

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

GAMBARAN UMUM PT PIONIR ENERGI HIJAU

2.1. Penjelasan Umum



Gambar 2.1. Logo PT Pionir Energi Hijau

Nama Instansi : PT Pionir Energi Hijau
Alamat : Plaza Asia Lt. 26 Jl. Jend Sudirman Kav 59 Jakarta Selatan 12190
Email : 360energyio@gmail.com

2.1.1. Tugas Pokok dan Fungsi PT Pionir Energi Hijau

Perusahaan PT Pionir Energi Hijau, yang juga dikenal dengan *360energy*, adalah perusahaan yang bergerak di bidang Energi Terbarukan, yang berfokus pada membangun energi sebagai produk berbasis layanan (*Energy as a Service – EaaS*). Pelayanan yang dilakukan oleh perusahaan meliputi sisi desain, pemodelan finansial, pemasangan, operasional, hingga pemeliharaan, memastikan bisnis – bisnis yang memanfaatkan energi terbarukan fokus pada pertumbuhannya dengan menjadikan sisi teknis dilakukan oleh PT Pionir Energi Hijau.

Seiring dengan laju industrialisasi global yang semakin pesat, permintaan terhadap konsumsi energi dan emisi karbon terus meningkat secara signifikan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Fenomena ini menghadirkan tantangan serius bagi agenda pembangunan berkelanjutan di seluruh dunia. Peningkatan aktivitas industri yang tidak diimbangi dengan manajemen energi yang efisien berpotensi memperburuk krisis lingkungan. Oleh karena itu, transisi menuju sumber energi yang lebih bersih bukan lagi sekadar pilihan, melainkan sebuah kebutuhan mendesak untuk menyeimbangkan kemajuan ekonomi dengan kelestarian ekologi.

Dalam konteks regional, Indonesia diidentifikasi memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar namun belum dimanfaatkan secara optimal (*untapped potential*). Kekayaan sumber daya alam nusantara, mulai dari energi surya, angin, air, hingga biomassa, menawarkan peluang besar sebagai sumber energi alternatif [12]. Kendati demikian, realisasi pemanfaatan potensi ini masih berada pada tingkat fraksional jika dibandingkan dengan ketersediaannya yang melimpah, kesenjangan antara potensi dan realisasi ini menuntut adanya intervensi strategis untuk mengakselerasi adopsi energi hijau [13].

Merespons tantangan dan peluang tersebut, *360Energy* memosisikan diri sebagai pelopor dalam era baru solusi energi terbarukan. Perusahaan ini secara spesifik menargetkan sektor-sektor vital perekonomian, meliputi sektor industri, pertanian, dan komersial. Melalui pendekatan yang terfokus, *360Energy* berupaya memberdayakan pelaku bisnis untuk melakukan transisi energi. Inisiatif ini bertujuan untuk mengubah paradigma konsumsi energi konvensional menjadi model yang lebih berkelanjutan tanpa mengorbankan produktivitas operasional bisnis.

Inti dari inovasi yang ditawarkan oleh *360Energy* adalah penerapan model bisnis *Energy-as-a-Service* (EaaS). Model ini memungkinkan perusahaan untuk beralih ke energi berkelanjutan tanpa memerlukan investasi modal awal (*upfront investment*) yang sering menjadi hambatan utama. Layanan yang diberikan bersifat komprehensif, mencakup tahapan desain, pembiayaan, instalasi, hingga operasi dan pemeliharaan. Dengan skema ini, risiko teknis dan finansial dialihkan kepada penyedia layanan, sehingga pelaku bisnis dapat tetap fokus pada pertumbuhan inti perusahaan mereka sembari kebutuhan energinya tertangani secara profesional.

Secara keseluruhan, komitmen *360Energy* tidak hanya terbatas pada penyediaan listrik, melainkan juga pada penciptaan dampak makroekonomi dan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lingkungan yang positif. Dengan membuka kunci potensi energi terbarukan yang dimiliki Indonesia, inisiatif ini diharapkan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi nasional sekaligus memitigasi dampak kerusakan lingkungan. Sinergi antara efisiensi biaya bagi pelaku usaha dan pengurangan emisi karbon merupakan langkah strategis dalam mewujudkan masa depan industri yang tangguh dan ramah lingkungan.

