapangan** R&D IT mandiri yang telah terbukti di Indonesia.

2. **Menginspirasi generasi inovator baru** untuk berkarya berdasarkan kebutuhan nyata masyarakat, bukan sekadar tren industri.

3. **Menyusun blueprint masa depan** yang menempatkan rakyat sebagai pusat dari transformasi digital nasional.

Di balik semua strategi yang telah dijelaskan, tersimpan **filosofi inti**: bahwa **solusi teknologi terbaik adalah yang tumbuh dari akar rumput, dipahami oleh masyarakat, dan digunakan untuk mengangkat martabat mereka sendiri.** Bukan yang tergantung pada lisensi asing, bukan yang menunggu anggaran besar, tapi yang bisa dibangun dengan keberanian dan akal sehat.

Ajakan untuk Masa Depan

Kini saatnya estafet perjuangan ini dilanjutkan. Kepada **generasi muda Indonesia**, kami ajak untuk:

- **Berinovasi bukan dari meniru, tetapi dari mendengarkan kebutuhan rakyat.**
- **Membangun teknologi yang membebaskan, bukan yang membatasi.**
- **Menggunakan keterbatasan sebagai pemicu kreativitas, bukan alasan untuk menyerah.**

Kepada **pemerintah dan sektor swasta**, buku ini menjadi ajakan strategis:

- Untuk **membuka regulasi dan anggaran** bagi teknologi komunitas, open source, dan pendidikan terbuka.
- Untuk **mendukung pusat riset berbasis kampus daerah dan komunitas digital** yang telah terbukti efektif membangun ekosistem dari bawah.

Penghargaan dan Terima Kasih

Perjalanan ini tentu tak mungkin berjalan sendiri. Penulis menyampaikan **penghargaan tertinggi** kepada:

- **Komunitas teknologi Indonesia** yang terus menjadi garda depan inovasi akar rumput.
- **Akademisi dan mahasiswa** yang menjadikan riset sebagai jalan perjuangan.
- **Mitra internasional** seperti IDRC, ISIF Asia, Internet Society, dan APNIC Foundation, yang telah mempercayai dan mendukung gerakan ini sejak awal.

Dengan ini, buku ini ditutup sebagai **catatan strategi, ajakan perjuangan, dan dokumen pembelajaran**. Semoga menjadi pijakan kuat untuk mereka yang berani mengambil jalan berbeda—jalan mandiri, jalan berbagi, jalan kedaulatan.

#KedaulatanDigital #InovasiRakyat #ITMandiriIndonesia

Referensi

- Purbo, O. W. (2016). Onno W. Purbo in English 2016. OnnoCenter. https://onnocenter.or.id/wiki/index.php/Onno_W._Purbo_in_English_2016

- Purbo, O. W. (2010, August 30). Onno W. Purbo: Opening windows for knowledge. The Jakarta Post. https://www.thejakartapost.com/news/2010/08/30/onno-w-purbo-opening-windows-knowledge.html

- Purbo, O. W. (n.d.). RT/RW-net: Penggunaan. OnnoCenter. https://onnocenter.or.id/wiki/index.php/RT/RW-net%3A_Penggunaan

- Purbo, O. W. (2022, December 2). Onno, wajan, dan kisah 'perang' melawan buta internet RI. CNN Indonesia. https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20221202161533-192-882019/onno-wajan-dan-kisah-perang-melawan-buta-internet-ri

- Purbo, O. W. (n.d.). VoIP Rakyat: Free communication for people. Academia.edu. https://www.academia.edu/5054821/VoIP_Rakyat_Free_Communication_for_People

- Purbo, O. W. (n.d.). OpenBTS (Open Source Base Transceiver Station). OnnoCenter LMS. https://lms.onnocenter.or.id/wiki/index.php/OpenBTS

- Purbo, O. W. (n.d.). Cyber-security – Keamanan jaringan. OnnoCenter LMS. https://lms.onnocenter.or.id/moodle/course/view.php?id=115

- Purbo, O. W. (n.d.). Prof Onno W Purbo - Cyber Security & Artificial. Scribd. https://id.scribd.com/document/807344474/Prof-Onno-W-Purbo

- Purbo, O. W. (2018). Internet offline solution for rural / village schools. OnnoCenter. https://lms.onnocenter.or.id/pustaka/docs/ICT4VILLAGES/Internet-OFFLINE/201812-proposed-internet-offline-ENGLISH.pdf

