Smart Digital Energy: Inovasi Teknologi Open Source untuk Pencapaian Target Produksi Migas

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

Institut Teknologi Tangerang Selatan (ITTS)
2025

Daftar Isi

Daftar Isi **2**
Kata Pengantar **4**
Disclaimer **5**
Pendahuluan **6**
Latar Belakang: Tantangan Produksi Migas dan Urgensi Transformasi Digital 6
Tujuan Buku 6
Ruang Lingkup 7
Manfaat Open Source 7
BAB: Kemandirian Teknologi dan Kedaulatan Data di Industri Migas **8**
Kemandirian Teknologi: Mengurangi Ketergantungan dan Mendorong Inovasi 8
Kedaulatan Data: Melindungi Aset Strategis Nasional 8
Tantangan Ketergantungan pada Teknologi Asing 9
Peran Open Source dalam Mencapai Kemandirian dan Kedaulatan 9
BAB: Strategi Penguasaan Teknologi AI/ML Berbasis Open Source 12
Kewajiban Penggunaan Open Source dalam SPBE dan Potensi Pelanggaran 12
Fondasi Transformasi: Pengenalan AI/ML Open Source 13
Keunggulan Open Source: Pilar Kemandirian Teknologi 13
Aplikasi AI/ML di Industri Migas: Mewujudkan Potensi 14
Strategi Penguasaan Teknologi: Roadmap Adopsi Berkelanjutan 14
BAB: Strategi Pengembangan SDM untuk Inovasi Digital 18
Kebutuhan SDM Digital di Sektor Migas 18
Strategi Pengembangan SDM 19
Pelatihan dan Upskilling Berbasis Open Source 19
Kurikulum Akademik yang Berorientasi Migas 20
Program Magang dan Sertifikasi 20
Peran Perguruan Tinggi: Katalis Inovasi dan Pembentuk Talenta 20
Pendekatan Hemat Biaya Berbasis Open Source 21
BAB: Pemanfaatan Private Cloud, Edge Cloud, GPU Cloud dan LLM untuk Kedaulatan Data 23
Private Cloud: Fondasi Kedaulatan dan Keamanan Data Migas 23
Edge Cloud: Komputasi Real-time di Lapangan Migas 24
GPU Server dan Data Center: Otak di Balik Inovasi Migas 25
Peran Large Language Models (LLM) di Private Cloud 26
Sinergi Private Cloud dan Edge Cloud untuk Efisiensi Optimal 27
BAB: Membangun Ekosistem Kolaboratif 29
Pemangku Kepentingan dan Peran Kunci 29
SKK Migas: Regulator, Fasilitator, dan Pengawas Adopsi Teknologi 29
KKKS: Pengguna Teknologi dan Pelopor Implementasi di Lapangan 29
Pemerintah: Kebijakan Pendukung dan Infrastruktur Digital 29
Perguruan Tinggi: Riset, Pelatihan SDM, dan Pengembangan Solusi 30
Model Kolaborasi: Membangun Sinergi untuk Inovasi Migas 30
Pola Informal: Membangun Kepercayaan Melalui Interaksi Personal 30

Forum Koordinasi Lintas Sektoral: Menyelaraskan Visi dan Strategi.....30
Komunitas Open Source Lokal: Wadah Berbagi Pengetahuan dan Pengembangan Bersama.....31
Program Percontohan Bersama: Menguji Solusi dengan Cepat dan Efisien.....31
Fokus Efisiensi: Solusi Berbiaya Rendah dan Hasil Cepat.....31
BAB: Strategi Implementasi Teknologi dan SDM.....33
Roadmap Adopsi Teknologi: Empat Tahap Menuju Optimalisasi Produksi.....33
Tahap 1: Identifikasi Kebutuhan dan Pemetaan Kompetensi SDM.....33
Tahap 2: Uji Coba Solusi Open Source di Proyek Kecil.....34
Tahap 3: Skalabilitas ke Operasi Lapangan dengan Pelatihan SDM Intensif.....34
Tahap 4: Evaluasi dan Perbaikan Berkelanjutan.....34
Strategi Pengembangan SDM: Membangun Kapabilitas dan Budaya Inovasi.....35
Pelatihan Berbasis Open Source untuk Operator dan Teknisi.....35
Pengembangan Komunitas Internal untuk Berbagi Praktik Terbaik.....35
Kolaborasi dengan Perguruan Tinggi untuk Talenta Baru.....36
Manajemen Perubahan: Kunci Keberhasilan Adopsi.....36
BAB: Kebijakan Pendukung dan Regulasi.....38
Kebijakan SKK Migas.....38
Insentif untuk Penggunaan Open Source dan Cloud Lokal.....38
Standar Interoperabilitas dan Keamanan Data.....39
Kebijakan untuk Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS).....40
Alokasi Sumber Daya untuk Pelatihan SDM dan Proyek Percontohan.....40
Pedoman Adopsi Teknologi Berbasis Efisiensi Biaya.....40
Kebijakan Pemerintah.....41
Regulasi Kedaulatan Data dan Dukungan Cloud Lokal.....41
Insentif Fiskal untuk Pelatihan SDM dan Riset Teknologi.....41
Kerangka Akademik.....42
Kurikulum Berbasis Kebutuhan Industri Migas.....42
Publikasi Riset Open Source yang Mudah Diakses.....42
Penutup: Merajut Kemandirian Migas dengan Inovasi Open Source.....44
Strategi SDM dan Penguasaan Teknologi Open Source sebagai Kunci Kemandirian Migas.....44
Visi Masa Depan: Indonesia sebagai Pemimpin Inovasi Teknologi Migas Berbasis Open Source.....45
Ajakan Kolaborasi: Sinergi Lintas Sektor untuk Implementasi yang Berkelanjutan.....45
Referensi.....47
Glosarium.....50
Tentang Penulis.....55

Kata Pengantar

Puji dan syukur kita panjatkan karena di tengah dinamika tantangan industri migas nasional—mulai dari menipisnya cadangan hingga ketergantungan pada teknologi berpemilik—lahirlah sebuah karya yang tegas menyuarakan solusi: **Inovasi Teknologi Digital Berbasis Open Source dalam Mendukung Pencapaian Target Produksi Migas**. Buku ini bukan sekadar kumpulan teori, melainkan panduan strategis yang menyeluruh—dari kedaulatan data, kecerdasan buatan, hingga ekosistem kolaboratif—untuk meneguhkan kemandirian dan daya saing Indonesia di panggung global.

Di setiap bab, Anda akan menemukan kerangka akademik yang membumikan kebutuhan industri migas, strategi penguasaan AI/ML yang terukur, serta peta jalan implementasi teknologi—semua dilengkapi contoh riil dan best practice. Lebih dari itu, buku ini menegaskan bahwa open source bukan pilihan alternatif, melainkan nadi inovasi: memotong biaya hingga lebih dari 50 %, mempercepat riset, dan membangun komunitas SDM yang gesit serta kreatif.

Tak kalah penting, bab kebijakan dan regulasi menghadirkan rekomendasi konkret bagi SKK Migas, KKKS, dan pembuat kebijakan untuk menciptakan insentif fiskal, standar interoperabilitas, dan dukungan cloud lokal yang inklusif. Dengan tata kelola yang tepat, target 1 juta barel minyak per hari dan 12 miliar kaki kubik gas per hari pada 2030 bukan lagi mimpi, melainkan tugas yang dapat diwujudkan bersama.

Kepada para pemangku kepentingan—industri, akademisi, dan pemerhati energi—kami mengajak Anda membaca, berdialog, dan berkolaborasi. Mari jadikan buku ini titik tolak transformasi digital migas Indonesia: efisien, terbuka, dan berdaulat. Selamat menyelami bab demi babnya, dan bersiaplah mengubah tantangan menjadi peluang emas bagi masa depan migas tanah air.

Jakarta, Juni 2025
Onno W. Purbo

Disclaimer

Buku ini telah disusun semaksimal mungkin dengan mengacu pada referensi terbaru. Meskipun demikian, kami menyadari adanya potensi ketidakakuratan atau ketidakmutakhiran data, terutama karena buku ini disiapkan sebagai materi *talkshow* SKK Migas, bukan proyek riset formal. Kami telah berupaya keras memverifikasi setiap informasi dan narasi demi relevansi dan objektivitas. Perlu kami sampaikan bahwa proses penulisan ini juga melibatkan platform AI seperti ChatGPT, Grok, dan Gemini. **Karena AI memiliki kecenderungan 'berhalusinasi' informasi, pembaca diharapkan untuk tidak langsung menerima semua isi buku ini** dan melakukan verifikasi independen jika diperlukan.

Pendahuluan

Latar Belakang: Tantangan Produksi Migas dan Urgensi Transformasi Digital

Industri minyak dan gas (migas) Indonesia, pilar utama perekonomian nasional, menghadapi tantangan kritis dalam mencapai target produksi. Pada 2024, produksi migas rata-rata mencapai 1,79 juta barel setara minyak per hari (BOEPD), dengan minyak 580.224 barel per hari (BOPD) dan gas 1,206 juta BOEPD, namun lifting akumulasi hanya 1,6064 juta BOEPD—di bawah target APBN sebesar 635 ribu BOPD untuk minyak dan 1,033 juta BOEPD untuk gas. Penurunan alami produksi lapangan mature lebih dari 10% per tahun, biaya operasional yang tinggi, infrastruktur menua, dan ketergantungan pada teknologi impor memperparah situasi. Ditambah tekanan global seperti fluktuasi harga minyak dan transisi energi, efisiensi operasional menjadi semakin krusial.

Transformasi digital kini menjadi kebutuhan mendesak untuk mengatasi tantangan ini. Teknologi seperti kecerdasan buatan (AI), pembelajaran mesin (ML), big data, Internet of Things (IoT), dan komputasi awan dapat merevolusi pengelolaan data, prediksi kegagalan pertoolan, dan optimasi produksi. SKK Migas telah meluncurkan Integrated Operation Center (IOC) dengan fitur seperti Well Performance Monitoring (WPM) dan Early Warning System (EWS), yang memungkinkan pemantauan real-time dan perawatan prediktif. Namun, adopsi teknologi sering terhambat oleh biaya tinggi, fragmentasi data, dan keterbatasan SDM. Ketergantungan pada solusi proprietary juga menimbulkan risiko terhadap kedaulatan data, terutama data geologi dan produksi yang strategis. Solusi berbasis **open source** muncul sebagai alternatif untuk mengurangi biaya, meningkatkan fleksibilitas, dan memperkuat kemandirian teknologi, sejalan dengan visi Indonesia Emas 2045 yang menekankan ekonomi digital yang tangguh.

Tujuan Buku

Buku ini bertujuan menyusun strategi pemanfaatan teknologi digital berbasis open source untuk mendukung target produksi migas Indonesia secara mandiri, efisien, dan berkelanjutan. Fokus utama meliputi:

1. **Kemandirian Teknologi**: Mengurangi ketergantungan pada vendor proprietary melalui solusi open source yang memungkinkan kustomisasi sesuai kebutuhan lokal dan inovasi in-house.
2. **Kedaulatan Data**: Menjamin kontrol penuh atas data migas dengan infrastruktur cloud lokal atau hybrid, sesuai regulasi data residency, untuk melindungi aset strategis nasional.
3. **Efisiensi Operasional**: Mengintegrasikan AI/ML dan otomatisasi untuk memprediksi kinerja reservoir, mengoptimalkan pemeliharaan, dan meningkatkan produksi dengan biaya lebih rendah.

Ruang Lingkup

Buku ini mencakup tiga pilar strategis untuk transformasi digital di industri migas:

1. **Pengembangan SDM**
   Mengatasi keterbatasan tenaga ahli digital melalui pelatihan berbasis open source (misalnya, Linux, TensorFlow, Kubernetes) dan inisiatif seperti IOC Digital Hackathon, yang telah menghasilkan solusi prediktif bernilai Rp1,28 triliun. Kolaborasi dengan universitas dan pusat riset seperti AI di berbagai kampus akan mempercepat pembentukan talenta digital.
2. **Penguasaan Teknologi AI/ML dan Cloud Lokal**
   Pemanfaatan AI/ML open source (TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn) untuk analisis seismik, predictive maintenance, dan optimasi produksi. Infrastruktur cloud lokal, dapat menggunakan Ubuntu seperti OpenStack atau LXD, memastikan latensi rendah, kepatuhan regulasi, dan keamanan data.
3. **Kolaborasi Ekosistem**
   Membangun kemitraan antara pemerintah, SKK Migas, KKKS, akademisi, dan komunitas open source untuk mempercepat inovasi. Inisiatif seperti IOG e-Commerce, yang mengintegrasikan 30 vendor dan 1.400 produk, menunjukkan potensi digitalisasi rantai suplai.

Manfaat Open Source

Pemanfaatan teknologi open source menawarkan keunggulan strategis bagi industri migas:

1. **Hemat Biaya**
   Mengurangi Total Cost of Ownership (TCO) hingga 60% dengan menghilangkan biaya lisensi, memungkinkan alokasi anggaran untuk inovasi dan pengembangan SDM.
2. **Fleksibilitas dan Kustomisasi**
   Kode terbuka memungkinkan adaptasi solusi untuk kebutuhan spesifik, seperti integrasi SCADA atau analitik real-time, tanpa terikat vendor lock-in.
3. **Kedaulatan Teknologi dan Data**
   Infrastruktur lokal atau hybrid cloud memastikan data migas tersimpan di Indonesia, meminimalkan risiko kebocoran dan mematuhi regulasi.
4. **Inovasi Berkelanjutan**
   Komunitas open source global, dengan 27% perusahaan besar memanfaatkan tool seperti Keras dan Spark ML, mempercepat adopsi teknologi terbaru dan mendukung kolaborasi.

Dengan pendekatan berbasis open source, industri migas Indonesia dapat mengatasi tantangan produksi, mempercepat transformasi digital, dan memperkuat posisi strategis menuju kemandirian teknologi dan ketahanan energi nasional. Buku ini menjadi panduan praktis bagi pemangku kepentingan untuk mewujudkan visi tersebut secara efisien dan berkelanjutan.

BAB: Kemandirian Teknologi dan Kedaulatan Data di Industri Migas

Sektor minyak dan gas (migas) adalah tulang punggung ekonomi Indonesia. Namun, industri ini menghadapi tantangan besar, termasuk fluktuasi harga komoditas dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi operasional. Di tengah tantangan ini, **kemandirian teknologi** dan **kedaulatan data** menjadi sangat penting, terutama untuk mengurangi ketergantungan pada solusi asing yang mahal dan berisiko.

Kemandirian Teknologi: Mengurangi Ketergantungan dan Mendorong Inovasi

Kemandirian teknologi adalah kemampuan Indonesia untuk mengembangkan, mengadopsi, dan mengelola teknologi migasnya sendiri tanpa terlalu bergantung pada pihak asing atau solusi *proprietary* (hak milik). Ini berarti menjadi produsen dan inovator teknologi, bukan hanya konsumen.

Ketergantungan pada teknologi *proprietary*, terutama untuk sistem-sistem vital seperti kontrol industri dan pengawasan sumur, memiliki risiko signifikan:

- **Stabilitas Operasional dan Keamanan Pasokan**: Jika vendor menghentikan dukungan atau menaikkan biaya, operasional migas bisa terganggu.
- **Biaya Jangka Panjang**: Meskipun investasi awal untuk teknologi mandiri atau *open source* mungkin tampak besar, **Total Cost of Ownership (TCO)** jangka panjang akan jauh lebih rendah dibandingkan lisensi berulang, biaya pemeliharaan, dan *upgrade* mahal dari solusi *proprietary*.
- **Adaptasi dan Inovasi**: Teknologi *proprietary* seringkali kaku dan sulit disesuaikan dengan kebutuhan spesifik industri migas Indonesia. Kemandirian teknologi justru memungkinkan pengembangan solusi yang disesuaikan dengan karakteristik geologi dan tantangan operasional lokal, mendorong **inovasi lebih cepat**.

Kedaulatan Data: Melindungi Aset Strategis Nasional

Kedaulatan data berarti data migas Indonesia (seperti data eksplorasi, produksi, cadangan, geologi, dan operasional) sepenuhnya berada di bawah kendali dan yurisdiksi Indonesia. Data ini adalah **aset strategis yang tak ternilai**, penting untuk pengambilan keputusan yang tepat guna meningkatkan produksi dan memastikan keberlanjutan industri.

Ancaman terhadap kedaulatan data meliputi:

- **Risiko Kehilangan atau Penyalahgunaan Data**: Data yang disimpan di luar negeri atau dikelola pihak ketiga berisiko lebih tinggi untuk diakses, dicuri, atau dimanipulasi tanpa izin.