2.2. Visi, Misi, dan Moto PT Pionir Energi Hijau

Visi

“Menjadi perusahaan energi hijau terdepan di Indonesia yang mendorong percepatan transisi menuju energi bersih dan masa depan berkelanjutan.”

Misi

- 1) Menghadirkan solusi energi baru terbarukan yang inovatif, efisien, dan dapat diandalkan.
- 2) Mendukung pemerintah dan industri dalam mencapai target dekarbonisasi nasional.
- 3) Membangun ekosistem energi hijau dengan melibatkan teknologi terbaru, riset, dan kolaborasi internasional.
- 4) Mengedepankan praktik bisnis yang transparan, beretika, dan memberikan nilai tambah bagi seluruh pemangku kepentingan.
- 5) Menciptakan dampak lingkungan dan sosial yang positif melalui proyek energi ramah lingkungan.

Moto

Energi Bersih untuk Masa Depan Indonesia.

2.3. Budaya Perusahaan dan Tata Nilai pada PT Pionir Energi Hijau

Tata Nilai (PIONIR):

- 1) **Profesionalisme** – Menjalankan pekerjaan dengan integritas dan kualitas terbaik.
- 2) **Integritas** – Menjunjung tinggi kejujuran, transparansi, dan akuntabilitas.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 3) **Orientasi Dampak** – Fokus pada hasil yang memberikan manfaat luas bagi masyarakat dan lingkungan.
- 4) **Nilai Inovasi** – Berani menciptakan terobosan baru dalam sektor energi.
- 5) **Inklusi** – Menghargai keberagaman dan memastikan kolaborasi tanpa sekat.
- 6) **Resiliensi** – Tangguh menghadapi tantangan dan cepat beradaptasi terhadap perubahan.

2.4. Struktur Organisasi PT Pionir Energi Hijau

Tabel 2.1. Struktur Organisasi Perusahaan

Posisi	Nama	No. Telp	Email
Direktur Utama	Kemal Rifky	+62 1870073790	kemal.rifky@360energy.io
Komisaris	Muhammad Zahrudin	+62 8111436125	zahru@360energy.io
Direktur Operasional	Irwan Sukma	+62 85692867890	irwan.sukma@360energy.io
Direktur Keuangan	Jeremia Parningotan S	+1 6479398197	jeremia@360energy.io
Direktur Teknik	Russel Bradley	+65 83351694	russel@360energy.io

2.5. Peran PT Pionir Energi Hijau

PT Pionir Energi Hijau memiliki sejumlah peran strategis dalam sektor energi:

- 1) **Pengembang Proyek Energi Terbarukan** – mulai dari studi kelayakan, perencanaan, hingga implementasi.
- 2) **Integrator Teknologi Hijau** – menghubungkan teknologi terbaik global ke kebutuhan industri lokal.
- 3) **Konsultan Transisi Energi** – memberikan rekomendasi strategis untuk perusahaan yang ingin melakukan dekarbonisasi.
- 4) **Edukator dan Advokat Energi Hijau** – memperluas literasi energi bersih melalui pelatihan, seminar, dan kolaborasi publik.
- 5) **Penggerak Ekosistem ESG** – mendorong penerapan prinsip lingkungan, sosial, dan tata kelola pada proyek-proyek industri.

PT Pionir Energi Hijau menempati posisi sentral dalam arsitektur energi berkelanjutan melalui pendekatan multidimensi yang mengintegrasikan aspek teknis

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dan strategis. Sebagai pengembang proyek energi terbarukan, entitas ini mengelola siklus hidup infrastruktur secara komprehensif, mulai dari studi kelayakan yang rigor hingga tahap implementasi operasional, sembari berfungsi sebagai integrator teknologi yang menjembatani inovasi global dengan kebutuhan spesifik industri lokal. Kapabilitas ini diperkuat oleh peran perusahaan sebagai konsultan transisi energi, di mana PT Pionir Energi Hijau menyediakan formulasi strategi dekarbonisasi yang terukur bagi korporasi, memastikan bahwa adaptasi terhadap energi bersih tidak hanya bersifat teknis tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi yang signifikan.