- Purbo, O. W. (2016). Onno W. Purbo in English 2016. OnnoCenter. https://onnocenter.or.id/wiki/index.php/Onno_W._Purbo_in_English_2016

- Purbo, O. W. (n.d.). Menegakkan kedaulatan telekomunikasi penyiaran. https://s3.ap-southeast-1.amazonaws.com/stainmadina/website/a1RqWmtROGVCOVIybWxWZnhwajNtTUt3V3FDY0tGM3VpVVBydVdIL1Qva0ZhTGJSeEJMYlpSc1M5R2RybERKL2ZVNjVMdSs4RndYeVBNYVlFcllxSHc9PQ%3D%3D-495.pdf

- Purbo, O. W. (2020, November 23). Mid 2020 Cyber Security Threat, Tips dan Proposal Strategi Mitigasi Nasional. OnnoCenter. https://onnocenter.or.id/pustaka/20201123-Mid2020-Cyber-Security-Threat-Tips-dan-Proposal-Strategi-Mitigasi-Nasional.pdf

- Nugroho, Y., & Syarief, S. S. (2012). Beyond click-activism?: New media and political processes in contemporary indonesia. Jakarta: Friedrich-Ebert-Stiftung.

Lampiran: Daftar Publikasi Onno W. Purbo

- 1998, Onno W. Purbo, Gadang Ramantoko, Khrisnahadi Pribadi, Bobby Nazief, "Kerangka Konseptual Nusantara 21", Yayasan Litbang Telekomunikasi Informatika.
- 1998, Onno W. Purbo, Ismail Fahmi, Akhmad Husni Thamrin, Adnan Basalamah, “TCP/IP: Konsep Disain dan Implementasi”, Elexmedia Komputindo.
- 1998, Onno W. Purbo, Akhmad Daniel Sembiring, "Java & Javascript", Elexmedia Komputindo.
- 2000, Onno W. Purbo, "Teknologi Warung Internet", Elexmedia Komputindo.
- 2000, Onno W. Purbo dan Akhmad Daniel Sembiring, "Linux RedHat", Elexmedia Komputindo, 2000 ISBN 9792014675
- 2000, Tabratas Tharom dan Onno W. Purbo, "Pengolahan citra mobil robot", Penerbit ITB, 2000 ISBN 979929925X
- 2000, Onno W. Purbo et.al., "Buku pintar internet membangun Web-E-Commerce", Elex Media Komputindo, 2000, ISBN 9792014020
- 2000, Onno W. Purbo, Kresno Aji, "Buku pintar internet linux untuk warung internet", Elex Media Komputindo, 2000, ISBN 9792020020
- 2000, Onno W. Purbo, Tony Wiharjito, "Buku pintar internet keamanan jaringan internet", Elex Media Komputindo, 2000, ISBN 9792014179
- 2000, Onno W. Purbo et.al., "Buku pintar internet membangun server internet dengan free BSD", Elek Media Komputindo, 2000, ISBN 979201554X
- 2001, Thabratas Tharom dan Onno W. Purbo, "VOIP: Voice over Internet Protocol", Elexmedia Komputindo.
- 2001, Onno W. Purbo dan Akhmad Daniel Sembiring, "APACHE Web Server", Elexmedia Komputindo. ISBN 9792019928
- 2001, Onno W. Purbo dan Aang Arif Wahyudi, "Mengenal ecommerce", Elex Media komputindo, 2001 ISBN 9792021485
- 2001, Onno W. Purbo et.al., "Trik pemograman java untuk jaringan dan internet", Elex Media Komputindo, 2001 ISBN 9792017186
- 2001, Onno W. Purbo, Riza Taufan, "Manajemen jaringan", Elex Media Komputindo, 2001, ISBN 9792022104
- 2001, Onno W. Purbo, Tony Wiharjito, "Keamanan jaringan internet", Elex Media Komputindo, 2001, ISBN 979-20-1417-9
- 2002, Onno W. Purbo, "Konferensi Video Melalui Internet", Penerbit Andi, 2002, ISBN 979-533-874-9
- 2002, Onno W. Purbo dan Antonius Aditya Hartanto, "Buku pintar internet teknologi e-learning berbasis PHP dan MySQL merencanakan dan mengimplementasikan sistem e-Learning", Elex Media Komputindo, 2002 ISBN 9792031782
- 2003, Onno W. Purbo, "Filosofi Naif Kehidupan Dunia Cyber", Penerbit Republika, 2003, ISBN 979-3210-08-7
- 2004, Onno W. Purbo, "Infrastruktur Wireless Internet Kecepatan 11-22Mbps", Penerbit Andi, 2003, ISBN 979-731-006-X
- 2004, Samuel Prakoso, Tomy dan Onno W. Purbo, "Panduan Praktis Menggunakan E-mail Server Qmail", Elexmedia Komputindo.
- 2004, Onno W. Purbo, "Practical Guide to Internet Telephony", International Development Research Center