- **Implikasi Geopolitik dan Ekonomi**: Kontrol atas data migas dapat memberikan keuntungan strategis. Jika data penting dikuasai entitas asing, posisi negosiasi Indonesia dalam kontrak migas bisa melemah.

Pemerintah Indonesia, melalui **Government Regulation No. 71/2019**, mewajibkan penyimpanan data strategis di wilayah Indonesia. Kebijakan ini menegaskan posisi data migas sebagai aset nasional dan bertujuan untuk melindungi data dari pengawasan asing serta memastikan kepatuhan terhadap peraturan nasional.

Tantangan Ketergantungan pada Teknologi Asing

Ketergantungan pada teknologi asing, meskipun praktis, membawa sejumlah tantangan:

- **Biaya Tinggi dan Tidak Berkelanjutan**: Lisensi perangkat lunak *proprietary* di sektor migas bisa mencapai jutaan dolar per tahun, belum termasuk biaya *upgrade* dan dukungan khusus.
- **Risiko Keamanan Siber**: Ketergantungan pada satu vendor menciptakan ***single point of failure***; kerentanan pada satu platform dapat mengganggu produksi skala besar. Ada juga risiko "pintu belakang" (*backdoor*) atau kerentanan tak dikenal yang dapat dieksploitasi oleh aktor jahat atau negara asal vendor.
- **Kurangnya Kustomisasi dan Fleksibilitas**: Teknologi asing seringkali bersifat "satu ukuran untuk semua" dan mungkin tidak sesuai dengan kebutuhan spesifik industri migas Indonesia, menghambat inovasi dan efisiensi.
- ***Vendor Lock-in***: Ketergantungan mendalam pada vendor asing dapat menyebabkan ***vendor lock-in***, dimana transisi ke solusi lain sangat mahal dan kompleks, menghambat pengembangan ekosistem inovasi teknologi lokal.

Peran Open Source dalam Mencapai Kemandirian dan Kedaulatan

Teknologi *open source* menawarkan solusi strategis untuk mencapai kemandirian teknologi dan kedaulatan data di industri migas:

- **Efisiensi Biaya Signifikan**: Dengan lisensi nol, *open source* memangkas **biaya lisensi hingga 100%**, memungkinkan alokasi anggaran untuk riset, pengembangan fitur khusus, atau pelatihan sumber daya manusia.
- **Transparansi dan Keamanan yang Lebih Baik**: source code terbuka memungkinkan para ahli meninjau dan memverifikasi keamanan perangkat lunak, mengurangi risiko "pintu belakang" dan kerentanan yang tidak terdeteksi. Komunitas *open source* yang luas juga mempercepat penemuan dan perbaikan *bug*.
- **Kustomisasi dan Fleksibilitas Tanpa Batas**: *Open source* memungkinkan kustomisasi total, seperti memodifikasi kode atau menambahkan fitur baru, sesuai kebutuhan spesifik industri migas Indonesia. Contohnya, **OpenSCADA** untuk kontrol sumur dan *plant*, atau **OSDU® Data Platform** untuk standarisasi format data *subsurface* dan interoperabilitas.
- **Peningkatan Kapasitas SDM dan Inovasi Lokal**: Adopsi *open source* mendorong pengembangan keahlian internal. Insinyur dan pengembang lokal dapat belajar,

memodifikasi, dan berkontribusi pada proyek *open source*, membangun ekosistem inovasi, serta mengurangi ketergantungan pada keahlian asing.
- **Mendukung Kedaulatan Data**: Dengan *open source*, industri migas dapat membangun dan mengelola infrastruktur data sendiri di dalam negeri, menghilangkan ketergantungan pada penyimpanan data di luar negeri atau layanan *cloud* asing.

Kesimpulan

Kemandirian teknologi dan kedaulatan data adalah **keharusan strategis** bagi industri migas Indonesia. Ketergantungan berlebihan pada teknologi *proprietary* dan penyedia asing tidak hanya membebani keuangan, tetapi juga menimbulkan risiko keamanan dan menghambat inovasi lokal. ***Open source***, dengan sifatnya yang efisien, transparan, fleksibel, dan mendukung pengembangan sumber daya manusia, menawarkan jalur menjanjikan untuk mencapai kemandirian ini.

Dengan investasi tepat pada infrastruktur, sumber daya manusia, dan kebijakan yang mendukung, Indonesia dapat memanfaatkan inovasi teknologi digital berbasis *open source* untuk mengamankan aset strategisnya, meningkatkan efisiensi operasional, dan pada akhirnya, mencapai target produksi migas berkelanjutan demi kepentingan nasional.

Berikut ringkasan:

Topik	Ringkasan
Kemandirian Teknologi	● Kemampuan mengembangkan, mengadopsi, dan mengelola teknologi migas lokal tanpa tergantung pada solusi proprietary. ● Manfaat: Total Cost of Ownership (TCO) lebih rendah, fleksibilitas kustomisasi sesuai kondisi lokal, dan akselerasi inovasi.
Kedaulatan Data	● Data eksplorasi, produksi, cadangan, geologi, dan operasional sepenuhnya berada di bawah kendali Indonesia. ● Melindungi dari risiko penyalahgunaan/kehilangan data di luar negeri dan memperkuat posisi negosiasi nasional. ● Diamanatkan oleh PP No. 71/2019.
Tantangan Ketergantungan Teknologi Asing	● Biaya lisensi perangkat lunak proprietary sangat tinggi dan tidak berkelanjutan. ● Risiko keamanan siber (single point of failure, backdoor). ● Kurang kustomisasi, “one-size-fits-all” tidak cocok untuk karakteristik migas Indonesia. ● Vendor lock-in menghambat ekosistem lokal.
Peran Open Source	● Efisiensi biaya: tanpa lisensi, alokasi anggaran untuk R&D dan SDM. ● Transparansi & keamanan: kode terbuka memudahkan audit dan perbaikan bug. ● Kustomisasi total: modifikasi fitur sesuai kebutuhan migas lokal (e.g. OpenSCADA, OSDU®). ● Mendorong kapasitas SDM dan infrastruktur data mandiri.
Kesimpulan	Investasi terarah pada infrastruktur, pengembangan SDM, dan kebijakan pro–open source akan mengamankan aset strategis, meningkatkan efisiensi operasional, serta mewujudkan target produksi migas berkelanjutan demi kepentingan nasional.

BAB: Strategi Penguasaan Teknologi AI/ML Berbasis *Open Source*

Sektor migas global, termasuk Indonesia, menghadapi tekanan besar seperti fluktuasi harga, cadangan yang makin sulit dijangkau, dan tuntutan efisiensi tinggi. Dalam situasi ini, **inovasi digital, khususnya Artificial Intelligence (AI) dan Machine Learning (ML), menjadi kunci daya saing dan pencapaian target produksi.** Namun, solusi AI/ML berbayar sering terkendala **biaya lisensi tinggi dan kustomisasi yang terbatas**. Di sinilah **teknologi AI/ML *open source* menawarkan alternatif menarik** untuk penguasaan teknologi yang lebih mandiri dan berkelanjutan.

Kewajiban Penggunaan Open Source dalam SPBE dan Potensi Pelanggaran

Pemerintah Indonesia secara tegas mengatur penggunaan *open source* melalui **PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 95 TAHUN 2018 TENTANG SISTEM PEMERINTAHAN BERBASIS ELEKTRONIK (SPBE)**. Peraturan ini mewajibkan penggunaan aplikasi *open source* dan penyimpanan source code di repository SPBE.

- **Pasal 35 Ayat (1)**: **Pembangunan dan pengembangan Aplikasi SPBE wajib mengutamakan penggunaan source code terbuka**.
- **Pasal 35 Ayat (2)**: Jika pengembangan Aplikasi SPBE menggunakan source code tertutup, Instansi Pusat dan Pemerintah Daerah **harus mendapatkan pertimbangan dari Menteri Komunikasi dan Informatika (Menkomdigi)**.
- **Pasal 38 Ayat (1) & (2)**: Aplikasi Umum dan source codenya **wajib didaftarkan dan disimpan pada repositori Aplikasi SPBE yang dikelola Menkomdigi**.

Bagi entitas seperti SKK Migas yang perlu terintegrasi dengan Jaringan Pemerintah, **kepatuhan terhadap regulasi ini sangat penting.**

Risiko Pelanggaran SPBE dengan Perangkat Lunak *Proprietary*

Penggunaan *software proprietary* dapat mengakibatkan pelanggaran terhadap peraturan SPBE:

- **Melanggar Pasal 35 Ayat (1)**: Apabila pembangunan Aplikasi SPBE tidak memprioritaskan source code terbuka.
- **Melanggar Prosedur Pasal 35 Ayat (2)**: Jika sistem tertutup tetap digunakan tanpa adanya pertimbangan resmi dari Menkomdigi.
- **Mengabaikan Pasal 38 Ayat (1) & (2)**: Apabila aplikasi dan source codenya tidak didaftarkan atau disimpan di repository SPBE, atau repository tersebut tidak dikelola oleh Menkomdigi.

Fondasi Transformasi: Pengenalan AI/ML Open Source

Teknologi AI/ML *open source* adalah perangkat lunak, *framework*, dan pustaka yang **source codenya tersedia publik**, memungkinkan siapa saja untuk menggunakan, memodifikasi, dan mendistribusikannya. Dalam industri migas, *tool-tool* ini menjadi tulang punggung untuk berbagai aplikasi krusial:

- **TensorFlow**: Dikembangkan Google dan dirilis pada November 2015, *framework* ML *open source* ini populer untuk membangun model *deep learning* skala besar. Dalam optimasi produksi migas, TensorFlow dapat **memprediksi kurva penurunan produksi sumur, mengidentifikasi anomali data sensor untuk *predictive maintenance*, dan mengoptimalkan injeksi air atau gas untuk *Enhanced Oil Recovery (EOR)***.
- **PyTorch**: Diluncurkan Meta AI pada 2016, pustaka *deep learning* berbasis Python ini dikenal karena fleksibilitas dan kemudahannya. Ideal untuk pengembangan model pengenalan pola dalam citra seismik guna mengidentifikasi struktur geologi potensial, atau membangun sistem klasifikasi batuan dari data *logging* sumur.
- **Apache Spark**: Mesin *unified analytics open source* (diperkenalkan 2010, kini versi 4.0.0) ini esensial untuk pemrosesan data besar di industri migas. Spark menyediakan API DataFrame dan MLlib untuk *pipeline machine learning* terdistribusi yang efisien, mendukung analisis *big data* dari sensor sumur, data pengeboran, dan informasi geofisika. Mampu melakukan pemrosesan *batch* dan *stream* secara efisien, alat ini tak tergantikan untuk **analisis korelasi antara parameter pengeboran dengan laju penetrasi (ROP) atau deteksi *kick* secara *real-time***.

Keunggulan Open Source: Pilar Kemandirian Teknologi

Adopsi AI/ML *open source* menawarkan sejumlah keunggulan fundamental bagi industri migas:

- **Biaya Lisensi Rendah (atau Nol)**: Ini adalah keunggulan paling nyata. Dengan menghilangkan biaya lisensi yang seringkali sangat tinggi, perusahaan migas dapat **mengalokasikan anggaran untuk investasi lain** seperti pengembangan SDM dan infrastruktur komputasi. Ini memungkinkan perusahaan, terutama BUMN atau swasta skala menengah, untuk bereksperimen dan menguji berbagai pendekatan AI/ML tanpa risiko finansial besar.
- **Fleksibilitas dan Kustomisasi Tinggi**: source code yang terbuka memungkinkan pengembang internal untuk **memodifikasi dan mengadaptasi *framework*** AI/ML *open source* sesuai kebutuhan spesifik industri migas. Solusi dapat disesuaikan secara presisi dengan karakteristik reservoir, jenis batuan, atau sistem operasional, serta memfasilitasi integrasi mulus dengan sistem *legacy*.
- **Dukungan Komunitas Global**: Setiap *framework open source* yang sukses didukung oleh **komunitas pengembang dan pengguna yang besar dan aktif**. Komunitas ini menyediakan forum diskusi, tutorial, dokumentasi, dan kontribusi kode, memberikan akses ke basis pengetahuan yang luas, pemecahan masalah yang cepat, dan pembelajaran dari praktik terbaik global. Kolaborasi ini juga mempercepat pengembangan fitur baru dan pembaruan keamanan.

Aplikasi AI/ML di Industri Migas: Mewujudkan Potensi

Potensi AI/ML berbasis *open source* di industri migas mencakup seluruh rantai operasional, dari hulu hingga hilir:



- **Optimasi Produksi dan Eksplorasi**: AI/ML *open source* diaplikasikan dalam analisis data geofisika dan geologi untuk deteksi reservoir dan karakterisasi bawah permukaan. Contohnya, *pipeline* ML pada Apache Spark dapat memproses data seismik berskala *terabyte* secara paralel. *Framework* seperti OpendTect mendukung interpretasi seismik 2D, 3D, dan 4D dengan *plugin open source*, memfasilitasi otomasi *horizon tracking* dan *fault interpretation* secara cepat. Selain itu, *framework* seperti SeisBench menyediakan *toolkit* untuk menjalankan model *deep learning* pada data seismik.
- ***Predictive Maintenance***: AI/ML *open source* digunakan untuk **memprediksi kegagalan peralatan** dengan algoritma TensorFlow atau PyTorch, yang **dapat mengurangi *downtime* tak terencana hingga 50%**. Sebagai contoh, sebuah perusahaan migas besar mengelola lebih dari **3 juta sensor yang menghasilkan 20 miliar data poin per minggu**, menganalisisnya menggunakan *pipeline* ML berbasis *open source* untuk memprediksi kebutuhan perawatan dan memonitor kondisi peralatan secara *real-time*.

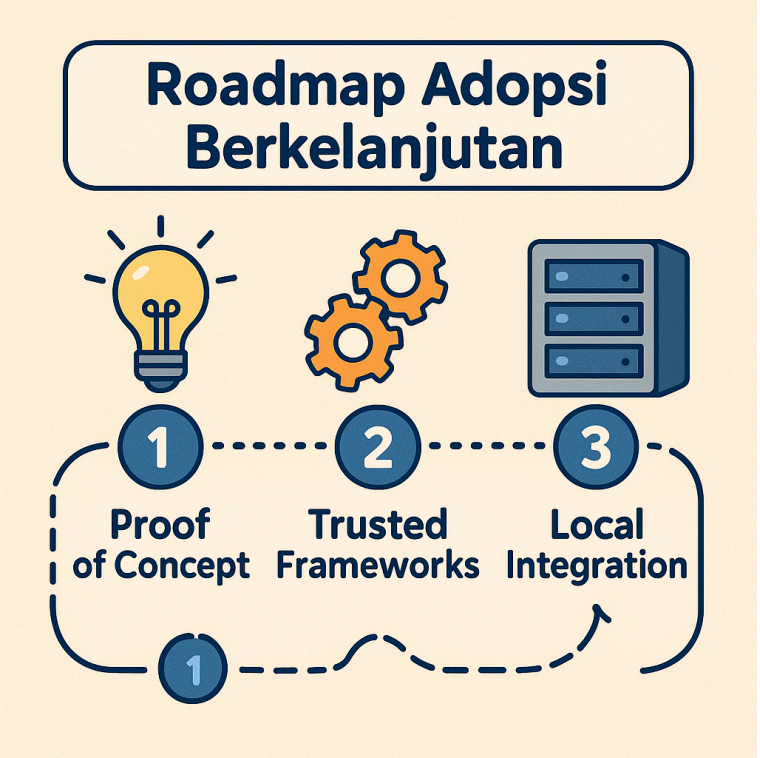
Strategi Penguasaan Teknologi: Roadmap Adopsi Berkelanjutan

Untuk menguasai teknologi AI/ML berbasis *open source* secara efektif, perusahaan migas perlu menerapkan strategi yang terencana dan bertahap:

1. **Adopsi Bertahap melalui Proyek Percontohan (PoC):**
    - **Mulai dari Skala Kecil**: Hindari upaya *big bang*. Identifikasi area masalah spesifik yang berdampak, namun relatif kecil, di mana AI/ML dapat memberikan nilai jelas (misalnya, prediksi kerusakan pompa di satu lokasi sumur).
    - **Fokus pada Nilai Bisnis**: Setiap PoC harus memiliki **metrik keberhasilan yang jelas dan terukur**, terkait langsung dengan nilai bisnis (misalnya, pengurangan biaya, peningkatan efisiensi, atau akurasi prediksi).
    - **Tim Multidisiplin**: Bentuk tim PoC yang terdiri dari data scientist, insinyur migas, dan ahli IT untuk kolaborasi komprehensif.

- **Belajar dan Iterasi:** Gunakan hasil PoC untuk belajar, mengidentifikasi kekurangan, dan mengulang proses. Keberhasilan PoC akan menjadi bukti nyata nilai AI/ML open source dan membangun momentum adopsi yang lebih luas.