Secara simultan, perusahaan memperluas spektrum pengaruhnya ke ranah sosial – normatif sebagai edukator dan penggerak ekosistem *Environmental, Social, and Governance (ESG)*. Melalui fungsi advokasi dan edukasi, PT Pionir Energi Hijau berupaya mengakselerasi literasi energi bersih publik lewat pelatihan dan kolaborasi lintas sektor, menciptakan basis pengetahuan yang esensial bagi penerimaan teknologi baru. Lebih jauh, komitmen mereka dalam menginternalisasi prinsip-prinsip ESG ke dalam proyek industri menegaskan peran perusahaan bukan sekadar sebagai penyedia solusi energi, melainkan sebagai katalisator yang mendorong terciptanya tata kelola industri yang beretika, berwawasan lingkungan, dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

2.6. Proses Binsis PT Pionir Energi Hijau

Proses bisnis perusahaan mencakup tahapan end-to-end yang profesional dan terstruktur:

- 1) Identifikasi Kebutuhan & Kesempatan Proyek – Analisis kebutuhan energi hijau pada sektor industri, pemerintah, dan masyarakat.
- 2) Studi Kelayakan – Termasuk aspek teknis, finansial, legal, dan dampak lingkungan.
- 3) Perancangan Teknis & *Engineering* – Desain sistem PLTS, biomassa, EBT lainnya, ataupun infrastruktur pendukung.
- 4) Financing Strategy – Menghubungkan proyek dengan investor, lembaga keuangan, atau model pendanaan inovatif (*green financing*).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 5) Implementasi & Konstruksi – Instalasi sistem, integrasi teknologi, dan pengawasan pelaksanaan.
- 6) Operasi & Pemeliharaan – Memastikan performa jangka panjang dari instalasi energi hijau.
- 7) Monitoring & Reporting – Menyediakan laporan pemanfaatan energi, penghematan emisi, dan analisis kinerja.

PT Pionir Energi Hijau mengimplementasikan kerangka kerja operasional yang sistematis, dimulai dari identifikasi kebutuhan strategis serta studi kelayakan komprehensif yang mencakup dimensi teknis, finansial, legal, dan dampak lingkungan. Proses ini berlanjut pada tahap perancangan rekayasa teknis yang presisi dan penyusunan strategi *green financing* guna menjembatani kebutuhan investasi, yang kemudian dimanifestasikan melalui eksekusi konstruksi serta integrasi sistem yang diawasi secara ketat. Siklus bisnis ini diparipurnakan melalui manajemen operasi dan pemeliharaan berkelanjutan, serta mekanisme monitoring dan pelaporan kinerja berbasis data yang menguantifikasi efisiensi energi dan reduksi emisi guna menjamin akuntabilitas serta reliabilitas proyek jangka panjang.

2.7. Energi Baru Terbarukan sebagai Tujuan Utama

Fokus utama PT Pionir Energi Hijau adalah mendukung transformasi energi Indonesia melalui pemanfaatan:

- Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap & *Ground-Mounted*
- Bioenergi dan Biomassa
- Pembangkit Mikrohidro
- *Solar Farm* dan *Solar Hybrid System*
- Teknologi Efisiensi Energi dan *Smart Energy Management*

Tujuan akhirnya adalah membantu Indonesia mencapai target *Net Zero Emissions* 2060, menurunkan ketergantungan pada energi fosil, serta memperluas penggunaan energi yang bersih, terjangkau, dan berkelanjutan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III

PELAKSANAAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN

3.1. Kegiatan Magang

3.1.1. Perkenalan terhadap Lingkup Kerja

Pada saat pelaksanaan kegiatan magang di PT Pionir Energi Hijau, terjadi perkenalan dengan struktur dan latar belakang perusahaan, berikut dengan arah gerak, bidang kerja, dan fokus perusahaan, yaitu bergerak di bidang pengelolaan energi yang terfokus pada energi terbarukan. Setelah itu, dilakukan perkenalan terhadap proyek – proyek berjalan, diikuti *meeting* dengan pak Kemal Rifky Co – *Founder* perusahaan yang sedang di Amerika Serikat, bersama dengan rekan – rekan dan pak Irwan Sukma.