- 2004, Onno W. Purbo, "Practical Guide To Build A WiFi Infrastructure", International Development Research Center
- 2005, Onno W. Purbo, "Buku Pegangan Internet Wireless dan Hotspot", Elexmedia Komputindo.
- 2005, Onno W. Purbo, "Teknik Akses e-mail Internet Murah Untuk Sekolah", Penerbit Andi, 2005, ISBN 979-731-598-3
- 2006, Onno W. Purbo, "PC Cloning Windows pakai Linux LTSP", Penerbit Andi, 2206, ISBN 979-763-085-4
- 2006, Onno W. Purbo, "Buku Pegangan Pengguna ADSL dan Speedy", Elexmedia Komputindo, ISBN 979-20-9313-3
- 2007, Onno W. Purbo, "Buku Pegangan VoIP Rakyat Cikal Bakal Telkom Rakyat", InfoKomputer, ISBN 0979382749
- 2007, Onno W. Purbo, "Panduan Praktis RT/RW-net", Infokomputer.
- 2007, Onno W. Purbo, "Akses Internet Menggunakan 3G", Elexmedia Komputindo: Jakarta, ISBN 978-979-27-1623-8
- 2008, Tahani Iqbal and Onno W. Purbo, "Geektivism" (Book Chapter), in "ICT Infrastructure in Emerging Asia: Policy and Regulatory Roadblocks", IDRC and SAGE Publication, https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/35057/IDL-35057.pdf ISBN: 978-0-7619-3673-2 (Hb) ISBN: 978-81-7829-839-9 (India-Hb)
- 2007, Onno W. Purbo, "Workshop Onno: Intel Platform Administration Technology", Penerbit Andi, 2007, ISBN 978-979-29-0158-0
- 2008, Onno W. Purbo, "Workshop Onno: Panduan Mudah Merakit Menginstal Server Linux", Penerbit Andi, 2008, ISBN 978-979-29-0296-9
- 2008, Onno W. Purbo, "Membangun Pemancar FM broadcast komunitas", Penerbit Andi, ISBN 978-979-29-0455-0
- 2008, Onno W. Purbo, "Buku Pelajaran Teknologi Informasi dan Komunikasi Kelas IX", Kementerian Negara Riset dan Teknologi.
- 2009, Onno W. Purbo, "Ayo memblok situs negatif", Penerbit Andi, 2009, ISBN 978-979-29-0562-5
- 2009, Onno W. Purbo, Protus Tanuhandaru, M. Reza Djajadikara, Nurlina Noertam, " Wireless Networking for Developing World" versi 2, terjemahan.
- 2010, Amy Kapczynski, Gaëlle Krikorian, Onno Purbo, Jo Walsh, Anil Gupta and Rick Falkvinge, Part Three: The Conceptual Terrain of A2K - Virtual Roundtable on A2K Politics, di buku Access to Knowledge in the Age of Intellectual Property http://mitpress.mit.edu/catalog/item/default.asp?ttype=2&tid=12358
- 2010, Josua Tarigan, Onno Purbo, Ridwan Sanjaya, "Business-driven information system", Elex Media Komputindo, 2010, ISBN 978-979-27-7854-0
- 2011, Onno W. Purbo, "Jaringan Wireless di Dunia Berkembang - Panduan Praktis Perencanaan dan Pembangunan Infrastruktur Komunikasi", Penerbit Andi, 2011, ISBN 978-979-29-2420-6
- 2011, Onno W. Purbo, "Petunjuk Praktis Cloud Computing Menggunakan Open Source", IT CAMP 2011.
- 2011, Onno W. Purbo, "VoIP Cookbook", ISIF https://lms.onnocenter.or.id/pustaka/docs/Internet-for-Villages/VoIP/
- 2012, Onno W. Purbo, "Membuat sendiri Cloud Computing Server menggunakan Open Source", Penerbit Andi, 2012, ISBN 978-979-29-3180-8