2. **Pemanfaatan Framework Open Source yang Sudah Teruji:**
   - **Pilih yang Matang dan Didukung Komunitas**: Fokus pada *framework* seperti **TensorFlow, PyTorch, dan Apache Spark** yang telah teruji dalam skala besar, memiliki dokumentasi komprehensif, dan didukung komunitas pengembang aktif. Ini mengurangi resiko teknis dan memastikan ketersediaan sumber daya.
   - **Prioritaskan Kestabilan dan Kinerja**: Pastikan *framework* yang dipilih cukup stabil dan memiliki kinerja memadai untuk kebutuhan industri migas yang kritis.
   - **Pertimbangkan Integrasi Ekosistem:** Pilih framework yang mudah diintegrasikan dengan tool dan sistem lain dalam ekosistem data dan operasional perusahaan.



3. **Integrasi dengan Infrastruktur Lokal untuk Skalabilitas:**
   - **Pemanfaatan Sumber Daya Komputasi Lokal**: Manfaatkan pusat data internal dan infrastruktur komputasi *on-premise* yang ada untuk melatih model AI/ML, terutama saat menangani volume data yang sangat besar atau data sensitif yang tidak dapat ditempatkan di *cloud*.
   - **Arsitektur Hibrida/Multi-Cloud:** Pertimbangkan pendekatan arsitektur hibrida atau multi-cloud, di mana sebagian pemrosesan dan pelatihan model dapat dilakukan di cloud publik untuk skalabilitas dan akses ke GPU/TPU yang kuat, sementara data sensitif tetap di lingkungan on-premise. Solusi open source seperti **Kubernetes** dapat memfasilitasi manajemen beban kerja yang fleksibel.

4. **Pengembangan Talenta Internal:**
   - **Investasikan dalam pelatihan dan pengembangan talenta internal** yang memiliki keahlian dalam AI/ML *open source*, rekayasa data, dan MLOps (*Machine Learning Operations*). Kemampuan internal ini krusial untuk

membangun, menyebarkan, dan memelihara sistem AI/ML dalam jangka panjang, mengurangi ketergantungan pada vendor eksternal.

Kesimpulan

Penguasaan teknologi AI/ML berbasis *open source* bukan sekadar pilihan, melainkan sebuah keharusan strategis bagi industri migas untuk mencapai target produksi di tengah tantangan yang terus berkembang. Dengan memanfaatkan *framework* seperti TensorFlow, PyTorch, dan Apache Spark, perusahaan migas dapat **membuka potensi besar dalam optimasi produksi, eksplorasi, dan *predictive maintenance*** dengan biaya yang lebih rendah dan fleksibilitas yang lebih tinggi. Melalui adopsi bertahap, pemanfaatan *framework* yang teruji, dan integrasi yang cermat dengan infrastruktur lokal, industri migas dapat membangun kapabilitas AI/ML yang **mandiri, inovatif, dan berkelanjutan**, memastikan masa depan energi yang lebih efisien dan kompetitif.

Ringkasan sebagai berikut:

Aspek	Ringkasan Utama
Kewajiban SPBE & Potensi Pelanggaran	– Perpres 95/2018 mewajibkan penggunaan dan penyimpanan source code terbuka dalam SPBE (Pasal 35 & 38). – Penggunaan software proprietary tanpa pertimbangan Menkomdigi dan pendaftaran di repo SPBE bisa melanggar regulasi.
Fondasi AI/ML Open Source	– Framework utama: **TensorFlow** (deep learning, prediksi EOR & anomaly detection), **PyTorch** (fleksibilitas untuk citra seismik & klasifikasi batuan), **Apache Spark** (big-data pipeline & MLlib untuk analitik sensor dan pengeboran). – Semua source code tersedia publik untuk modifikasi dan distribusi.
Keunggulan Open Source	– **Biaya Lisensi Nol:** Bebas biaya lisensi, alokasi anggaran untuk SDM & infrastruktur. – **Fleksibilitas & Kustomisasi:** Source code bisa diadaptasi sesuai karakteristik reservoir & sistem lokal. – **Dukungan Komunitas Global:** Akses dokumentasi, forum, dan kontribusi terus-menerus untuk perbaikan dan keamanan.
Aplikasi AI/ML di Migas	**– Optimasi Produksi & Eksplorasi:** ML pipeline untuk interpretasi data seismik (OpendTect, SeisBench) dan prediksi kurva produksi. **– Predictive Maintenance:** Model TensorFlow/PyTorch untuk memprediksi kegagalan peralatan, mengurangi downtime hingga ~50%. **– Real-Time Analytics:** Spark streaming untuk deteksi kick atau anomali sensor secara langsung.
Strategi Penguasaan Teknologi	**1. Adopsi Bertahap via PoC:** Mulai proyek kecil dengan tim multidisiplin, metrik ROI jelas. **2. Pilih Framework Teruji:** Fokus pada TensorFlow, PyTorch, Spark yang stabil & didukung komunitas. **3. Integrasi Infrastruktur Lokal**: On-premise + hybrid/multi-cloud (Kubernetes) untuk data sensitif & skalabilitas. **4. Pengembangan Talenta Internal:** Investasi pelatihan AI/ML, rekayasa data, MLOps untuk kemandirian jangka panjang.
Kesimpulan	**AI/ML open source bukan sekadar alternatif:** ia adalah keharusan strategis untuk biaya rendah, fleksibilitas tinggi, dan kemandirian teknologi. Dengan roadmap adopsi, framework matang, infrastruktur terintegrasi, dan talenta terlatih, industri migas Indonesia dapat mencapai target produksi secara berkelanjutan dan kompetitif.

BAB: Strategi Pengembangan SDM untuk Inovasi Digital

Industri minyak dan gas (migas) di Indonesia memiliki target ambisius untuk mencapai produksi 1 juta barel minyak per hari dan 12 miliar kaki kubik gas per hari pada tahun 2030. **Transformasi digital adalah kunci utama** untuk mencapai target ini, melalui peningkatan efisiensi operasional, optimasi eksplorasi, dan perpanjangan usia lapangan. Namun, keberhasilan transformasi ini **sangat bergantung pada ketersediaan Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten** di bidang teknologi digital, khususnya kecerdasan buatan (AI), pembelajaran mesin (ML), ilmu data (*data science*), dan pengelolaan *cloud*. Meskipun Indonesia menghasilkan ratusan ribu lulusan per tahun, proyeksi kebutuhan tambahan jutaan tenaga kerja digital hingga 2030 menunjukkan **celah kompetensi yang signifikan** di berbagai sektor, termasuk migas. Sebuah survei EY bahkan mengungkap bahwa meskipun 92% perusahaan energi menganggap *reskilling* sebagai keunggulan kompetitif, hanya 29% yang benar-benar berinvestasi pada pelatihan ulang. Oleh karena itu, membangun strategi pengembangan SDM yang adaptif, inovatif, dan hemat biaya menjadi prasyarat penting untuk memastikan keberlanjutan inovasi dan pencapaian target produksi migas.

Kebutuhan SDM Digital di Sektor Migas

Transformasi digital di industri migas menuntut **kompetensi baru yang spesifik**, jauh melampaui keahlian teknik tradisional. Beberapa area krusial meliputi:

1. **Kompetensi AI/ML**: SDM harus mampu merancang, melatih, dan menerapkan model AI/ML untuk berbagai aplikasi, seperti analisis data seismik, prediksi pemeliharaan peralatan (*predictive maintenance*), dan optimasi reservoir. Kemampuan ini mencakup pemahaman algoritma *deep learning* (misalnya, *convolutional neural networks* untuk analisis citra seismik) dan *reinforcement learning* untuk pengambilan keputusan operasional. Studi menunjukkan penerapan AI di hulu migas telah menghasilkan **manfaat finansial signifikan melalui optimalisasi produksi dan pengurangan biaya operasional**.
2. **Ilmu Data (*Data Science*)**: Keahlian dalam mengumpulkan, mengolah, memodelkan, dan memvisualisasikan **data besar (*big data*)** dari sensor lapangan, log produksi, dan data geofisika sangat vital. data scientist di migas perlu menguasai pemrosesan data dengan Python, R, atau Apache Spark, serta visualisasi data untuk mendukung keputusan strategis. Sebagian besar perusahaan migas global masih melaporkan kekurangan talenta *data science* untuk mengoptimalkan data operasional mereka.
3. **Pengelolaan *Cloud Computing***: Dengan mayoritas organisasi global menerapkan strategi *multi-cloud* dan rata-rata beban kerja perusahaan beralih ke *cloud* publik, keahlian dalam menyusun arsitektur *hybrid*/ *multi-cloud*, keamanan data, dan optimasi biaya *cloud* menjadi esensial. Kemampuan ini mendukung penyimpanan dan analisis data secara *real-time* serta memastikan skalabilitas operasional sistem digital.

Kesenjangan kompetensi ini diperparah oleh rendahnya literasi digital di Indonesia. Di sektor migas, diperkirakan hanya sebagian kecil tenaga kerja hulu migas yang memiliki keahlian AI/ML dasar, menunjukkan **kesenjangan kompetensi yang signifikan** yang harus segera diatasi.

Strategi Pengembangan SDM

Untuk mengatasi kesenjangan kompetensi digital ini, industri migas perlu menerapkan strategi pengembangan SDM yang **komprehensif dan inovatif**, berfokus pada pelatihan, pendidikan, kolaborasi industri-akademik, dan pendekatan hemat biaya berbasis *open source*.

Pelatihan dan *Upskilling* Berbasis *Open Source*

Pelatihan berbasis *open source* menawarkan solusi hemat biaya untuk meningkatkan kompetensi karyawan migas. Ini mencakup:



- **Kursus Daring (*Online Courses*)**: Memanfaatkan platform pembelajaran daring seperti Coursera atau *bootcamp* gratis seperti fast.ai. Kursus ini harus disesuaikan dengan konteks industri migas, misalnya, melalui **modul praktis tentang seismik hingga optimasi produksi** yang menggunakan alat *open source* seperti TensorFlow.
- **Program Korporat**: Perusahaan dapat meniru inisiatif seperti "BP Ninja Academy" yang memfokuskan pada sertifikasi *cloud* dengan gamifikasi, memungkinkan pelatihan dan sertifikasi karyawan internal untuk migrasi *cloud* tanpa rekrutmen masif.
- **Workshop dan *Bootcamp* Intensif**: Mengadakan sesi pelatihan intensif atau *hackathon* internal, seringkali bekerja sama dengan lembaga seperti Linux Foundation (LF AI & Data), untuk modul MLOps dan Python. Pemanfaatan *Kaggle Notebooks* juga memungkinkan praktik GPU tanpa kebutuhan infrastruktur lokal yang mahal. Pendekatan *open source* ini secara signifikan **menekan biaya pelatihan**, memungkinkan program pelatihan yang lebih luas.

Kurikulum Akademik yang Berorientasi Migas

Kolaborasi erat antara industri migas dan perguruan tinggi sangat krusial untuk memastikan kurikulum akademik relevan:

- **Integrasi AI/ML dalam Kurikulum**: Mendorong perguruan tinggi untuk mengembangkan atau memperkuat program studi seperti Teknik Perminyakan dan Geofisika dengan mata kuliah wajib seperti "Machine Learning for Reservoir Characterization" atau "Data Engineering on Apache Spark". Pemanfaatan lisensi Apache (tanpa biaya) dan modul komunitas menjadi kunci.
- **Pendekatan Berbasis Proyek dan Kolaborasi Industri**: Mahasiswa perlu terlibat dalam **proyek nyata dengan studi kasus dari industri migas**, seperti mengembangkan model ML untuk prediksi cadangan atau optimasi sumur. Mengundang praktisi industri untuk merancang proyek akhir akan memastikan lulusan siap pakai dan memahami masalah riil di lapangan.

Program Magang dan Sertifikasi

Untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, serta memastikan ketersediaan talenta siap pakai:

- **Program Magang Industri Intensif**: Perusahaan migas harus memperbanyak dan meningkatkan kualitas program magang yang melibatkan mahasiswa dalam **proyek-proyek digital nyata yang berdampak pada operasional perusahaan**. Program ini memberikan pengalaman langsung di lapangan dan memperkuat keterampilan teknis serta *soft skills*.
- **Sertifikasi Profesional Terkemuka**: Mengembangkan atau mendukung program **sertifikasi yang diakui secara industri** untuk kompetensi digital, seperti AWS Certified Machine Learning – Specialty, Microsoft Azure AI Engineer, atau Google Professional ML Engineer. Sertifikasi ini memberikan standar yang jelas dan pengakuan bagi talenta yang memiliki keahlian.
- **Kolaborasi Industri untuk Standar Kompetensi**: Kamar Dagang dan Industri (KADIN) dapat memperluas kerjasamanya dengan industri migas untuk mencakup sertifikasi AI/ML khusus migas, memastikan keselarasan dengan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI).

Peran Perguruan Tinggi: Katalis Inovasi dan Pembentuk Talenta

Perguruan tinggi memiliki peran sentral dalam ekosistem inovasi digital di migas:

- **Penyedia Pelatihan Berkelanjutan**: Selain program gelar, perguruan tinggi dapat menawarkan program eksekutif atau kursus singkat untuk profesional migas yang ingin melakukan *reskilling* atau *upskilling* di bidang digital.
- **Pusat Riset Terapan**: Menjadi pusat keunggulan untuk riset terapan di bidang AI/ML yang secara spesifik membahas tantangan industri migas, dari optimasi kinerja reservoir hingga *predictive maintenance* peralatan *offshore*. Contohnya, inisiatif seperti IC-UPERTAIN Universitas Pertamina yang menjembatani riset dan implementasi.

- **Inkubator Teknologi**: Berfungsi sebagai inkubator yang mendukung pengembangan *startup* berbasis AI untuk migas, menciptakan ekosistem inovasi yang dinamis.
- **Jembatan Industri-Akademik**: Memfasilitasi kolaborasi antara akademisi dan praktisi industri, mendorong pertukaran pengetahuan dan pengembangan proyek bersama yang relevan.

Pendekatan Hemat Biaya Berbasis *Open Source*

Salah satu pilar utama strategi pengembangan SDM adalah **memanfaatkan sifat *open source* itu sendiri untuk efisiensi biaya**:

- **Perangkat Lunak *Open Source* untuk Pelatihan dan Simulasi**: Komponen *open source* seperti TensorFlow, PyTorch, dan Apache Spark **menghilangkan biaya lisensi**, mengurangi anggaran pelatihan secara signifikan. Ini memungkinkan karyawan berlatih dan mengembangkan model AI/ML tanpa perlu investasi besar pada lisensi *proprietary*.
- **Platform Pembelajaran dan Lingkungan Pengembangan *Open Source***: Menggunakan *Learning Management System* (LMS) *open source* (misalnya, Moodle) dan membangun lingkungan pengembangan/simulasi menggunakan *software open source* (misalnya, Docker, Kubernetes untuk *containerization*; Jupyter Notebooks untuk eksperimen *data science*).
- **Pemanfaatan Komunitas *Open Source***: Mendorong SDM untuk aktif berkontribusi dan belajar dari komunitas *open source* global (seperti Kaggle). Ini mempercepat pembelajaran individu dan membawa inovasi terbaru ke dalam perusahaan tanpa biaya tambahan.
- **Data Sintetis dan Dataset Publik**: Untuk pelatihan awal dan pengembangan prototipe, memanfaatkan dataset publik yang relevan atau membuat data sintetis dapat menghindari penggunaan data sensitif atau berhak cipta, memungkinkan pembelajaran yang luas tanpa hambatan akses data.

Kesimpulan

Pengembangan SDM digital di sektor migas bukan lagi pilihan, melainkan investasi strategis yang krusial untuk mencapai target produksi nasional. Dengan fokus pada **kompetensi AI/ML, *data science*, dan pengelolaan *cloud***, serta didukung oleh strategi **pelatihan berbasis *open source*, penguatan kurikulum akademik, program magang intensif, dan peran aktif perguruan tinggi**, industri migas dapat membangun fondasi talenta yang kuat. Pendekatan yang **hemat biaya melalui pemanfaatan sumber daya *open source*** akan memastikan bahwa investasi ini berkelanjutan dan dapat diskalakan. Kolaborasi erat antara pemerintah, industri, dan akademik akan memastikan SDM migas siap menghadapi era transformasi digital, tidak hanya mendukung inovasi teknologi tetapi juga memperkuat daya saing Indonesia di pasar migas global.