Setelah itu dilanjutkan dengan perkenalan secara teknis mengenai proyek – proyek yang sedang dan akan berjalan seperti *Biofloc* di Sukabumi, *Battery Swapping Station (BSS)* berbasis PLTS dan *Energy Storage*, PLTS, *Vortex Energy*, *Wind Turbine*, dan lain sebagainya.

3.1.2. Tugas dan Aktivitas

Bulan pertama magang difokuskan pada dua alur kerja utama. Pertama adalah inisiasi dan pengembangan teknis *Battery Swap Station (BSS)* berbasis IoT, yang melibatkan perancangan arsitektur, pengembangan scheduler, sistem optimisasi, dan algoritma Machine Learning. Alur kerja kedua adalah studi dan peninjauan proyek BioFloc yang sudah berjalan, untuk menganalisis potensi integrasi teknologi IoT dan chatbot.

1) Inisiasi dan Perancangan Awal Proyek BSS (*Battery Swap Station*)

a. Koordinasi Awal dengan Mitra

Pertemuan luring dilakukan bersama pemangku kepentingan utama dan tim PT Pionir Energi Hijau untuk menyelaraskan visi, ruang lingkup, serta arah pengembangan *Battery Swap Station Technology*. Pembahasan teknis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

difokuskan pada integrasi *Internet of Things* (IoT), mulai dari pemilihan sensor yang relevan hingga perancangan mekanisme akuisisi data *real-time* dari stasiun dan unit baterai. Arsitektur sistem juga dirancang secara komprehensif, mencakup alur data, struktur *backend*, serta kebutuhan fungsional untuk *dashboard monitoring*.

Selain aspek teknis, pertemuan ini menghasilkan kesepakatan mengenai pembagian tugas dan tanggung jawab antara tim internal dan mitra perusahaan guna memastikan koordinasi pengembangan yang efisien. Hasil akhir dari rapat ini adalah tercapainya kesepakatan bersama mengenai cakupan proyek, spesifikasi teknis awal, serta peta jalan pengembangan yang akan diimplementasikan secara sistematis.

b. Studi Literatur (*Literature Review*) *Machine Learning* untuk BSS

Tinjauan pustaka dilakukan untuk mengidentifikasi pendekatan *Machine Learning* (ML) terkini yang relevan bagi pengembangan sistem *Battery Swap Station* (BSS), dengan fokus pada peningkatan kinerja prediksi, optimisasi, dan manajemen baterai. Kajian ini mencakup analisis model *forecasting* untuk memproyeksikan permintaan energi serta penelaahan algoritma penjadwalan pengisian daya optimal yang mempertimbangkan variabel harga listrik, *State of Health* (SoH) baterai, dan pola pengguna. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa model *Long Short-Term Memory* (LSTM) merupakan kandidat terkuat untuk tugas prediksi berbasis *time-series*, yang kemudian memberikan dasar metodologis konkret untuk tahap pengembangan sistem selanjutnya.

2) Pengembangan Optimisasi Inti Sistem BSS

Setelah perancangan awal, pekerjaan teknis dimulai dengan fokus pada pengembangan logika inti dan model prediktif untuk sistem BSS.

a. Pengembangan Optimisasi *Scheduler* Berbasis *Linear Programming* untuk BSS



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengembangan lanjutan terhadap scheduler dasar difokuskan pada perancangan sistem optimisasi yang berfungsi sebagai pusat pengambilan keputusan dalam *Battery Swap Station* (BSS). Proses ini dimulai dengan merumuskan *objective function* dan *constraints* yang mengatur perilaku sistem. Fungsi tujuan yang dipertimbangkan mencakup minimisasi biaya listrik atau maksimalisasi ketersediaan baterai, sementara batasannya meliputi kapasitas daya yang dapat ditarik dari jaringan, jumlah charger yang tersedia, serta ambang minimum *State of Health* (SoH) baterai. Formulasi ini menjadi fondasi bagi terciptanya sistem yang adaptif dan berorientasi pada efisiensi.

Tahap berikutnya adalah memulai perancangan serta implementasi skrip awal untuk *scheduler* BSS sebagai komponen sentral dalam manajemen alokasi baterai. Algoritma *scheduler* dirancang untuk menentukan prioritas pengisian baterai, memilih slot pengisian yang optimal, serta menjadwalkan waktu pengisian yang paling efisien berdasarkan dinamika biaya listrik atau ketersediaan energi terbarukan. Selain itu, algoritma juga bertugas mengidentifikasi baterai yang siap digunakan, sehingga respons operasional terhadap permintaan pengguna dapat berlangsung secara konsisten.