- 2013, Onno W. Purbo, "Jaringan MESH: Solusi Jitu Membangun Jaringan Wireless Gotong Royong Tanpa Access Point", Penerbit Andi, 2013, ISBN 978-979-29-3429-8
- 2013, Onno W. Purbo, "Bongkar Rahasia OpenBTS Untuk Jaringan Operator Seluler", Penerbit Andi, 2013, ISBN 978-979-29-3490-8
- 2015, Jordan Andrean, Onno W. Purbo, Andri Johandri, "Hacking Streaming: Jurus Sakti Membangun Server Streaming dengan Nginx-RTMP", Elexmedia, 2015, ISBN 9786020271125
- 2016, Onno W. Purbo, Raharjo, Sarujih, "IPv6 Fondasi Internet Masa Depan", Penerbit Andi, 2016, ISBN 9789792958331
- 2016, Kilnam Chon (editor), Onno W. Purbo (contrib),"An Asian Internet History", KAIST, 2016, ISBN 979-11-957169-2-0 https://sites.google.com/site/internethistoryasia/book3
- 2016, Dian Ariawal & Onno W. Purbo, "Simulasi Jaringan Komputer dengan Cisco Packet Tracer", Elexmedia, 2016, ISBN 9786020289601
- 2016, Onno W. Purbo, "Perjuangan Menyebarkan Internet Mempersempit Digital Divide", OnnoCenter, http://nulisbuku.com/books/view_book/8933/perjuangan-menyebarkan-internet-mempersempit-digital-divide, ISBN: 978-602-74434-9-5
- 2016, Onno W. Purbo, "BUKU PEGANGAN INTERNET UNTUK DESA", OnnoCenter, http://nulisbuku.com/books/view_book/8935/buku-pegangan-internet-untuk-desa
- 2016, Onno W. Purbo YC0MLC, "Komunikasi DX dengan JT65 & JT9", OnnoCenter, http://nulisbuku.com/books/view_book/9017/komunikasi-dx-dengan-jt65-jt9 ISBN 9786027484368
- 2016, Onno W. Purbo YC0MLC, "Disain Antenna Dengan MMANA", OnnoCenter, http://nulisbuku.com/books/view_book/9052/disain-antenna-dengan-mmana
- 2016, Onno W. Purbo, "TIK untuk Pendidikan", OnnoCenter, http://nulisbuku.com/books/view_book/9069/tik-untuk-pendidikan
- 2018, Onno W. Purbo, "Internet-TCP/IP: Konsep Dan Implementasi," AndiPublisher, http://andipublisher.com/produk-0418006566-internettcpip-konsep-dan-implementasi.html, 2018, ISBN 978-979-29-6193-5
- 2019, Onno W. Purbo, "Text Mining - Analisis MedSos, Kekuatan Brand & Intelejen di Internet". AndiPublisher, http://andipublisher.com/produk-0319006978-text-mining--analisis-medsos-kekuatan-br.html, 2019, ISBN 978-979-29-9518-3
- 2019, Onno W. Purbo, "Sistem Operasi, Konsep Dan Membuat Linux OpenWRT Dan ROM Android", AndiPublisher, http://andipublisher.com/produk-0319007020-sistem-operasi-konsep-dan-membuat-linux-.html, 2019, ISBN 978-979-29-9086-7
- 2019, Onno W. Purbo, "IPv6 Untuk Mendukung Operasi Jaringan Dan Domain Name System", AndiPublisher, https://andipublisher.com/produk-ipv6-untuk-mendukung-operasi-jaringan-dan-domain-name-system, 2019, ISBN 978-623-01-0287-5
- 2020, Rosyana Fitria Purnomo, Onno W. Purbo Dan RZ. Abd. Aziz, "Firebase Membangun Aplikasi Berbasis Android", AndiPublisher, https://andipublisher.com/produk-firebase-membangun-aplikasi-berbasis-android, 2020, ISBN :978-623-01-08846