Berikut adalah ringkasan:

Topik	Detail Ringkas
Konteks & Tantangan	Target produksi migas 2030: 1 juta bph minyak, 12 miliar ft³ gas. Transformasi digital diperlukan untuk optimasi operasi, eksplorasi, dan perpanjangan umur lapangan, namun terdapat kesenjangan besar kompetensi digital. Survei EY: 92% perusahaan energi nilai reskilling penting, tapi hanya 29% berinvestasi pelatihan.
Kebutuhan SDM Digital	- **AI/ML**: Rancang, latih, terapkan model untuk analisis seismik, predictive maintenance, optimasi reservoir - **Data Science**: Olah dan visualisasi big data (Python, R, Spark) - **Cloud Computing**: Desain arsitektur hybrid/multi-cloud, keamanan, optimasi biaya
Pelatihan & Upskilling Open Source	- **Kursus Online**: Coursera, fast.ai (modul seismik & optimasi produksi dengan TensorFlow) - **Program Korporat**: Contoh “BP Ninja Academy” untuk sertifikasi cloud berbasis gamifikasi - **Workshop & Bootcamp**: Kolaborasi LF AI & Data, Kaggle Notebooks untuk praktik GPU tanpa infrastruktur mahal
Kurikulum Akademik	- **Integrasi AI/ML**: Mata kuliah “ML for Reservoir Characterization”, “Data Engineering on Spark” - **Proyek Industri**: Capstone project dengan studi kasus migas, didesain bersama praktisi untuk kesiapan kerja
Program Magang & Sertifikasi	- **Magang Industri Intensif**: Proyek digital nyata di lapangan untuk pengalaman teknis & soft skills - **Sertifikasi Profesional**: AWS ML Specialty, Azure AI Engineer, Google ML Engineer - **Standar Kompetensi**: KADIN–migas kembangkan sertifikasi AI/ML migas sesuai SKKNI
Peran Perguruan Tinggi	- **Pelatihan Berkelanjutan**: Program eksekutif & kursus singkat untuk reskilling profesional - **Riset Terapan**: Pusat keunggulan AI/ML migas (mis. IC-UPERTAIN Pertamina) - **Inkubator Teknologi**: Dukung startup AI migas - **Jembatan Industri-Akademik**: Kolaborasi riset & pengembangan solusi praktis
Pendekatan Hemat Biaya	- **OSS untuk Pelatihan & Simulasi**: TensorFlow, PyTorch, Spark (tanpa biaya lisensi) - **LMS & Dev Environment**: Moodle, Docker/Kubernetes, Jupyter Notebooks - **Komunitas OSS**: Dorong kontribusi & learning peer-to-peer (Kaggle) - **Data Sintetis & Publik**: Hindari batasan akses data sensitif untuk prototyping

BAB: Pemanfaatan *Private Cloud, Edge Cloud, GPU Cloud* dan LLM untuk Kedaulatan Data

Industri migas di Indonesia saat ini dihadapkan pada tuntutan untuk meningkatkan efisiensi operasional, menjaga **kedaulatan data**, dan mematuhi regulasi yang ketat. Dalam konteks ini, adopsi **private cloud** dan **edge cloud** menjadi sangat krusial, di mana penggunaan **GPU server** dan **data center** lokal memiliki peran sentral. Penting untuk diketahui bahwa **public cloud sebaiknya ditinggalkan** kecuali untuk hal-hal yang bersifat publik dan tidak rahasia, karena risiko keamanan, kepatuhan, dan kedaulatan data yang melekat.

Private Cloud: Fondasi Kedaulatan dan Keamanan Data Migas

Private cloud merupakan lingkungan komputasi yang didedikasikan sepenuhnya untuk satu organisasi, baik di lokasi perusahaan (**on-premise**) maupun di pusat data yang dikelola khusus. Ini memastikan **kontrol penuh** atas data dan sumber daya, menjadikannya pilihan ideal bagi industri migas.

Keunggulan Private Cloud untuk Industri Migas:

- **Kepatuhan Regulasi & Kedaulatan Data**: Regulasi seperti PP 71/2019 dan UU PDP No. 27/2022 mewajibkan data migas disimpan dan diproses di wilayah Indonesia. Private cloud lokal secara signifikan memudahkan pemenuhan aturan ini, meminimalkan risiko sengketa hukum lintas negara dan mempermudah audit.
- **Keamanan Sangat Tinggi**: Dengan infrastruktur yang terisolasi, permukaan serangan siber dapat diminimalisir. Ini sangat vital untuk melindungi data geofisika seismik, simulasi reservoir, dan informasi operasional yang sensitif. Enkripsi data, firewall canggih, dan autentikasi multifaktor menjadi standar.
- **Kinerja & Latensi Terprediksi**: Sumber daya yang eksklusif menjamin konsistensi I/O dan *throughput*, esensial untuk beban kerja *machine learning* (ML) skala besar dan simulasi numerik yang kompleks.
- **Integrasi Sistem E&P**: *Framework* seperti Halliburton iEnergy® memanfaatkan private cloud untuk menjalankan DecisionSpace 365 secara *on-premise*, mengurangi kompleksitas dan *Total Cost of Ownership* (TCO) hingga 50%.
- **Skalabilitas Terkelola**: Perusahaan migas dapat menambah kapasitas server atau node secara terencana sesuai kebutuhan tanpa bergantung pada kapasitas penyedia *public cloud*.

Secara global, segmen **private cloud** di pasar cloud migas diproyeksikan tumbuh dengan CAGR **5,5%** antara 2025–2034, yang menunjukkan preferensi industri terhadap kontrol dan keamanan tinggi.

Edge Cloud: Komputasi Real-time di Lapangan Migas

Edge cloud (atau *edge computing*) membawa kemampuan komputasi dan penyimpanan lebih dekat ke sumber data, seperti rig lepas pantai, sumur, atau sistem *pipeline*. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada koneksi jarak jauh ke pusat data, membawa banyak keuntungan.

Keunggulan Edge Cloud:

- **Latensi Ultra-Rendah**: Analitik kritis, seperti deteksi kebocoran, peringatan dini *blow-out*, atau kontrol pompa, dapat diproses dalam hitungan milidetik tanpa perlu bolak-balik ke pusat data.
- **Ketahanan Operasional**: Jika konektivitas terputus, *node edge* tetap berfungsi secara mandiri, lalu menyinkronkan hasil saat koneksi pulih. Ini menjamin keberlangsungan operasional di lokasi terpencil.
- **Penghematan *Bandwidth***: Hanya hasil ringkasan dan anomali yang dikirim ke pusat data, secara signifikan mengurangi beban transfer data *terabyte* dari sensor dan *drone*.

Aplikasi Edge Cloud di Industri Migas:

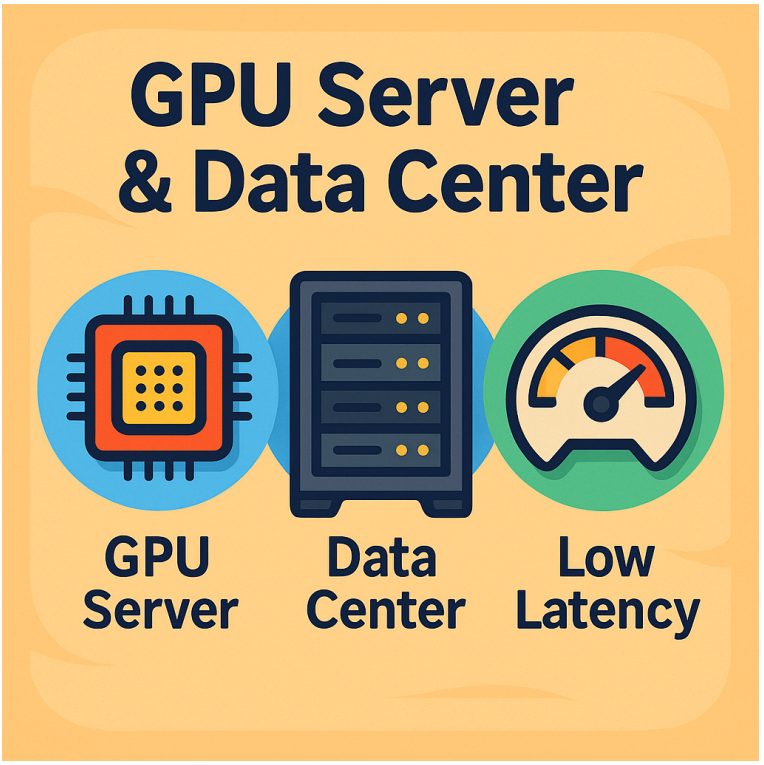
- **Monitoring & *Predictive Maintenance***: Sensor dan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) berjalan di *edge* untuk mendeteksi kegagalan peralatan, seperti pompa atau *valve*, sebelum menjadi kritis, mengurangi *downtime* hingga 50%.
- **Integrasi E&P di Lapangan**: Platform *edge* memungkinkan aplikasi E&P seperti DecisionSpace 365 dijalankan langsung di lokasi, memaksimalkan kecepatan akses dan kendali.
- **Pengolahan Data Seismik Parsial**: *Pre-processing* data geofisika (penyaringan, kompresi) di *edge* menyiapkan data terstruktur untuk *pipeline* ML di private cloud pusat, mempercepat alur kerja eksplorasi.

Pasar **edge computing** global diperkirakan mencapai **USD 432,9 miliar** pada 2024 dan tumbuh CAGR **28%** dari 2025–2034, dengan sektor energi dan industri menyumbang lebih dari 18,6% pendapatan pada 2023.

GPU Server dan Data Center: Otak di Balik Inovasi Migas

Pertumbuhan pasar **data center** di Indonesia, yang diperkirakan mencapai USD 3,62 miliar pada 2032, dengan sekitar 79 fasilitas yang berlokasi di dalam negeri (33% di Jakarta), menjadi fondasi kuat bagi adopsi **private cloud** dan pengembangan **Large Language Models (LLM)**. **GPU server** sangat penting untuk mendukung beban kerja komputasi intensif yang dibutuhkan oleh ML dan LLM.

Pentingnya GPU Server dan Data Center Lokal:



- **Dukungan Komputasi Tinggi**: **GPU server** menyediakan kekuatan komputasi yang tak tertandingi untuk melatih dan menjalankan model LLM serta aplikasi ML yang kompleks, seperti analisis seismik dan simulasi reservoir.
- **Kedaulatan & Keamanan Data**: Dengan menempatkan GPU server dan data center di Indonesia, perusahaan migas memastikan bahwa data sensitif diproses dan disimpan di dalam yurisdiksi nasional, mematuhi regulasi dan mengurangi risiko kebocoran data.
- **Latensi Rendah**: Keberadaan data center di Indonesia memastikan latensi rendah, yang krusial untuk aplikasi real-time dan operasional yang membutuhkan respons cepat.

Peran Large Language Models (LLM) di Private Cloud

Pengembangan **LLM** yang spesifik untuk konteks lokal di **private cloud** dalam negeri merupakan langkah strategis untuk transformasi digital di industri migas. Ini memungkinkan perusahaan untuk memanfaatkan kecerdasan buatan tanpa mengorbankan keamanan dan kedaulatan data.

Fungsi LLM Lokal di Industri Migas:



- **Analisis Dokumen Teknis**: LLM dapat menganalisis laporan geofisika, kontrak, atau spesifikasi peralatan, mengekstrak informasi kunci, merangkum dokumen, dan mendeteksi ketidaksesuaian dengan cepat dan akurat.
- **Asisten Virtual**: LLM dapat memberikan dukungan real-time kepada insinyur di lapangan, menjawab pertanyaan teknis, memandu prosedur operasional standar, atau membantu *troubleshooting* awal.
- **Optimasi Operasional**: LLM dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen operasional untuk mengotomatisasi tugas berulang (misalnya, penjadwalan pemeliharaan) dan membantu perencanaan skenario produksi melalui analisis data tekstual.

Keunggulan LLM Lokal di Private Cloud:

- **Konteks & Akurasi Lokal**: LLM yang dilatih dengan data berbahasa Indonesia dan memahami terminologi spesifik industri migas lokal (misalnya, istilah geologi, nama formasi sumur) akan jauh lebih akurat dan relevan dibandingkan model generik.
- **Keamanan & Kedaulatan Data Terjamin**: Dengan mengembangkan dan melatih LLM secara lokal menggunakan data internal di private cloud, perusahaan migas menjaga integritas dan kedaulatan data sensitif, menghilangkan risiko kebocoran atau penyalahgunaan oleh pihak asing.
- **Efisiensi Biaya Jangka Panjang**: Membangun dan melatih LLM di private cloud lokal dapat mengurangi ketergantungan pada API LLM pihak ketiga yang mahal dan menekan biaya operasional jangka panjang.

Sinergi Private Cloud dan Edge Cloud untuk Efisiensi Optimal

Menggabungkan private cloud pusat dengan *node edge* menciptakan arsitektur hibrida yang sangat efektif. Arsitektur ini:

1. **Menjamin Kedaulatan Data** dengan private cloud lokal.
2. **Mempercepat Respons Real-time** melalui edge cloud di lapangan.
3. **Mengoptimalkan Biaya & *Bandwidth*** dengan reduksi data di *edge*.

Teknologi Pendukung:

- **Kubernetes & Container**: Untuk orkestrasi *microservices* AI/ML pada private cloud dan *node edge*.
- **VPN & SD-WAN**: Mengamankan dan mengelola jalur data antara lokasi operasional, pusat data, dan cloud publik (jika ada).
- **OSDU Data Platform**: Standar terbuka untuk integrasi data seismik, sumur, dan produksi di lingkungan private dan *edge*.

Langkah Implementasi Strategis:

1. **Evaluasi Beban Kerja**: Kategorikan aplikasi (ML *pipeline*, SCADA, E&P) mana yang cocok untuk *edge* dan mana yang di pusat.
2. **Proyek Percontohan**: Uji coba *node edge* di satu lokasi, lalu skalakan ke seluruh portofolio operasional.
3. **Pengembangan SDM**: Investasikan dalam pelatihan *cloud engineering*, MLOps, dan manajemen perangkat *edge*.
4. **Kemitraan Lokal**: Pilih penyedia private cloud Indonesia yang terpercaya dan platform *edge* dari vendor lokal.

Dengan memanfaatkan **private cloud** untuk keamanan dan kepatuhan data, **edge cloud** untuk analitik real-time di lapangan, dan **GPU server** di **data center** lokal untuk mendukung pengembangan **LLM** yang relevan, industri migas dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional, menurunkan risiko *downtime*, dan menjaga kedaulatan data. Ini adalah kunci untuk mencapai target produksi secara berkelanjutan dan memperkuat posisi Indonesia di sektor migas global.

Ringkasan sebagai berikut:

Komponen	Ringkasan Utama
Private Cloud	– Lingkungan terdedikasi (on-premise atau pusat data lokal) untuk kontrol penuh data migas. – Memenuhi PP 71/2019 & UU PDP 27/2022 untuk kedaulatan data. – Keamanan tinggi (isolasi, enkripsi, MFA, firewall). – Kinerja & latensi terprediksi untuk beban ML dan simulasi. – Skalabilitas terkelola; TCO hingga 50% lebih rendah (contoh DecisionSpace 365).
Edge Cloud	– Komputasi di lokasi rig, sumur, pipeline untuk latensi ultra-rendah. – Ketahanan operasional saat koneksi terputus, dengan sinkronisasi ulang. – Penghematan bandwidth: hanya ringkasan/anomali yang dikirim ke pusat. – Aplikasi: monitoring & predictive maintenance (LSTM), kontrol pompa, pre-processing data seismik.
GPU Server & Data Center Lokal	– GPU untuk pelatihan & inferensi ML/LLM skala besar (seismik, simulasi reservoir). – Data center lokal (≈79 fasilitas, 33% di Jakarta) menjamin latensi rendah & kedaulatan data. – Pasar data center Indonesia diproyeksikan USD 3,62 miliar (2032).
Large Language Models (LLM) Lokal	– LLM on-premise untuk analisis dokumen teknis, asisten virtual, & optimasi operasional. – Akurasi konteks lokal (bahasa Indonesia, terminologi migas). – Keamanan & kedaulatan data terjamin. – Efisiensi biaya jangka panjang (hindari API berbayar).
Arsitektur Hibrida & Sinergi	– Integrasi private cloud pusat & node edge untuk kedaulatan + respons real-time. – Teknologi pendukung: Kubernetes, container, VPN/SD-WAN, OSDU Data Platform. – Langkah implementasi: (1) evaluasi beban kerja; (2) pilot project edge; (3) pelatihan SDM cloud & MLOps; (4) kemitraan dengan penyedia lokal.

BAB: Membangun Ekosistem Kolaboratif

Inovasi teknologi digital berbasis **open source** sangat penting untuk mencapai target produksi minyak dan gas (migas) di Indonesia. Namun, keberhasilan adopsi teknologi ini tidak hanya bergantung pada inisiatif parsial, melainkan pada **ekosistem kolaboratif** yang kuat, melibatkan berbagai pemangku kepentingan seperti Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (**SKK Migas**), Kontraktor Kontrak Kerja Sama (**KKKS**), pemerintah, dan perguruan tinggi.