Keseluruhan pengembangan ini bertujuan memastikan tersedianya baterai yang terisi penuh setiap saat, sembari mengoptimalkan usia pakai baterai dan efisiensi energi stasiun. Dengan mengintegrasikan aspek optimisasi, manajemen beban energi, dan strategi operasional, sistem scheduler diharapkan mampu berfungsi sebagai mekanisme yang cerdas serta mendukung keberlanjutan operasional BSS dalam berbagai kondisi dinamis.

b. Pengembangan Tabel Prediksi Data Iradiansi

Pekerjaan ini berfokus pada integrasi *scheduler* dengan sumber energi surya, dengan terlebih dahulu mengumpulkan data irradiansi matahari baik historis maupun *real-time* melalui *Application*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Programming Interface (API) cuaca eksternal, yang kemudian diolah menjadi tabel *database* untuk memperkirakan ketersediaan energi surya di berbagai waktu pada lokasi terkait. Informasi ini berfungsi sebagai masukan bagi scheduler agar dapat memprioritaskan pengisian baterai pada periode dengan intensitas energi surya tertinggi sehingga pemanfaatan energi “gratis” dapat dimaksimalkan dan biaya operasional BSS dapat ditekan secara signifikan.

c. Pengembangan Model LSTM

Berdasarkan hasil studi literatur, implementasi model *Deep Learning* berbasis *Long Short-Term Memory* (LSTM) mulai dikembangkan untuk mendukung kebutuhan prediksi dalam sistem *Battery Swap Station* (BSS). Pendekatan ini dipilih karena kemampuan LSTM dalam menangani pola data *time-series* yang kompleks dan dinamis, sehingga relevan dengan karakteristik operasional BSS.

Proses pengembangan awal mencakup tahapan pengumpulan data, pembersihan data, serta *preprocessing* yang melibatkan normalisasi dan penyusunan data dalam bentuk sekuens *time – series*. Selain itu, perancangan arsitektur jaringan LSTM dilakukan dengan menentukan parameter utama seperti jumlah lapisan, jumlah neuron per lapisan, dan konfigurasi training. Tahapan ini menjadi dasar untuk membangun model prediktif yang dapat diintegrasikan ke dalam ekosistem BSS.

3) Studi Kasus dan Tinjauan Lapangan Proyek *BioFloc*

Selain itu, penulis juga melakukan studi kasus dan tinjauan lapangan pada proyek *BioFloc* yang berfokus pada pembudidayaan ikan air tawar berbasis teknologi mutakhir seperti *Artificial Intelligence*, basis data dalam jaringan, dan *internet*.

a. Studi Dokumentasi *Chatbot BioFloc*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sebagai proyek *piloting* sekunder dalam kegiatan magang, dilakukan analisis terhadap proyek BioFloc untuk memperoleh pembelajaran yang relevan serta mengidentifikasi potensi sinergi dengan sistem yang sedang dikembangkan. Fokus utama kajian ini adalah memahami solusi berbasis AI diterapkan dalam konteks BioFloc dan menilai kemungkinan adaptasi konsep tertentu untuk kebutuhan proyek lainnya, dan fokus lainnya adalah mencari potensi integrasi PLTS pada proyek BioFloc.

b. Kunjungan Lapangan ke Sukabumi

Kunjungan kerja ke lokasi pilot project *BioFloc* di Sukabumi dilakukan untuk memperoleh pemahaman langsung mengenai operasional harian sistem serta tantangan yang dihadapi *farmer*. Aktivitas meliputi observasi proses di lapangan, interaksi dengan operator, dan identifikasi *pain points* terkait pengelolaan kolam, penggunaan perangkat, serta alur kerja yang berjalan. Selain itu, diskusi terfokus dilakukan bersama tim lapangan untuk mengevaluasi potensi penerapan sensor IoT tambahan, seperti sensor kualitas air dan sistem pemberi pakan otomatis, guna meningkatkan efisiensi operasional.