- 2020, Riko Hermanto, Onno W. Purbo, RZ. Abd. Aziz, "Cloud Computing: Manajemen dan Perencanaan Kapasitas", AndiPublisher, https://andipublisher.com/produk/detail/cloud-computing-manajemen-dan-perencanaan-kapasitas, 2020,ISBN: 978-623-01-0881-5
- 2020, Onno W. Purbo, Kurnia Muludi Dan Tosy Caesar Kurniawan, "Jaringan Nirkabel 5G Berbasis Cloud", AndiPublisher, https://andipublisher.com/produk/detail/jaringan-nirkabel-5g-berbasis-cloud, 2020, ISBN: 978-623-01-0880-8
- 2021, Aris Cahyadi Risdianto, Onno W. Purbo, TEKNOLOGI VIRTUALISASI: Fondasi Utama Layanan Berbasis Cloud, Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/teknologi-virtualisasi-fondasi-utama-layanan-berbasis-cloud, 2021, ISBN: 978-623-01-1868
- 2022, Hartono, dan Onno W. Purbo, "Membangun dan Menguji Keamanan Website", AndiPublisher, https://andipublisher.com/produk/detail/membangun-dan-menguji-keamanan-website, 2022, ISBN: 978-623-01-2807-3
- 2022, Hartono & Onno W. Purbo, "Membangun dan Menguji Keamanan Website", Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/membangun-dan-menguji-keamanan-website, 2022, ISBN: 978-623-01-2807-3
- 2023, Giri Kuncoro, Aris C. Risdianto, & Onno W. Purbo, "KUBERNETES UNTUK PEMULA", Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/kubernetes-untuk-pemula, 2023, ISBN: 978-623-01-3436-4
- 2024, Sofian Lusa, Onno W. Purbo, & Tutik Lestari, "Peran e-Commerce dalam Mendukung Ekonomi Digital Indonesia", Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/peran-e-commerce-dalam-mendukung-ekonomi-digital-indonesia, 2024, ISBN:978-623-01-3898-0
- 2024, Onno W. Purbo, Jimmy Alberto, Hafizhan Irawan, Bagus Gede Arta Perdana, Aolia Ikhwanudin, Muhamad Yusuf, Agianto Syamhalim, Tubagus Toifur, Ibnu Mas'ud, Dimaz Arno Prasetio & Tubagus Asep Nurdin, "Buku Pegangan Penanganan Insiden Siber", Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/buku-pegangan-penanganan-insiden-siber, 2024, ISBN: 978-623-01-3955-0
- 2024, Onno W. Purbo, "Internet Offline : Solusi Daerah Blank Spot, Rural, dan 3T", Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/internet-offline-solusi-daerah-blank-spot-rural-dan-3t, 2024, ISBN: 978-623-01-4197-3
- 2024, Onno W. Purbo, Yopi Sopiyana, Fata Falih Hilmi, Ibnu Mas'ud, Tubagus Asep Nurdin, Syaiful Bachri,dan Jimmy Alberto, "Membuat Operator Seluler 5G Sendiri", Andi Publisher, https://andipublisher.com/produk/detail/membuat-operator-seluler-5g-sendiri, 2024, ISBN: 978-623-01-4193-5
- 2024,Onno W. Purbo, dkk, "Panduan lengkap migrasi jaringan ipv4 ke ipv6", AndiPublisher, https://andipublisher.com/produk/detail/panduan-lengkap-migrasi-jaringan-ipv4-ke-ipv6, 2024

- 2024, Onno W. Purbo, "Menjaga AI Tetap Terkendali",2024, ITTS, https://docs.google.com/document/d/1-iFLvWyJTEIIVRldYnVMIDuBi52NV36Ms-ORoQ57Ujo/edit?usp=sharing
- 2024, Onno W.Purbo, "Buku Pegangan Implementasi Artificial Intelligence, Machine Learning dan Big Data: Untuk Koperasi dan UMKM", 2024, ITTS, https://docs.google.com/document/d/1LG1X1OhRc1ycra2Zqd5uEQLIB_KQW1q4Lrx1e1vaens/edit?usp=sharing