Pemangku Kepentingan dan Peran Kunci

SKK Migas: Regulator, Fasilitator, dan Pengawas Adopsi Teknologi

SKK Migas, sebagai pengawas sektor hulu migas, memiliki peran sentral dalam mendorong adopsi teknologi digital. Inisiatif seperti **Indonesia Oil & Gas (IOG) 4.0** menunjukkan komitmen SKK Migas untuk memanfaatkan teknologi seperti **AI, IoT, dan *cloud computing*** guna meningkatkan produksi dan efisiensi. SKK Migas juga rutin menyelenggarakan **Rapat Kerja TI SKK Migas–KKKS**, yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan untuk menyusun *roadmap* adopsi teknologi. Meskipun demikian, diperlukan regulasi yang lebih adaptif untuk mendukung pengembangan dan implementasi teknologi *open source*, termasuk insentif dan penyederhanaan izin.

KKKS: Pengguna Teknologi dan Pelopor Implementasi di Lapangan

KKKS adalah ujung tombak dalam implementasi teknologi di lapangan. Mereka menghadapi tekanan untuk mencapai target produksi sambil menekan biaya operasional. KKKS telah menunjukkan inisiatif dalam mengadopsi teknologi digital, seperti uji coba **AI/ML dan *cloud***. Untuk mempercepat adopsi *open source*, KKKS perlu didukung dengan pelatihan teknis dan akses ke komunitas *open source*, serta proaktif dalam mengembangkan solusi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasional mereka, misalnya **platform pemantauan berbasis Linux atau alat analitik berbasis Python**.

Pemerintah: Kebijakan Pendukung dan Infrastruktur Digital

Pemerintah Indonesia berperan penting dalam menciptakan lingkungan yang kondusif bagi transformasi digital. Melalui **Kementerian Komunikasi dan Digital (Komdigi)** dan **BSSN**, pemerintah terlibat aktif dalam diskusi kebijakan keamanan *cloud* dan kedaulatan data. Pembangunan **National Data Centre Nusantara** yang ditargetkan siap pada 2026, akan mendukung aplikasi **AI dan *big data***, termasuk untuk sektor migas, dengan menjamin kedaulatan data dan mengurangi latensi. Pemerintah perlu terus merumuskan kebijakan yang mendukung adopsi teknologi *open source*, seperti insentif untuk perusahaan dan program subsidi infrastruktur digital di lapangan migas.

Perguruan Tinggi: Riset, Pelatihan SDM, dan Pengembangan Solusi

Perguruan tinggi adalah pusat inovasi dan pengembangan sumber daya manusia. **Indonesia AI Research Consortium (IARC)**, yang beranggotakan beberapa universitas terkemuka, menjadi wadah kolaborasi riset AI dengan industri. Selain itu, riset seperti penggunaan **machine learning untuk inspeksi risiko pipa migas oleh FTUI** menunjukkan potensi besar kontribusi akademisi. Perguruan tinggi perlu meningkatkan kolaborasi dengan industri untuk menghasilkan solusi yang relevan, menyediakan kurikulum yang sesuai dengan kebutuhan industri (misalnya dalam bidang *data science, machine learning, dan cloud computing*), serta mendirikan pusat riset *open source* khusus migas.

Model Kolaborasi: Membangun Sinergi untuk Inovasi Migas

Kolaborasi yang efektif adalah kunci keberhasilan adopsi teknologi *open source* di industri migas. Ini bukan hanya tentang struktur formal, tetapi juga membangun fondasi **kepercayaan** dan **pemahaman antarpribadi**. Dengan sinergi yang kuat, berbagai pemangku kepentingan dapat bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama.

Pola Informal: Membangun Kepercayaan Melalui Interaksi Personal

Inti dari kolaborasi adalah faktor manusia. **Kepercayaan**, saling mengenal, dan memahami kapasitas, kelebihan, serta kekurangan masing-masing pihak akan memungkinkan kita untuk saling mengisi dan mencapai hasil maksimal. Interaksi informal, seperti pertemuan langsung, diskusi santai, atau bahkan pertemuan daring yang rutin, sangat penting untuk membangun ikatan personal ini. Hubungan yang kuat akan mempermudah koordinasi dan pemecahan masalah di kemudian hari.



Forum Koordinasi Lintas Sektoral: Menyelaraskan Visi dan Strategi

Setelah fondasi kepercayaan terbentuk, **forum koordinasi lintas sektoral** menjadi wadah formal untuk menyelaraskan upaya. **Rapat Kerja TI SKK Migas–KKKS** adalah contoh nyata forum yang efektif. Di sini, SKK Migas, KKKS, kementerian terkait, dan vendor bertemu untuk mendiskusikan kebutuhan teknis, regulasi, dan aspek komersial. Tujuannya adalah

untuk berbagi praktik terbaik, merumuskan standar adopsi teknologi *open source*, dan menyusun kebijakan bersama yang mendukung inovasi di sektor migas.

Komunitas Open Source Lokal: Wadah Berbagi Pengetahuan dan Pengembangan Bersama

Untuk mempercepat adopsi *open source*, penting untuk membangun dan memperkuat **komunitas *open source* lokal** yang spesifik untuk industri migas. Komunitas ini akan menjadi platform vital bagi para *engineer*, *data scientist*, dan akademisi untuk **berbagi kode, *dataset*, dan praktik terbaik**. Contohnya, mereka dapat berkontribusi pada pengembangan alat *open source* yang relevan dengan migas, seperti **model analisis seismik berbasis PyTorch atau *tool* optimasi pengeboran berbasis Python**. Komunitas ini mendorong kolaborasi teknis dan memperkaya ekosistem *open source* migas di Indonesia.

Program Percontohan Bersama: Menguji Solusi dengan Cepat dan Efisien

Menerapkan ide-ide inovatif dalam skala kecil melalui **program percontohan bersama (*pilot project*)** adalah cara yang efektif untuk menguji solusi teknologi sebelum penerapan yang lebih luas. Program ini harus dirancang dengan **anggaran terjangkau** dan fokus pada **solusi yang memberikan hasil cepat (*quick wins*)**. Kemitraan **FPT–Pertamina** dalam menguji sistem **AI-Based Monitoring & Inspection** di platform lepas pantai adalah contoh baik bagaimana teknologi dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi anomali secara efisien. Proyek semacam ini dapat menghasilkan peningkatan reliabilitas aset atau pengurangan risiko kecelakaan tanpa investasi infrastruktur baru yang besar. SKK Migas dapat memfasilitasi skema pendanaan bersama antara KKKS dan perguruan tinggi untuk mendukung inisiatif *pilot project* berbasis *open source*.

Dengan menggabungkan pola kolaborasi informal yang membangun kepercayaan, forum formal untuk penyelarasan strategi, komunitas yang mendorong berbagi pengetahuan, dan program percontohan untuk pengujian cepat, ekosistem inovasi migas berbasis *open source* dapat berkembang secara optimal.

Fokus Efisiensi: Solusi Berbiaya Rendah dan Hasil Cepat

Efisiensi adalah inti dari strategi adopsi teknologi *open source*. Solusi berbiaya rendah, seperti **platform berbasis Linux atau alat analitik *open source* seperti Apache Spark**, dapat mengurangi ketergantungan pada perangkat lunak *proprietary* yang mahal. Data menunjukkan bahwa **53% organisasi global mengadopsi *open source* karena "biaya lisensi nol & pengurangan biaya keseluruhan"**.

Untuk memastikan hasil cepat, perlu prioritas pada teknologi yang telah terbukti di sektor lain, seperti **IoT untuk pemantauan *real-time* atau AI untuk analisis prediktif**. Program pelatihan intensif bagi SDM KKKS, yang didukung oleh perguruan tinggi, juga dapat mempercepat adopsi teknologi ini. Setiap proyek *open source* harus dilengkapi dengan **metrik Return on Investment (ROI) yang jelas**, baik dari segi peningkatan produksi, efisiensi operasional, maupun pengurangan biaya.

Kesimpulan

Membangun ekosistem kolaboratif yang kokoh merupakan prasyarat mutlak untuk mengoptimalkan potensi inovasi teknologi digital berbasis **open source** dalam mendukung pencapaian target produksi migas nasional. Dengan sinergi antara **regulasi adaptif, implementasi proaktif di lapangan, dukungan infrastruktur dari pemerintah, dan riset mendalam dari perguruan tinggi**, Indonesia dapat mengakselerasi inovasi digital migas secara berkelanjutan sambil menjaga **efisiensi biaya dan kedaulatan data**.

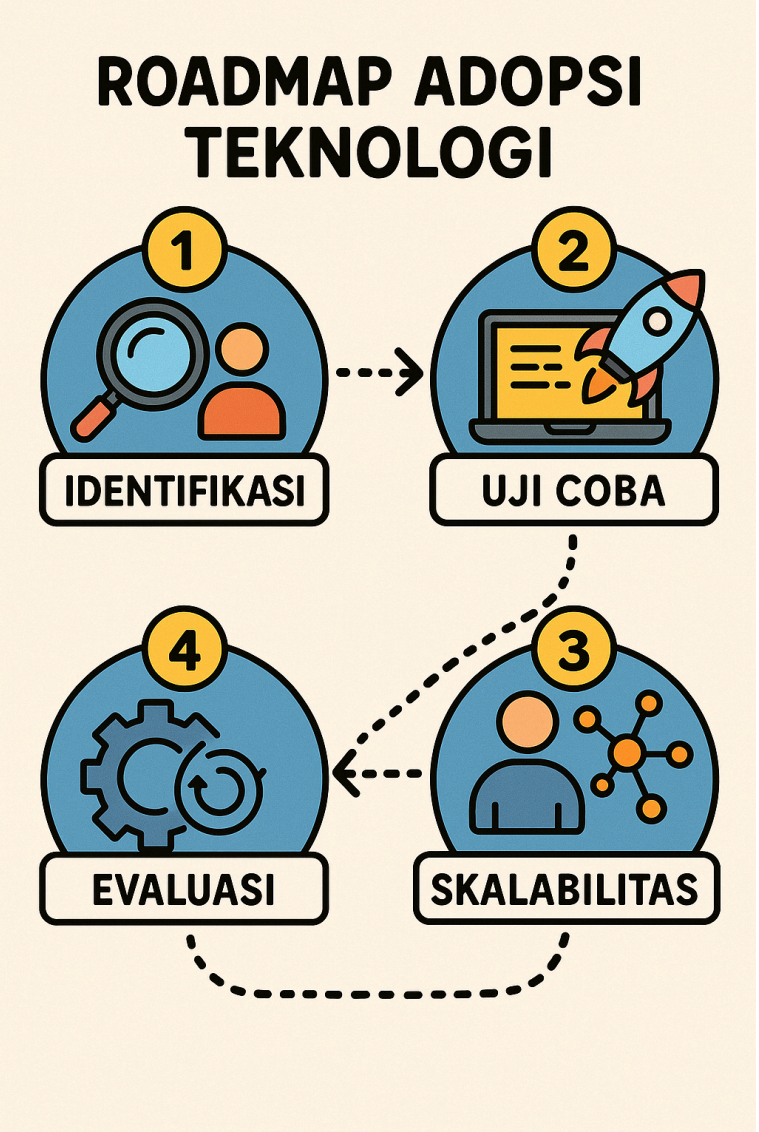
Komponen	Deskripsi
Pemangku Kepentingan	**SKK Migas**: Regulator, fasilitator, pengawas adopsi AI/IoT/cloud (IOG 4.0, Rapat Kerja TI SKK Migas–KKKS); butuh regulasi adaptif & insentif open source.**KKKS**: Pelopor implementasi di lapangan (uji coba AI/ML, cloud); perlu pelatihan teknis, akses komunitas open source, dan kustomisasi solusi (Linux, Python).**Pemerintah**: Kebijakan pendukung (Komdigi, BSSN), National Data Centre Nusantara (2026), subsidi infrastruktur digital.**Perguruan Tinggi**: Riset & SDM (IARC, FTUI ML-pipa), kurikulum data science/ML/cloud, pusat riset open source migas.
Model Kolaborasi	**Pola Informal**: Pertemuan personal (tatap muka/online) untuk membangun kepercayaan dan pemahaman kapasitas.**Forum Lintas Sektoral**: Rapat Kerja TI SKK Migas–KKKS sebagai wadah formal penyelarasan roadmap, standar, regulasi open source.**Komunitas Open Source Lokal**: Berbagi kode, dataset, praktik terbaik (mis. model seismik PyTorch, tool optimasi drilling).**Pilot Project**: Program percontohan hemat biaya & quick wins (contoh: AI Monitoring FPT–Pertamina); skema pendanaan SKK Migas–KKKS–PT.
Fokus Efisiensi	● Solusi berbiaya rendah (platform Linux, Apache Spark, IoT untuk monitoring real-time). ● Prioritaskan teknologi terbukti di sektor lain (AI prediktif). ● Pelatihan intensif bagi SDM KKKS dengan metrik ROI jelas (peningkatan produksi, efisiensi operasional, pengurangan biaya).
Kesimpulan	Ekosistem kolaboratif—dari kepercayaan personal hingga forum formal, komunitas teknis, dan pilot project—adalah prasyarat untuk mengakselerasi inovasi digital migas berbasis open source. Dengan sinergi regulasi adaptif, implementasi proaktif, dukungan infrastruktur, dan riset akademik, Indonesia dapat mencapai target produksi migas berkelanjutan sambil menjaga efisiensi biaya dan kedaulatan data.

BAB: Strategi Implementasi Teknologi dan SDM

Industri migas Indonesia dihadapkan pada target produksi ambisius: **1 juta barel minyak per hari dan 12 miliar kaki kubik gas per hari pada 2030** oleh Kementerian ESDM. Dalam konteks ini, teknologi digital berbasis **open source**, seperti **kecerdasan buatan (AI), pembelajaran mesin (ML), dan komputasi awan (*cloud computing*)**, menawarkan solusi inovatif untuk mengoptimalkan operasi lapangan, mengurangi biaya, dan meningkatkan keberlanjutan. Namun, keberhasilan implementasi teknologi ini tidak hanya bergantung pada kecanggihan perangkat lunak, melainkan pada strategi yang terintegrasi, terutama dalam adopsi teknologi dan pengembangan sumber daya manusia (SDM). Bab ini menyajikan narasi kritis tentang strategi implementasi teknologi dan SDM, didukung oleh data terkini dan analisis mendalam.

Roadmap Adopsi Teknologi: Empat Tahap Menuju Optimalisasi Produksi

Adopsi teknologi digital berbasis *open source* di industri migas memerlukan pendekatan bertahap yang sistematis untuk meminimalkan risiko dan memaksimalkan dampak.



Tahap 1: Identifikasi Kebutuhan dan Pemetaan Kompetensi SDM

Langkah awal yang krusial adalah **memahami secara mendalam kebutuhan operasional** yang dapat diatasi oleh teknologi *open source* serta **memetakan kompetensi SDM** yang ada. Ini melibatkan audit menyeluruh terhadap proses bisnis dan identifikasi *pain points* di lapangan. Misalnya, apakah masalahnya terletak pada efisiensi pemantauan sumur, prediksi produksi, atau analisis data geofisika?

Analisis McKinsey (2024) menunjukkan bahwa **70% inisiatif transformasi digital di**

industri energi gagal karena kurangnya pemahaman terhadap kebutuhan operasional yang spesifik. Di Indonesia, tantangan ini diperparah oleh keragaman aset migas, yang memerlukan solusi teknologi yang berbeda. Setelah itu, perlu dilakukan penilaian terhadap kemampuan teknis tim di lapangan dan kantor. Berdasarkan laporan World Economic Forum (2024), **60% tenaga kerja global akan memerlukan pelatihan ulang sebelum 2027**, namun hanya **50% yang memiliki akses memadai saat ini**. Ini menggarisbawahi kesenjangan keahlian yang signifikan dan perlunya identifikasi kebutuhan pelatihan sejak dini untuk merancang program pelatihan yang relevan.

Tahap 2: Uji Coba Solusi Open Source di Proyek Kecil

Setelah kebutuhan dan kompetensi terpetakan, saatnya melakukan **uji coba (*pilot project*) solusi *open source*** di proyek berskala kecil. Fokusnya adalah pada teknologi **AI/ML dan *cloud computing* lokal**, yang menawarkan potensi besar untuk efisiensi. Deloitte memprediksi bahwa **25% perusahaan akan melakukan *pilot project* AI atau LLM pada akhir 2025**.