Kegiatan ini juga mencakup eksplorasi peluang integrasi *chatbot* yang lebih dalam, termasuk kemampuan pemantauan dan kontrol perintah cerdas berbasis *Machine Learning*. Hasil kunjungan memberikan pandangan praktis yang signifikan mengenai tantangan implementasi teknologi dan kebutuhan riil pengguna. Temuan tersebut menjadi masukan penting bagi pengembangan lebih lanjut baik pada sistem *BioFloc* maupun dalam merancang fitur-fitur yang dapat diadaptasikan pada proyek BSS.

3.1.3. Aspek Kegiatan

Dari kegiatan magang yang telah dilaksanakan, penulis kiranya merangkum tiga aspek penting yang diperoleh, yang di antaranya sebagai berikut:

1) Aspek Teknis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengembangan teknis difokuskan pada pembangunan infrastruktur cerdas untuk *Battery Swap Station (BSS)* dan sistem pemantauan PLTS. Pada proyek BSS, pekerjaan meliputi perancangan arsitektur IoT, pengembangan algoritma scheduler berbasis *Linear Programming* untuk optimisasi penjadwalan pengisian daya, serta penerapan model *Machine Learning* (khususnya LSTM) guna memprediksi permintaan baterai dan iradiasi matahari. Integrasi data cuaca dilakukan melalui *External API* untuk mendukung akurasi prediksi ketersediaan energi surya.

Di sisi pengembangan perangkat lunak untuk *Dashboard* PLTS, aktivitas mencakup pembangunan data pipeline dari sensor ke platform *Thingsboard* hingga penyimpanan di basis data. Proses ini melibatkan pemrograman menggunakan *Python* dan *JavaScript*, penyusunan logika agregasi data, serta visualisasi grafik. Pemeliharaan sistem juga dilakukan secara intensif, mulai dari penanganan insiden *ransomware* pada *server*, *refactoring* kode modul menjadi lebih modular, hingga migrasi agen *chatbot BioFloc* ke model *Large Language Model (LLM)* untuk efisiensi, serta penanganan isu performa tinggi pada CPU server produksi.

2) Aspek Non-Teknis

Aspek non-teknis didominasi oleh kegiatan koordinasi, manajemen proyek, dan studi literatur untuk memastikan landasan teoretis yang kuat. Fase awal magang melibatkan komunikasi intensif dengan mitra eksternal dan tim internal untuk menyelaraskan visi, menyepakati ruang lingkup proyek (*scope of work*), serta membagi tanggung jawab operasional. Pengasahan adaptabilitas dan pemecahan masalah teruji saat menghadapi situasi krisis seperti gangguan pada server dan perubahan nomenklatur proyek yang mengharuskan respons cepat dan pemulihan sistem yang terstruktur.

Selain itu, kegiatan riset dan observasi lapangan menjadi komponen penting dalam pengembangan wawasan kontekstual. Hal ini tercermin dari studi literatur mendalam mengenai metode *forecasting*, optimisasi energi, dan lainnya, serta kunjungan lapangan ke lokasi proyek *pilot BioFloc* di Sukabumi. Interaksi langsung dengan operator lapangan dan observasi terhadap kendala operasional memberikan perspektif nyata yang tidak bisa didapatkan hanya dari data teknis, sehingga membantu dalam merancang solusi yang lebih *user-centric*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3) Aspek *Entrepreneurship*

Dimensi kewirausahaan terimplementasi melalui upaya validasi produk dan pengembangan strategi bisnis perusahaan. Hal ini terlihat dari aktivitas *pitching* dan demonstrasi teknis dashboard PLTS kepada berbagai mitra strategis, termasuk pabrik inverter di Karawang dan perusahaan energi lainnya. Kegiatan ini bertujuan untuk memasarkan kapabilitas teknologi yang dikembangkan serta membuka peluang kolaborasi bisnis baru. Selain itu, partisipasi dalam rapat strategis perusahaan mengenai rencana pengembangan layanan "Audit Energi Otomatis" menunjukkan keterlibatan dalam merancang inovasi produk masa depan yang bernilai komersial.

3.1.4. Kendala yang Dihadapi dan Solusi

Selama magang di PT Pionir Energi Hijau, didapati berbagai situasi dan kondisi yang membuahkan kendala, baik teknis maupun non – teknis seperti masalah komunikasi, masalah korespondensi, dan lain sebagainya.