Lampiran: Daftar Penghargaan

- 1987, Lulusan Terbaik, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.
- 1992, Masuk dalam buku "American Men and Women of Science", R.R.Bowker, New York (Amerika Serikat).
- 1994, Profil Peneliti, KOMPAS 26 Desember 1994.
- 1996, Menerima "Adhicipta Rekayasa", dari Persatuan Insinyur Indonesia.
- 1997, Menerima “ASEAN Outstanding Engineering Achievement Award”, dari ASEAN Federation of Engineering Organization (AFEO)
- 2000, Masuk dalam buku "Indonesia Abad XXI: Di Tengah Kepungan Perubahan Global", Editor Ninok Leksono, KOMPAS.
- 2000, Award for Indonesian Internet Figure, KADIN Telematika Award.
- 2002, Eisenhower Fellow, dari Eisenhower Fellowship (Amerika Serikat).
- http://125.160.17.21/speedyorari/view.php?file=library/library-onno-eng/onno-eng-1/application/ppt-lessons-learned-in-eisenhower-fellowships-11-2002.ppt
- http://125.160.17.21/speedyorari/view.php?file=library/library-onno-eng/onno-eng-1/application/onno-report-eisenhower-fellowship-11-2002.doc
- 2003, Sabbatical Award, dari International Development Research Center (IDRC) (Kanada).
- 2005, Ashoka Senior Fellow, dari Ashoka (Amerika Serikat).
- 2008, Menerima "Gadget Award Exclusive Appreciation", dari Majalah Gadget.
- 2008, Menerima "IGOS Summit 2 Award", dari MENKOMINFO "Atas Semangat dan Perjuangan menyebarluaskan pemanfaatan Open Source di Indonesia".
- 2008, Masuk dalam buku "Indonesia 100 Innovators", Business Innovation Center.
- 2008, Menerima Gelar " Pahlawan Generasi Masa Kini" dari Modernisator.
- 2009, Indigo Fellow: Digital Community Fellow, dari PT. Telekomunikasi Indonesia.
- 2009, Anugrah "TIRTO ADHI SOERJO" kategori Pelopor / Pemulai, dari [I:BOEKOE] http://indonesiabuku.com/
- 2009, Anugrah "Competency Award 2009" dari Badan Nasional Sertifikasi Profesi (BNSP).
- 2010, Anugrah "Tasrif Award" dari Aliansi Jurnalis Independen (AJI)
- 2013, "Bapak GALOW IT", dari Relawan TIK Jawa Barat & Raihan Teknologi.
- 2014, Di Tantang oleh Komunike Bersama Peduli Indonesia (KBPI) untuk menjadi Calon Presiden RI Independen.
- 2014, Medali Emas Ganesha Innovation & Championship Award, dari Ikatan Alumni Institute Teknologi Bandung (ITB).
- 2015, Penerima PIAGAM INTERNET Dalam MUNAS APJII VIII 2015.
- 2016, Penerima "Lifetime Achievement Award", dari KOMPASIANA.
- 2016, Penerima "Nugraha", dari ORGANISASI AMATIR RADIO INDONESIA (ORARI).
- 2017, Penerima "MASTEL Award" kategori Community Development, dari Masyarakat Telematika (MASTEL).
- 2020, Penerima "Postel Service Award" dari Internet Society. Postel Service Award di berikan pada mereka yang memberikan kontribusi luar biasa bagi perkembangan teknologi Internet di dunia.
- 2020, Penerima "+Jakarta Award 2020 kategori Innovasi dan Teknologi" dari jdcn.plusjakarta.com

- 2023, Penerima "ICTWATCH Internet Literacy Life Time Achivement Awards" dari ictwatch.id.

Glosarium

Istilah	Penjelasan
5G (Fifth Generation)	Generasi kelima dari teknologi jaringan seluler, menawarkan kecepatan data yang lebih tinggi, latency rendah, dan kapasitas jaringan yang lebih besar dibandingkan generasi sebelumnya.
AI3 (Asian Internet Interconnection Initiatives)	Proyek konsorsium riset internasional di Asia yang bertujuan mengembangkan teknologi internet mutakhir seperti IPv6, caching WWW, dan mekanisme komunikasi multimedia.
AIT (Asian Institute of Technology)	Institusi pendidikan tinggi internasional di Thailand yang fokus pada teknik, teknologi canggih, pembangunan berkelanjutan, serta manajemen dan perencanaan.
BAKTI (Badan Aksesibilitas Telekomunikasi dan Informasi)	Badan layanan umum di bawah Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia yang bertugas menyediakan infrastruktur dan layanan telekomunikasi serta informatika, khususnya di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T).
Brikerbox	Sistem IP PBX open-source buatan lokal untuk komunikasi VoIP
Copyleft	Lisensi terbuka yang memungkinkan modifikasi dan distribusi ulang perangkat lunak
ENUM	Electronic Number Mapping, teknologi pemetaan nomor telepon ke alamat internet
Fiber Optic (Serat Optik)	Teknologi transmisi data menggunakan cahaya melalui serat kaca atau plastik, memungkinkan kecepatan tinggi dan jarak transmisi yang jauh.
FTTH (Fiber to the Home)	Teknologi jaringan internet menggunakan kabel fiber optik hingga ke rumah pengguna
Internet Offline	Solusi pustaka digital lokal berbasis server untuk daerah tanpa akses internet.
IXP (Internet Exchange Point)	Titik pertukaran internet yang memungkinkan interkoneksi langsung antar penyedia layanan internet
Karlbridge / Karlnet	Perangkat lunak/protokol untuk mengelola jaringan nirkabel WaveLAN.
LLM (Large Language Model	Model AI berukuran besar untuk memahami dan menghasilkan bahasa alami
OpenBTS	Open-source Base Transceiver Station, memungkinkan pembangunan jaringan seluler komunitas mandiri