Sebagai contoh, Pertamina Hulu Energi (PHE) berhasil mengimplementasikan solusi AI berbasis TensorFlow untuk optimasi pompa di salah satu sumur di Kalimantan Timur pada 2024, yang **meningkatkan efisiensi produksi sebesar 15%** (Laporan Tahunan PHE, 2024). *Pilot project* semacam ini memungkinkan organisasi untuk menguji kelayakan teknis, memahami tantangan implementasi, dan mengukur potensi *Return on Investment* (ROI) dalam lingkungan yang terkontrol, sambil membuktikan nilai *open source* yang menawarkan **penghematan biaya lisensi**—alasan utama adopsi *open source* bagi **53% organisasi global** (OpenLogic, 2024).

Tahap 3: Skalabilitas ke Operasi Lapangan dengan Pelatihan SDM Intensif

Jika hasil uji coba memuaskan, solusi *open source* dapat mulai **diskalakan ke operasi lapangan yang lebih luas**. McKinsey mencatat bahwa penggunaan *generative AI* di organisasi melonjak dari **33% pada 2023 menjadi 71% pada awal 2024**, menandakan kesiapan banyak perusahaan untuk skala produksi.

Tahap ini memerlukan **pelatihan SDM yang intensif dan terstruktur** untuk memastikan semua operator dan teknisi memiliki kapabilitas yang memadai dalam mengoperasikan dan memelihara sistem baru. Pelatihan ini tidak hanya mencakup aspek teknis, tetapi juga pemahaman tentang filosofi *open source* dan manfaatnya. Integrasi sistem *open source* ke dalam alur kerja yang sudah ada juga harus menjadi prioritas, memastikan transisi yang mulus dan minim gangguan operasional.

Tahap 4: Evaluasi dan Perbaikan Berkelanjutan

Adopsi teknologi adalah proses yang berkelanjutan. Oleh karena itu, **evaluasi dan perbaikan berkelanjutan** adalah tahap yang esensial. Perlu dibentuk mekanisme untuk memantau kinerja solusi *open source* yang telah diimplementasikan, mengumpulkan *feedback* dari pengguna, dan mengidentifikasi area-area yang perlu dioptimalkan. Deloitte

(2025) melaporkan bahwa **hanya 25% perusahaan migas global yang memiliki sistem evaluasi teknologi yang terstruktur**.

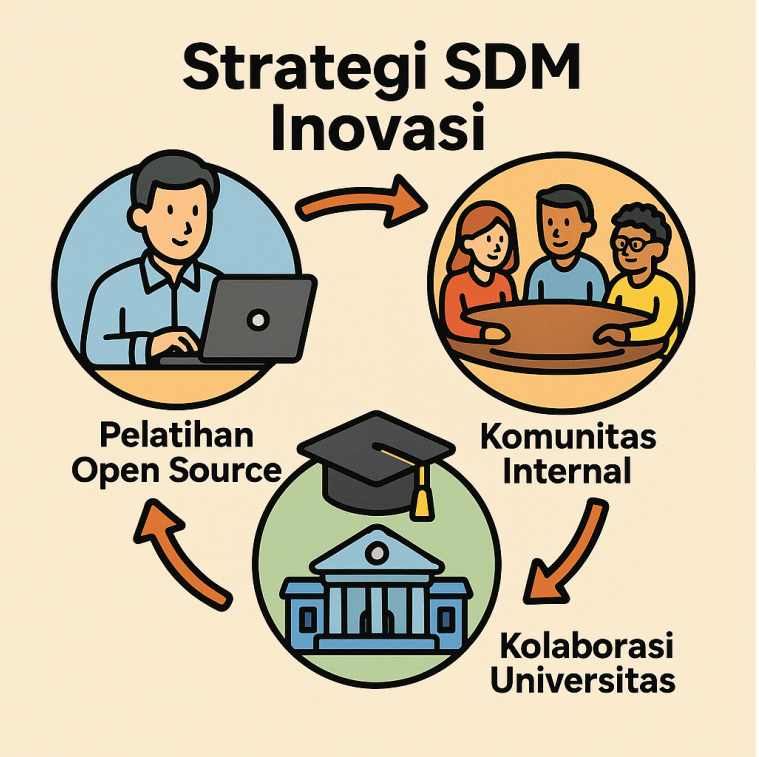
Evaluasi ini memungkinkan penyesuaian cepat terhadap kebutuhan operasional yang berubah dan memastikan bahwa teknologi yang digunakan tetap relevan dan efektif. Ini juga mencakup penilaian terhadap efektivitas program pelatihan SDM dan adaptasi terhadap tren teknologi *open source* terbaru.

Strategi Pengembangan SDM: Membangun Kapabilitas dan Budaya Inovasi

Pengembangan SDM adalah pilar utama keberhasilan implementasi teknologi *open source*.

Pelatihan Berbasis Open Source untuk Operator dan Teknisi

Untuk menutup kesenjangan keahlian, **pelatihan terstruktur dan berkelanjutan berbasis *open source*** harus diberikan kepada operator dan teknisi di semua tingkatan. Pelatihan ini dapat mencakup dasar-dasar sistem operasi seperti **Linux**, penggunaan *tool* analitik data *open source* seperti **Apache Spark atau Python**, serta implementasi solusi AI/ML spesifik migas menggunakan *framework open source* seperti **TensorFlow atau PyTorch**. Tujuannya adalah memberdayakan SDM untuk tidak hanya menggunakan, tetapi juga memahami dan bahkan berkontribusi pada solusi *open source*.



Pengembangan Komunitas Internal untuk Berbagi Praktik Terbaik

Membangun **komunitas internal** yang aktif di dalam organisasi adalah cara efektif untuk mendorong berbagi pengetahuan dan praktik terbaik. Komunitas ini bisa berupa forum daring, *workshop* internal, atau sesi *sharing* rutin di mana karyawan dapat berinteraksi, bertukar pengalaman, dan memecahkan masalah bersama. World Economic Forum mengungkap hanya **31% perusahaan memiliki strategi kolaborasi lintas-tim untuk OSS, dan 37% berkontribusi aktif ke proyek *open source***. Budaya kolaborasi ini akan

mempercepat pembelajaran kolektif dan menumbuhkan rasa kepemilikan terhadap teknologi *open source*.

Kolaborasi dengan Perguruan Tinggi untuk Talenta Baru

Kemitraan strategis dengan perguruan tinggi adalah kunci untuk menarik dan mengembangkan talenta baru yang familiar dengan teknologi *open source*. **Indonesia AI Research Consortium (IARC)**, yang melibatkan tujuh universitas terkemuka, adalah contoh inisiatif yang memfasilitasi kolaborasi riset AI dengan industri. Perguruan tinggi dapat merancang kurikulum yang relevan dengan kebutuhan industri migas, terutama dalam bidang *data science, machine learning, dan cloud computing*. Program magang dan proyek penelitian bersama dapat menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, memastikan pasokan talenta yang siap kerja.

Manajemen Perubahan: Kunci Keberhasilan Adopsi

Adopsi teknologi *open source* seringkali memerlukan perubahan signifikan dalam cara kerja dan budaya organisasi. **Manajemen perubahan yang efektif** adalah vital untuk mengatasi resistensi dan memastikan penerimaan yang luas.

Strategi manajemen perubahan harus mencakup:

- **Komunikasi yang Jelas dan Konsisten**: Mengkomunikasikan secara transparan mengapa perubahan ini diperlukan, apa manfaatnya bagi individu dan organisasi, serta bagaimana proses transisi akan berjalan. Penekanan pada penghematan biaya dan peningkatan efisiensi yang ditawarkan *open source* dapat menjadi narasi utama.
- **Pelatihan Komprehensif**: Selain pelatihan teknis, perlu ada pelatihan tentang manfaat *open source*, etika berbagi pengetahuan, dan cara beradaptasi dengan lingkungan kerja yang lebih kolaboratif dan transparan.
- **Insentif dan Apresiasi**: Memberikan insentif, baik berupa pengakuan maupun peluang karir, kepada individu atau tim yang proaktif dalam mengadopsi dan berkontribusi pada solusi *open source*. Ini dapat menumbuhkan budaya inovasi dan mendorong karyawan untuk menjadi agen perubahan.

Kesimpulan

Implementasi teknologi digital berbasis *open source* dalam industri migas Indonesia menawarkan peluang besar untuk mencapai target produksi nasional. Namun, ini memerlukan strategi yang terintegrasi, mulai dari *roadmap* adopsi teknologi yang terencana, strategi SDM yang berpusat pada kapabilitas, hingga manajemen perubahan yang proaktif. Dengan memetakan kebutuhan, menguji solusi melalui *pilot project*, menskalakan operasi, serta mendukung talenta melalui pelatihan, komunitas, dan kolaborasi akademik, industri migas akan lebih siap memenuhi target produksi sambil menjaga efisiensi biaya dan kedaulatan data di era digital.

Berikut adalah Ringkasannya:

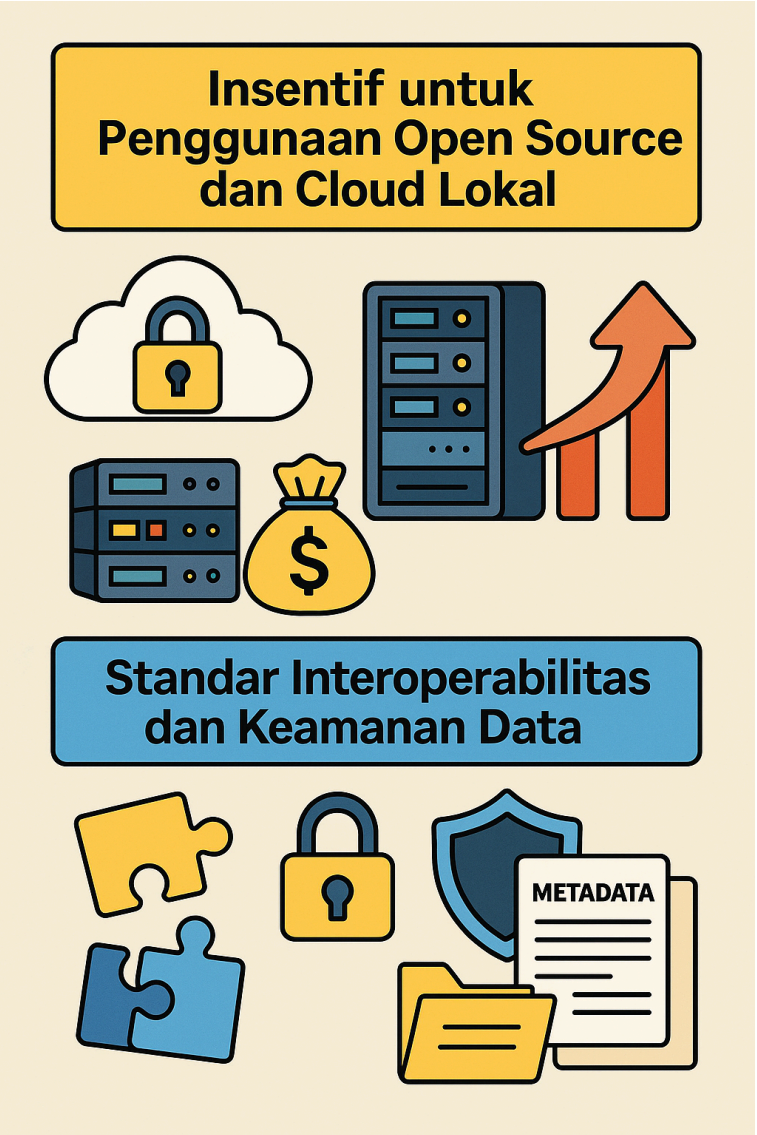
Aspek	Ringkasan Utama
Roadmap Adopsi Teknologi	**1. Tahap 1: Identifikasi & Pemetaan** – Audit kebutuhan operasional (pemantauan sumur, prediksi produksi, dsb.) – Pemetaan kompetensi SDM (gap analysis) untuk merancang pelatihan **2. Tahap 2: Pilot Project** – Uji coba AI/ML dan cloud di proyek kecil (contoh: optimasi pompa PHE +15% efisiensi) – Ukur ROI dan kelayakan teknis **3. Tahap 3: Skalabilitas & Pelatihan Intensif** – Perluasan penggunaan di lapangan – Pelatihan terstruktur bagi operator & teknisi **4. Tahap 4: Evaluasi & Perbaikan** – Monitoring kinerja, feedback pengguna – Penyesuaian berkelanjutan untuk menjaga relevansi teknis
Strategi Pengembangan SDM	**– Pelatihan Berbasis Open Source:** Linux, Apache Spark, Python, TensorFlow/PyTorch untuk memberdayakan pengguna dan kontributor. **– Komunitas Internal:** Forum daring, workshop, sharing session untuk pertukaran praktik terbaik. **– Kolaborasi Perguruan Tinggi:** Kurikulum data science/ML/cloud, magang, dan riset bersama (IARC, proyek FTUI).
Manajemen Perubahan	**– Komunikasi Transparan:** Jelaskan kebutuhan, manfaat, dan proses transisi open source. **– Pelatihan Komprehensif:** Teknis dan edukasi budaya open source (etika, kolaborasi). **– Insentif & Apresiasi:** Pengakuan atau jalur karir bagi pionir adopsi untuk mendorong agen perubahan.
Kesimpulan	Strategi terintegrasi—mulai dari roadmap adopsi teknologi, pengembangan kapabilitas SDM, hingga manajemen perubahan—adalah kunci untuk mencapai target produksi migas sambil memastikan efisiensi biaya dan kedaulatan data melalui solusi open source.

BAB: Kebijakan Pendukung dan Regulasi

Indonesia bercita-cita mencapai target produksi migas 1 juta barel minyak per hari dan 12 miliar standar kaki kubik gas per hari pada 2030. Untuk mencapai tujuan ambisius ini, **transformasi digital berbasis teknologi *open source*** menjadi kunci utama. Teknologi *open source* berpotensi besar meningkatkan efisiensi, menekan biaya operasional, dan mempercepat inovasi di sektor hulu migas. Namun, keberhasilan adopsi teknologi ini sangat bergantung pada **kebijakan pendukung dan regulasi yang jelas**, serta **implementasi yang konsisten** dari berbagai pihak.

Kebijakan SKK Migas

Insentif untuk Penggunaan Open Source dan Cloud Lokal



SKK Migas telah mendorong transformasi digital di sektor hulu migas, termasuk penerapan *cloud* dan *machine learning*. Salah satu inisiatif penting adalah mendorong penggunaan **pusat data berbasis *cloud network* yang terintegrasi** untuk mengelola *big data* dari Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS). Tujuannya adalah mengurangi biaya *cost-of-recovery* dan meningkatkan efisiensi pengelolaan cadangan migas.

Meskipun begitu, insentif spesifik untuk teknologi *open source* dan *cloud* lokal masih perlu ditingkatkan. SKK Migas belum memiliki pedoman insentif fiskal atau non-fiskal yang eksplisit untuk mendorong KKKS mengadopsi solusi *open source* ketimbang *proprietary software*. Sebagai contoh, negara seperti Norwegia telah berhasil meningkatkan efisiensi

industri migas secara signifikan melalui insentif pajak untuk adopsi teknologi *open source*.

Tantangan juga muncul pada kebijakan *cloud* lokal. Banyak KKKS, terutama yang asing, masih memilih penyedia *cloud* global karena infrastruktur *cloud* lokal di Indonesia belum sepenuhnya memenuhi standar skalabilitas dan keandalan yang mereka butuhkan. SKK Migas perlu **memperkuat insentif**, seperti subsidi biaya migrasi atau keringanan pajak, untuk mendorong adopsi *cloud* lokal yang lebih luas.

Standar Interoperabilitas dan Keamanan Data

Interoperabilitas data adalah kunci dalam pengelolaan *big data* migas. SKK Migas telah menetapkan kebutuhan akan *data center* terpusat untuk konsolidasi data yang cepat dan aman. Namun, standar interoperabilitas yang jelas masih kurang optimal. Data dari lapangan migas sering kali tidak kompatibel antar *platform* yang berbeda. SKK Migas perlu **menerapkan standar interoperabilitas** yang lebih komprehensif, berdasarkan teknologi terbuka dan dokumentasi metadata yang jelas.

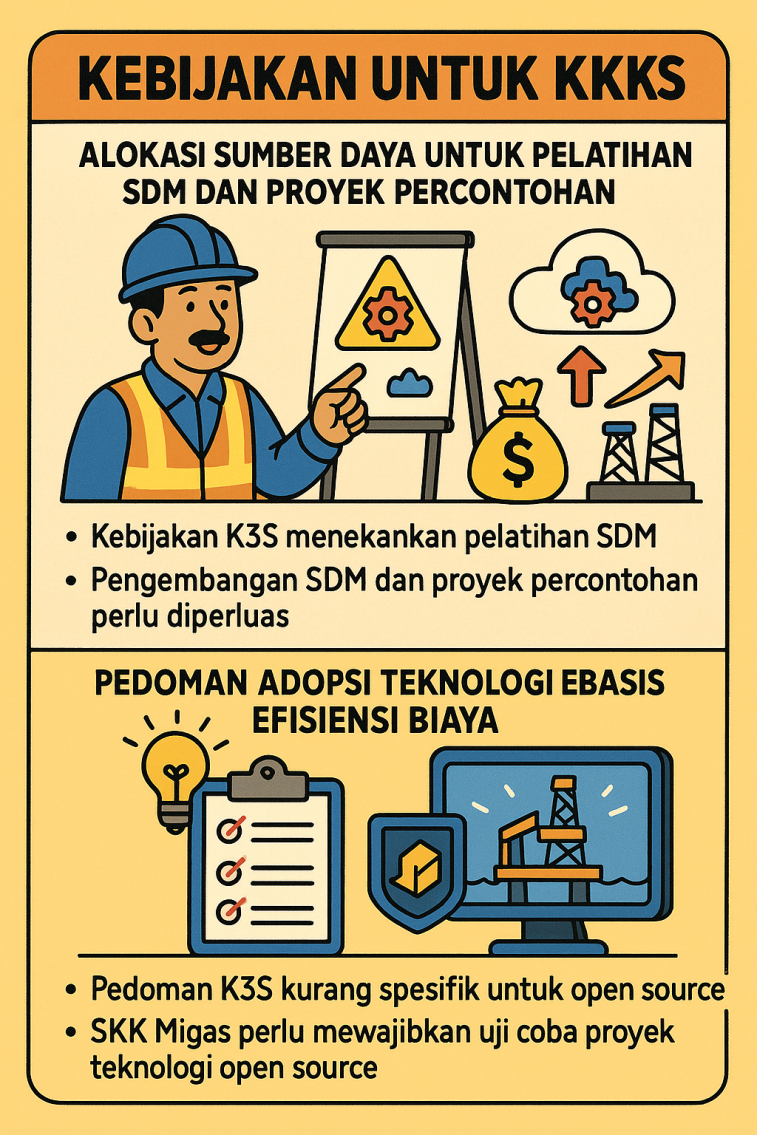
Keamanan data juga menjadi isu krusial di tengah meningkatnya ancaman siber. SKK Migas harus memastikan bahwa *cloud network* memenuhi standar keamanan internasional dan memiliki mekanisme enkripsi *end-to-end*. Penting bagi SKK Migas untuk mengeluarkan **regulasi yang mewajibkan standar keamanan data berbasis *open source***, seperti penggunaan *firewall* atau alat *monitoring* yang lebih hemat biaya dibandingkan solusi berbayar.

Kebijakan untuk Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS)

Alokasi Sumber Daya untuk Pelatihan SDM dan Proyek Percontohan

Kebijakan Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lindungan Lingkungan (K3S) di sektor migas menempatkan **pelatihan sumber daya manusia (SDM)** sebagai prioritas untuk mendukung transformasi digital. Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) telah menyelenggarakan pelatihan berbasis K3 dan teknologi digital.

Namun, alokasi anggaran untuk pelatihan SDM masih terbatas. SKK Migas perlu **meningkatkan alokasi anggaran** untuk pengembangan SDM dan **memperluas proyek percontohan** adopsi teknologi *open source* ke berbagai lapangan migas, termasuk ladang-ladang kecil, untuk memastikan skalabilitas dan efektivitasnya.



Pedoman Adopsi Teknologi Berbasis Efisiensi Biaya

Pedoman K3S untuk adopsi teknologi berbasis efisiensi biaya masih bersifat umum dan belum spesifik terhadap teknologi *open source*. Meskipun teknologi seperti *Digital Twin* dan IoT dapat mengurangi biaya operasional, implementasinya memerlukan **panduan teknis yang jelas**. SKK Migas belum menerbitkan pedoman yang secara spesifik mengatur penggunaan teknologi *open source* untuk meminimalkan biaya operasional.

Salah satu tantangan utama adalah resistensi dari KKKS kecil yang menganggap teknologi *open source* kurang andal dibandingkan solusi *proprietary*. SKK Migas perlu mengeluarkan **pedoman K3S yang mewajibkan uji coba teknologi *open***

source dalam proyek-proyek kecil sebelum adopsi skala penuh, disertai dengan metrik efisiensi biaya yang jelas.

Kebijakan Pemerintah

Regulasi Kedaulatan Data dan Dukungan Cloud Lokal



Pemerintah Indonesia telah menerbitkan regulasi untuk mendukung **kedaulatan data**, seperti Peraturan Pemerintah No. 71 Tahun 2019 dan Peraturan Menteri Kominfo No. 1 Tahun 2023, yang mewajibkan data strategis, termasuk data migas, disimpan di pusat data dalam negeri. Namun, implementasinya di sektor migas masih lambat, sebagian besar karena keterbatasan infrastruktur *cloud* yang memadai.

Dukungan pemerintah untuk *cloud* lokal juga perlu diperluas, terutama ke KKKS kecil yang berkontribusi signifikan pada produksi migas nasional. Pemerintah perlu **memperluas cakupan subsidi** untuk migrasi ke *cloud* lokal dan **menetapkan target adopsi *cloud* lokal** yang lebih ambisius untuk mendukung kedaulatan data.

Insentif Fiskal untuk Pelatihan SDM dan Riset Teknologi

Pemerintah telah memberikan insentif fiskal untuk sektor migas secara umum. Namun, **insentif khusus untuk pelatihan SDM dan riset teknologi *open source* masih minim**. Insentif fiskal untuk pelatihan SDM masih sangat rendah jika dibandingkan dengan negara lain.

Dukungan untuk riset teknologi juga masih perlu ditingkatkan. Pemerintah perlu **memperkenalkan insentif pajak yang lebih besar** bagi perusahaan yang berinvestasi dalam pelatihan SDM dan riset *open source*, serta **membentuk dana khusus** untuk proyek-proyek inovasi migas berbasis teknologi terbuka.

Kerangka Akademik

Kurikulum Berbasis Kebutuhan Industri Migas



Kurikulum akademik untuk mendukung transformasi digital di sektor migas masih belum sepenuhnya selaras dengan kebutuhan industri. Meskipun PPSDM Migas telah mengintegrasikan teknologi digital, kurikulum universitas masih cenderung berfokus pada teknologi *proprietary*.

Penting untuk **mengubah kurikulum berbasis kebutuhan industri**, mencakup pelatihan praktis dalam pengembangan solusi *open source*. **Kolaborasi antara SKK Migas, KKKS, dan institusi pendidikan** dapat menghasilkan program magang yang signifikan, mempersiapkan SDM yang relevan dengan kebutuhan industri migas.

Publikasi Riset Open Source yang Mudah Diakses

Publikasi riset *open source* di sektor migas masih terbatas. Repository yang ada mendukung akses terbuka, namun hanya sebagian kecil publikasi terkait migas yang berfokus pada teknologi *open source*.

SKK Migas dan Kementerian ESDM perlu **mendirikan repository nasional untuk riset migas berbasis *open source*** dan **memberikan insentif penelitian** untuk mendorong akademisi menghasilkan solusi *open source* yang relevan dan mudah diakses oleh industri.

Singkatnya, meskipun potensi inovasi teknologi digital berbasis *open source* di sektor migas sangat besar, masih banyak tantangan dalam hal kebijakan dan regulasi. SKK Migas perlu **memperkuat insentif dan standar**, kebijakan K3S harus **meningkatkan alokasi anggaran dan pedoman efisiensi**, pemerintah perlu **memperluas regulasi kedaulatan data dan insentif fiskal**, serta kerangka akademik harus **menyelaraskan kurikulum dan mendorong publikasi riset *open source***. Dengan **implementasi yang terkoordinasi**, kebijakan ini dapat mendukung pencapaian target produksi migas 2030 secara berkelanjutan dan efisien.

Ringkasan sebagai berikut:

Pemangku Kepentingan / Aspek	Ringkasan Kebijakan
SKK Migas – Insentif Open Source & Cloud Lokal	Mendorong penggunaan cloud network terintegrasi untuk big data KKKS; namun insentif fiskal/non-fiskal khusus untuk adopsi open source dan migrasi ke cloud lokal masih minim—perlu subsidi migrasi, keringanan pajak, dan pedoman insentif eksplisit.
SKK Migas – Standar Interoperabilitas & Keamanan Data	Menetapkan data center terpusat, tetapi kebutuhan interoperabilitas antar-platform belum optimal; perlu standar metadata terbuka dan regulasi keamanan siber (end-to-end encryption, firewall open source) untuk menjamin integritas dan kedaulatan data migas.
KKKS – Alokasi SDM & Proyek Percontohan	Pelatihan K3S & digital telah diselenggarakan oleh PPSDM Migas, tetapi anggaran terbatas; perlu peningkatan alokasi untuk pelatihan SDM dan skema pilot project open source di lapangan (termasuk ladang kecil) supaya hasil dapat diskalakan.
KKKS – Pedoman Adopsi Teknologi Hemat Biaya	Pedoman K3S saat ini bersifat umum dan belum khusus untuk open source; perlu regulasi yang mewajibkan uji coba teknologi open source dalam proyek kecil dengan metrik efisiensi biaya yang jelas sebelum penerapan skala penuh.
Pemerintah – Regulasi Kedaulatan Data & Dukungan Cloud Lokal	PP No. 71/2019 & Permenkominfo No. 1/2023 mengamanatkan penyimpanan data strategis di dalam negeri; implementasi migas lambat karena infrastruktur cloud lokal belum memadai—perlu perluasan subsidi dan target adopsi cloud lokal yang lebih ambisius, khususnya untuk KKKS kecil.
Pemerintah – Insentif Fiskal untuk SDM & Riset Teknologi	Insentif fiskal umum untuk migas ada, tetapi khusus untuk pelatihan SDM dan riset open source masih sangat rendah; perlu insentif pajak lebih besar bagi perusahaan yang investasi di pelatihan dan riset open source, serta pembentukan dana khusus inovasi migas berbasis open source.
Kerangka Akademik – Kurikulum Berbasis Kebutuhan Industri	Kurikulum universitas masih fokus pada teknologi proprietary; perlu diselaraskan dengan kebutuhan industri migas (misal: data science, ML, cloud) melalui program magang kolaboratif SKK Migas–KKKS–PT, serta pelatihan praktis pengembangan solusi open source.
Kerangka Akademik – Publikasi Riset Open Source Mudah Diakses	Repository terbuka ada, tetapi publikasi migas berbasis open source masih terbatas; SKK Migas dan ESDM perlu mendirikan repository nasional khusus riset migas open source dan memberi insentif penelitian untuk mendorong akademisi menghasilkan solusi yang relevan dan dapat diakses langsung oleh industri.

Penutup: Merajut Kemandirian Migas dengan Inovasi Open Source

Buku "Inovasi Teknologi Digital Berbasis Open Source dalam Mendukung Pencapaian Target Produksi Migas" telah mengulas bagaimana pemanfaatan teknologi digital open source dapat menjadi pilar utama dalam mencapai target produksi minyak dan gas bumi (migas) di Indonesia. Dari eksplorasi hingga distribusi, potensi **adaptabilitas, efisiensi biaya, dan transparansi** yang ditawarkan oleh solusi open source sangat menjanjikan bagi industri migas nasional.

Strategi SDM dan Penguasaan Teknologi Open Source sebagai Kunci Kemandirian Migas

Kemandirian sektor migas di Indonesia tidak hanya bergantung pada penemuan cadangan baru, tetapi juga pada kemampuan mengoptimalkan efisiensi operasional dan mengurangi ketergantungan pada teknologi berpemilik (proprietary). Untuk mencapai target produksi migas nasional, yaitu **1 juta barel minyak per hari dan 12 miliar standar kaki kubik gas per hari pada tahun 2030**, sebagaimana digagas dalam strategi Indonesia Oil and Gas (IOG) 4.0, **strategi pengembangan sumber daya manusia (SDM) yang kompeten dan penguasaan teknologi open source menjadi dua pilar utama**.

Pengembangan SDM yang fokus pada teknologi open source merupakan fondasi kemandirian migas. Saat ini, tantangan besar terletak pada **rendahnya kompetensi digital di kalangan pekerja migas**. Untuk mengatasi ini, perusahaan migas seperti Pertamina telah menerapkan program *reskilling* dan *upskilling*, fokus pada penguasaan teknologi seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), dan Digital Twin. Contohnya, Pertamina Hulu Rokan (PHR) melalui Digital & Innovation Center (DICE) berhasil **meningkatkan produksi Blok Rokan sebesar 26% dari total produksi nasional** melalui penerapan teknologi digital. Namun, tanpa budaya berbasis data dan kolaborasi lintas sektor, transformasi digital ini tidak akan optimal.

Penguasaan teknologi open source menjadi katalis untuk kemandirian teknologi. Teknologi ini menawarkan **efisiensi biaya yang signifikan**, karena dapat **mengurangi biaya produksi hingga 50-62%** dibandingkan solusi proprietary. Selain itu, **keahlian open source memungkinkan perusahaan migas untuk mengembangkan atau memodifikasi solusi internal yang disesuaikan** tanpa ketergantungan pada vendor eksternal, sekaligus mempercepat pengembangan solusi IT. Meskipun program Indonesia Go Open Source (IGOS) telah mendorong adopsi perangkat lunak open source sejak 2004, **rendahnya adopsi di Indonesia—disebabkan oleh kurangnya kesadaran kolektif—menghambat potensi penuhnya**. Oleh karena itu, strategi SDM harus diintegrasikan dengan pelatihan khusus open source untuk memastikan tenaga kerja mampu mengembangkan dan memelihara solusi lokal, mengurangi ketergantungan pada vendor asing.

Kritik utama terhadap strategi saat ini adalah **kurangnya sinergi antara pengembangan SDM dan implementasi teknologi open source**. Banyak perusahaan migas masih terjebak dalam paradigma "vendor lock-in," yang meningkatkan biaya operasional dan

menghambat inovasi. Untuk mencapai kemandirian migas, pemerintah dan industri harus fokus pada **pendidikan berbasis teknologi open source sejak dini**, seperti melalui kurikulum yang menekankan *machine learning* dan IoT, sebagaimana diadopsi oleh beberapa universitas.

Visi Masa Depan: Indonesia sebagai Pemimpin Inovasi Teknologi Migas Berbasis Open Source

Indonesia memiliki peluang besar untuk memposisikan diri sebagai **pemimpin inovasi teknologi migas berbasis open source di tingkat regional, bahkan global**, selaras dengan visi Indonesia Maju 2045. Dengan memanfaatkan teknologi open source, Indonesia dapat menciptakan **ekosistem teknologi migas yang inklusif, hemat biaya, dan adaptif** terhadap tantangan global seperti penurunan produksi sumur tua dan keterbatasan eksplorasi cekungan baru.

Transformasi digital berbasis open source telah terbukti efektif di berbagai sektor. Di sektor migas, Chevron dan Pertamina melalui DICE telah menunjukkan bahwa teknologi seperti AI dan Digital Twin dapat meningkatkan akurasi prediksi cadangan dan mengoptimalkan pengeboran, **mengurangi risiko sumur kering (*dry hole*)**. Indonesia dapat mengadopsi model serupa dengan mengembangkan platform open source yang memungkinkan interoperabilitas solusi AI untuk energi.

Namun, visi ini menghadapi tantangan struktural. Pertama, hanya **20 dari 128 cekungan migas di Indonesia yang dieksplorasi secara aktif**, menunjukkan perlunya teknologi seismik 3D berbasis open source untuk mempercepat eksplorasi. Kedua, **rendahnya investasi dalam riset dan pengembangan (R&D) teknologi open source lokal** menghambat inovasi. Anggaran R&D Indonesia hanya 0,28% dari PDB pada 2023, jauh di bawah rata-rata global 2,5%. Untuk menjadi pemimpin, Indonesia harus **meningkatkan investasi dalam pengembangan solusi open source lokal** dan mendorong kolaborasi antara akademisi, industri, dan komunitas open source. Keberhasilan visi ini juga bergantung pada kemampuan Indonesia untuk menarik talenta global dan memanfaatkan diaspora teknologi, dengan memperluas program pelatihan digital yang berfokus pada teknologi migas open source.

Ajakan Kolaborasi: Sinergi Lintas Sektor untuk Implementasi yang Berkelanjutan

Untuk mewujudkan kemandirian migas dan posisi Indonesia sebagai pemimpin inovasi teknologi open source, **kolaborasi lintas sektor menjadi prasyarat utama**. Sinergi antara pemerintah, industri migas, akademisi, dan komunitas open source harus diperkuat melalui langkah-langkah konkret:

- **Pemerintah**: Perlu **memperbarui kebijakan IGOS** dengan target adopsi open source di 80% instansi migas pada 2030, serta memberikan **insentif pajak** bagi perusahaan yang mengadopsi teknologi ini.
- **Industri Migas**: Perusahaan seperti Pertamina dan Medco harus **berkolaborasi dengan penyedia solusi digital lokal** untuk mengembangkan platform open source

berbasis IoT dan AI. Proyek percontohan seperti yang dilakukan SKK Migas dengan teknologi Digital Twin perlu diperluas.