Packet Radio AX.25	Protokol komunikasi data berbasis radio amatir dengan kecepatan rendah (1200 bps)
PlayVoIP	Aplikasi softphone berbasis desktop untuk mengakses layanan VoIP Rakyat
RT/RW-net	Jaringan nirkabel komunitas berbasis WiFi untuk lingkungan RT/RW digunakan untuk menyediakan akses internet murah.
SIP (Session Initiation Protocol)	Protokol komunikasi suara melalui internet yang digunakan dalam VoIP Rakyat."
TNC (Terminal Node Controller)	Perangkat untuk menghubungkan radio dengan komputer dalam sistem packet radio
VoIP (Voice over Internet Protocol)	Teknologi yang memungkinkan komunikasi suara dan multimedia melalui jaringan internet, menggantikan jaringan telepon konvensional.
VoIP Merdeka	Program komunikasi suara gratis berbasis internet yang dikembangkan sebelum VoIP Rakyat
VoIP Rakyat	Layanan komunikasi suara berbasis internet untuk masyarakat umum berbasis protokol SIP
Wajanbolic	Antena WiFi buatan sendiri dari wajan dan pipa PVC digunakan untuk memperluas jangkauan sinyal internet
WARNET (Warung Internet)	Tempat usaha yang menyediakan layanan akses internet kepada publik, biasanya dengan tarif per jam atau paket waktu tertentu.
WaveLAN	Teknologi WiFi awal pada frekuensi 2.4 GHz yang digunakan dalam eksperimen jaringan nirkabel
Wi-Fi (Wireless Fidelity)	Teknologi jaringan nirkabel yang memungkinkan perangkat seperti komputer, ponsel pintar, dan perangkat lainnya terhubung ke internet tanpa kabel fisik, menggunakan protokol IEEE 802.11.
XecureIT	Perusahaan keamanan siber

ITGID, **UI, ITB, dan ITTS**, **ID-SIRTII**

.

Tentang Penulis



Onno W. Purbo, saat ini bertugas sebagai Rektor di Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS). Onno memperoleh gelar Ph.D bidang Electrical Engineering dari University of Waterloo, Canada, adalah seorang copyleft, educator dan ICT evangelist. Dia sudah mempublikasikan 50++ buku, termasuk free ICT ebook untuk sekolah tahun 2008. Beberapa buku terakhirnya adalah "Internet-TCP/IP: Konsep Dan Implementasi", 2018; "Sistem Operasi, Konsep Dan Membuat Linux OpenWRT Dan ROM Android", 2019; "IPv6 Untuk Mendukung Operasi Jaringan Dan Domain Name System", 2019; "Kubernetes untuk Pemula", 2024 dan "Membuat Operator Seluler 5G Sendiri", 2024. Dia memimpin sambungan pertama Internet di Institut Teknologi Bandung, tahun 1993-2000, dan menggunakannya untuk membuat jaringan Internet pendidikan yang pertama di Indonesia. Dia membebaskan frekuensi WiFi, memperkenalkan RT/RW-net, antenna Wajanbolic dan jaringan selular OpenBTS dan private 5G sendiri. Dia memimpin jaringan telepon pertama di atas Internet, VoIP Merdeka, yang kemudian hari dikenal sebagai VoIP Rakyat berbasis SIP dan menggunakan kode area +62520 dan +62521. Dia saat ini aktif memperkenalkan e-Learning, dan menjalankan server e-Learning di http://lms.onnocenter.or.id/moodle/ 65,000++ siswa / mahasiswa dan https://opencourse.itts.ac.id 32.000+ mahasiswa secara gratis. Email: onno@indo.net.id