- **Akademisi**: Universitas harus **mengintegrasikan kurikulum open source** dalam program Teknik Industri dan Informatika untuk mencetak SDM yang siap menghadapi tantangan digital migas.
- **Komunitas Open Source**: Komunitas pengembang harus **dilibatkan dalam pengembangan solusi lokal**, memastikan teknologi relevan dengan kebutuhan industri.

Tantangan utama adalah **resistensi terhadap perubahan budaya dan birokrasi yang lambat**. Namun, contoh sukses seperti pengelolaan Blok Rokan oleh Pertamina dengan dukungan teknologi digital menunjukkan potensi sinergi ini.

Ajakan ini bukan sekadar seruan, tetapi **panggilan untuk bertindak**. Dengan memanfaatkan potensi SDM muda, teknologi open source, dan kolaborasi lintas sektor, Indonesia dapat mencapai kemandirian migas dan menjadi pemimpin inovasi global. Mari bersama wujudkan masa depan migas yang berkelanjutan dan berdaya saing, dengan **teknologi open source sebagai jantung transformasi**.

Referensi

Accenture. (n.d.). Artificial intelligence (AI) services & solutions. Retrieved from https://www.accenture.com/us-en/services/data-ai

Amazon Web Services. (n.d.). Powering AI/ML with MDIO seismic streaming from the OSDU data platform. Retrieved from https://aws.amazon.com/blogs/industries/powering-ai-ml-with-mdio-seismic-streaming-from-the-osdu-data-platform/

Bajracharya, S., & Lopes, C. V. (2021). SeisBench: A toolbox for machine learning in seismology. arXiv. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2111.00786

CNBC Indonesia. (2025, February 27). Rata-rata produksi migas RI sepanjang 2024 capai 1,79 juta barel. CNBC Indonesia. Retrieved from https://www.cnbcindonesia.com/news/20250227132413-4-614129/rata-rata-produksi-migas-ri-sepanjang-2024-capai-179-juta-barel

Confluent. (n.d.). Confluent dorong transformasi digital Indonesia lewat data streaming real time. Kontan. Retrieved from https://industri.kontan.co.id/news/confluent-dorong-transformasi-digital-indonesia-lewat-data-streaming-real-time

Datagarda. (n.d.). Data sovereignty: Why it matters for data center businesses in Indonesia. Retrieved from https://datagarda.com/data-sovereignty-why-it-matters-for-data-center-businesses-in-indonesia/

Datategy. (2023, December 15). AI predictive maintenance in oil & gas industry. Retrieved from https://www.datategy.net/2023/12/15/ai-predictive-maintenance-in-oil-gas-industry/

Datategy. (2024, January 5). Oil & gas: The future with generative AI. Retrieved from https://www.datategy.net/2024/01/05/oil-gas-the-future-with-generative-ai/

Deloitte. (n.d.). 2025 oil and gas industry outlook. Retrieved from https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/oil-and-gas-industry-outlook.html

Indonesian Petroleum Association. (n.d.). Mengejar target lifting migas 2025. Retrieved from https://www.ipa.or.id/id/news/news/pursuing-indonesias-2025-oil-and-gas-lifting-target

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (n.d.). Perlu peran serta pemerintah daerah dorong realisasi target lifting migas. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. Retrieved from https://migas.esdm.go.id/post/Perlu-Peran-Serta-Pemerintah-Daerah-Dorong-Realisasi-Target-Lifting-Migas

LinkedIn. (n.d.). Case study: Shell’s AI-powered predictive maintenance. Retrieved from https://www.linkedin.com/pulse/case-study-shells-ai-powered-predictive-maintenance-predco ai-zuozc

LinkedIn. (n.d.). Open source vs. proprietary software: Rethinking the cost-benefit. Retrieved from https://www.linkedin.com/pulse/open-source-vs-proprietary-software-g5tfc

Microsoft. (2025, May 27). Microsoft opens its first cloud region in Indonesia to unlock the new.... Retrieved from https://news.microsoft.com/id-id/2025/05/27/microsoft-opens-indonesia-central/

OG Indonesia. (2024, June). Terapkan AI/ML, hulu migas peroleh manfaat setara Rp1,28 triliun. Retrieved from https://www.ogindonesia.com/2024/06/terapkan-aiml-hulu-migas-peroleh.html

Paszke, A., Gross, S., et al. (2019). PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library. arXiv. Retrieved from https://arxiv.org/pdf/1912.01703.pdf

Pertamina Hulu Energi. (n.d.). Pertamina EP hidupkan lapangan tua, targetkan produksi 213 MBOEPD. Retrieved from https://phe.pertamina.com/id/media/pertamina-ep-hidupkan-lapangan-tua-targetkan-produksi -213-mboepd

PingCAP. (n.d.). Open source vs closed source software: Weighing the benefits. Retrieved from https://www.pingcap.com/article/open-source-vs-closed-source-software-benefits/

SimScale. (n.d.). Proprietary or open-source software — Which is best? Retrieved from https://www.simscale.com/blog/open-source-vs-proprietary-software/

SKK Migas. (2024, November 6). SKK Migas luncurkan empat fitur baru IOC dorong transformasi digital. Antara News. Retrieved from https://www.antaranews.com/berita/3814026/skk-migas-luncurkan-empat-fitur-baru-ioc-doro ng-transformasi-digital

Suara Energi. (n.d.). Transformasi digital, SKK Migas terapkan pengadaan barang dan jasa lewat IOG e-commerce. Retrieved from https://suaraenergi.com/transformasi-digital-skk-migas-terapkan-pengadaan-barang-dan-jas a-lewat-iog-e-commerce/

The Linux Foundation. (n.d.). The value of open source software is more than cost savings. Retrieved from https://www.linuxfoundation.org/blog/the-value-of-open-source-software-is-more-than-cost-s avings

Wikipedia. (n.d.). Apache Spark. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Spark

Wikipedia. (n.d.). PyTorch. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/PyTorch

Wikipedia. (n.d.). TensorFlow. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/TensorFlow

Woolford, J., et al. (n.d.). OpendTect Pro & dGB plugins documentation - 6.6. Retrieved from https://doc.opendtect.org/6.6.0/doc/dgb_userdoc/Default.htm

Zaharia, M., et al. (n.d.). Apache Spark™ - Unified engine for large-scale data analytics. Retrieved from https://spark.apache.org/

451 Research. (n.d.). Top AI and machine learning adoption strategies of enterprises. Retrieved from https://go.451research.com/MI-top-AI-machine-learning-enterprise-adoption-strategies.html

Glosarium

AI (Artificial Intelligence): Kecerdasan Buatan. Cabang ilmu komputer yang mengembangkan mesin atau perangkat lunak untuk berpikir, belajar, dan memecahkan masalah layaknya manusia.

AI/ML: Singkatan dari Artificial Intelligence (Kecerdasan Buatan) dan Machine Learning (Pembelajaran Mesin).

Apache Spark: Mesin unified analytics open source yang esensial untuk pemrosesan data besar, menyediakan API DataFrame dan MLlib untuk pipeline *machine learning* terdistribusi yang efisien.

APBN: Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara. Dokumen yang berisi rencana keuangan tahunan pemerintah Indonesia.

API DataFrame: Antarmuka pemrograman aplikasi untuk mengelola dan memanipulasi data terstruktur dalam Apache Spark.

BOEPD (Barel Setara Minyak per Hari): Satuan pengukuran produksi migas yang mengkonversi volume gas menjadi setara barel minyak.

BOPD (Barel Minyak per Hari): Satuan pengukuran volume produksi minyak mentah.
ChatGPT: Sebuah model bahasa besar (*Large Language Model*) berbasis AI yang dikembangkan oleh OpenAI.

Cloud Lokal: Layanan komputasi awan yang infrastruktur dan datanya disimpan serta dikelola di dalam wilayah geografis suatu negara, memastikan kedaulatan data dan kepatuhan regulasi.

Data Center: Fasilitas fisik yang menampung sistem komputer dan komponen terkait, seperti telekomunikasi dan penyimpanan data.

Data Residency: Persyaratan hukum atau peraturan yang menentukan lokasi geografis di mana data digital harus disimpan.

Deep Learning: Sub-bidang dari *machine learning* yang menggunakan jaringan saraf tiruan (*neural networks*) dengan banyak lapisan untuk memodelkan abstraksi data.

Digital Twin: Representasi virtual dari objek atau sistem fisik yang diperbarui secara *real-time* dengan data sensor untuk pemantauan, analisis, dan simulasi.

Downtime: Periode ketika suatu sistem atau peralatan tidak beroperasi atau tidak tersedia.

Edge Cloud: Arsitektur komputasi awan yang memproses data lebih dekat ke sumbernya, di "tepi" jaringan, untuk mengurangi latensi dan menghemat *bandwidth*.

EOR (Enhanced Oil Recovery): Metode peningkatan perolehan minyak. Teknik untuk meningkatkan jumlah minyak mentah yang dapat diekstraksi dari sumur minyak yang sudah ada.

EWS (Early Warning System): Sistem peringatan dini. Sistem yang dirancang untuk mendeteksi dan memberikan peringatan tentang kondisi atau peristiwa yang berpotensi membahayakan.

Grok: Sebuah model bahasa besar berbasis AI yang dikembangkan oleh xAI.

GPU (Graphics Processing Unit): Unit Pemrosesan Grafis. Prosesor khusus yang dirancang untuk mempercepat rendering gambar dan kini banyak digunakan untuk komputasi paralel dalam AI/ML.

Gemini: Sebuah model bahasa besar berbasis AI yang dikembangkan oleh Google.

Hybrid Cloud: Lingkungan komputasi awan yang menggabungkan *private cloud* dengan *public cloud*, memungkinkan data dan aplikasi berpindah antar kedua lingkungan.

IGOS (Indonesia Go Open Source): Program pemerintah Indonesia yang diluncurkan pada tahun 2004 untuk mendorong adopsi perangkat lunak *open source*.

IOC (Integrated Operation Center): Pusat Operasi Terintegrasi. Pusat kendali terpusat untuk memantau dan mengelola operasi migas secara menyeluruh.

IoT (Internet of Things): Konsep di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain untuk terhubung dan bertukar data melalui internet.

ITTS (Institut Teknologi Tangerang Selatan): Sebuah institusi pendidikan tinggi di Indonesia.

Kedaulatan Data: Prinsip di mana data strategis suatu negara (seperti data migas) sepenuhnya berada di bawah kendali dan yurisdiksi negara tersebut.

Kemenkomdigi: Kementerian Komunikasi dan Informatika (sering disebut juga Kemenkominfo).

Kemandirian Teknologi: Kemampuan suatu negara untuk mengembangkan, mengadopsi, dan mengelola teknologinya sendiri tanpa terlalu bergantung pada pihak asing atau solusi berpemilik.

KKKS (Kontraktor Kontrak Kerja Sama): Perusahaan yang bekerja sama dengan SKK Migas dalam kegiatan eksplorasi dan produksi migas di Indonesia.

Kubernetes: Sistem *open source* untuk otomatisasi penyebaran, penskalaan, dan pengelolaan aplikasi dalam kontainer.

Kurva Penurunan Produksi Sumur: Grafik yang menunjukkan laju penurunan produksi minyak atau gas dari suatu sumur seiring waktu.

Legacy System: Sistem komputer lama atau usang yang masih digunakan oleh organisasi, seringkali karena biaya penggantian yang tinggi atau kompleksitas integrasi.

Lifting Akumulasi: Total volume minyak dan gas yang berhasil diangkat (diproduksi dan dijual) dalam periode tertentu.

Linux: Keluarga sistem operasi *open source* yang populer dan sering digunakan sebagai dasar untuk *server* dan *cloud*.

LLM (Large Language Model): Model Bahasa Besar. Jenis model AI yang dirancang untuk memahami, menghasilkan, dan memanipulasi bahasa manusia.

LXD: Manajer kontainer *open source* untuk Linux, mirip dengan mesin virtual tetapi lebih ringan.

Machine Learning (ML): Pembelajaran Mesin. Cabang AI yang memungkinkan sistem belajar dari data dan membuat prediksi atau keputusan tanpa diprogram secara eksplisit.

MLOps (Machine Learning Operations): Serangkaian praktik yang bertujuan untuk menyederhanakan siklus hidup pengembangan dan penyebaran model *machine learning* secara efisien.

On-premise: Istilah yang mengacu pada perangkat keras dan perangkat lunak yang diinstal dan dijalankan secara lokal di fasilitas milik organisasi.

Open Source: Perangkat lunak atau teknologi yang kode sumbernya tersedia untuk umum, memungkinkan siapa saja untuk menggunakannya, memodifikasinya, dan mendistribusikannya.

OpendTect: Platform *open source* untuk interpretasi seismik 2D, 3D, dan 4D.

OSDU® Data Platform: Platform data *open source* untuk industri migas yang bertujuan untuk standarisasi format data *subsurface* dan interoperabilitas.

Peraturan Pemerintah No. 71 Tahun 2019: Regulasi pemerintah Indonesia yang mengatur tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik, termasuk kewajiban penyimpanan data strategis di dalam negeri.

PHR (Pertamina Hulu Rokan): Salah satu anak perusahaan Pertamina yang mengelola Blok Rokan.

PoC (Proof of Concept): Bukti Konsep. Proyek kecil atau demonstrasi untuk menguji kelayakan atau potensi suatu ide atau teknologi.

Private Cloud: Lingkungan komputasi awan yang didedikasikan untuk satu organisasi, dapat di-host di lokasi atau oleh penyedia pihak ketiga.

Proprietary Software: Perangkat lunak berpemilik. Perangkat lunak yang dilindungi hak cipta dan kode sumbernya tidak tersedia untuk umum, membatasi penggunaan, modifikasi, dan distribusinya.

Pustaka (Library): Kumpulan kode atau fungsi yang dapat digunakan kembali dalam program komputer.

PyTorch: Pustaka *deep learning* berbasis Python yang dikenal karena fleksibilitas dan kemudahannya, dikembangkan oleh Meta AI.

Repository SPBE: Repositori atau tempat penyimpanan terpusat untuk aplikasi Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik dan *source code*-nya, yang dikelola oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika.

Reskilling: Proses melatih karyawan dengan keterampilan baru yang berbeda untuk mengambil peran baru.

Roadmap Adopsi Teknologi: Rencana strategis bertahap untuk mengimplementasikan dan mengintegrasikan teknologi baru.

ROP (Rate of Penetration): Laju Penetrasi. Kecepatan mata bor menembus formasi batuan saat pengeboran sumur migas.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): Sistem kontrol industri yang mengawasi dan mengendalikan proses industri dari jarak jauh.

SDM (Sumber Daya Manusia): Tenaga kerja atau karyawan dalam suatu organisasi atau industri.

SeisBench: *Toolkit open source* untuk menjalankan model *deep learning* pada data seismik.

Single Point of Failure: Bagian dari suatu sistem yang jika gagal, akan menyebabkan seluruh sistem berhenti berfungsi.

SKK Migas (Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi): Lembaga di bawah Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia yang bertugas melaksanakan pengelolaan kegiatan usaha hulu migas.

Source Code: Kode sumber. Instruksi yang ditulis oleh programmer dalam bahasa pemrograman yang dapat dibaca manusia.

SPBE (Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik): Sistem yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk memberikan layanan pemerintahan secara elektronik.

TCO (Total Cost of Ownership): Total Biaya Kepemilikan. Perkiraan semua biaya langsung dan tidak langsung yang terkait dengan kepemilikan suatu aset atau sistem.

TensorFlow: Framework *machine learning open source* yang dikembangkan oleh Google, populer untuk membangun model *deep learning* skala besar.

Transformasi Digital: Proses pengintegrasian teknologi digital ke dalam semua bidang bisnis, mengubah cara organisasi beroperasi dan memberikan nilai kepada pelanggan.

Ubuntu: Sistem operasi Linux yang populer.

Upskilling: Proses melatih karyawan dengan keterampilan tambahan untuk meningkatkan kompetensi dalam peran mereka saat ini.

Vendor Lock-in: Situasi di mana pelanggan menjadi bergantung pada vendor tunggal untuk produk atau layanan, sehingga sulit untuk beralih ke vendor lain.

Well Performance Monitoring (WPM): Pemantauan Kinerja Sumur. Sistem untuk melacak dan menganalisis data produksi dan operasional sumur secara *real-time*.

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