Untuk masalah komunikasi, dikarenakan ini pengalaman yang masih hangat bagi penulis dan rekan – rekan dalam menjalankan kegiatan magang di perusahaan *Startup*, komunikasi masih belum terstandarisasi, namun seiring berjalannya proyek dengan sendirinya terbentuk standar dan waktu *meeting* yang disepakati bersama.

Selain itu, terdapat masalah manajemen waktu, dikarenakan magang bersifat *hybrid* dan fokus pekerjaan penulis cenderung di bagian IT, terkadang penulis dan rekan yang juga bekerja di bidang IT tidak menerapkan batas waktu kerja yang saklek. Tapi seiring berjalannya waktu, penulis dan rekan akhirnya menyepakati waktu kerja yang cocok dengan tetap menghormati waktu libur, yaitu dari jam sembilan pagi sampai jam lima sore.

Penulis dan rekan – rekan magang mendapati banyak hal, tugas, masalah, tantangan, dan kerjaan yang sama sekali belum pernah dipelajari dan dikerjakan sebelumnya seperti memelihara *server*, pengembangan *software* secara intensif, mengembangkan rancang bangun optimisasi penjadwalan Statisun Penukaran

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Baterai berbasis *Linear Programming* dan *Machine Learning*, masalah keamanan *traffic data* yang *anti tamper*, dan lain sejenisnya, sehingga merasa ditantang dan dituntut untuk belajar sendiri di luar lalu mengimplementasikan yang sudah dipelajari ke dalam suatu proyek. Meskipun ini kendala, ianya juga menjadi kesempatan untuk mempelajari ilmu dan keterampilan baru.

3.2. Objek Pembahasan

3.2.1. Gambaran Umum mengenai *Machine Learning* dan *Deep Learning*

Machine Learning merupakan cabang disiplin ilmu pengetahuan bidang Ilmu Komputer (*Computer Science*) yang berfokus pada pengembangan program dan algoritma yang dapat belajar secara natural dari data yang diberikan [6]. *Deep Learning* adalah cabang lebih mutakhir daripada *Machine Learning* yang berfokus pada pengembangan jaringan syaraf tiruan (*Neural Network*), dengan berusaha mengikuti pola dan kinerja sistem jaringan neuron pada otak manusia [7].

Pemanfaatan *Machine Learning* dengan mengintegrasikannya pada berbagai sistem yang sudah ada, khususnya sistem PLTS yang secara bersamaan juga diintegrasikan dengan *Internet of Things*(IoT), memberi peluang dan potensi perkembangan energi terbarukan yang lebih cerdas, adaptif, dan mutakhir kedepannya.

3.2.2. Permasalahan Sistem PLTS Konvensional

Sistem PLTS memberi berbagai keuntungan, mulai dari membantu mengurangi emisi karbon dengan menggunakan sumber energi yang lebih ramah lingkungan (sinar – radiasi matahari), efisiensi penggunaan listrik dari segi biaya, sistem yang minim gerak mekanis sehingga tidak memiliki masalah potensi keausan dan tidak berisik, dan beragam keuntungan lainnya [14][15]. Namun bukan tanpa kekurangan, data produksi dan konsumsi energi yang berkaitan dengan PLTS seringkali tidak terpusat dan tidak tersusun rapih, yang menyulitkan kegiatan analisa untuk pemeliharaan dan pengawasan performa sistem secara berkala, belum lagi analisa untuk mengetahui anomali – anomali yang bisa saja terjadi pada PLTS yang hanya dapat diamati secara memadai dari *logging data* yang *reliable* dan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mudah untuk dianalisa, serta masalah untuk *logging data carbon credit* untuk mengetahui seberapa besar emisi karbon yang dikurangi.

Solusi daripada permasalahan terkait adalah penerapan sistem teknologi mutakhir berbasis *digital*, seperti membangun sistem IoT untuk mengumpulkan data secara *digital* dan *device agnostic* sehingga dapat diakses di mana saja, membangun *Data Engineering Pipeline* untuk *streamline* arus pengumpulan data agar lebih rapih dan mudah untuk dianalisa, dan membangun platform seperti web *dashboard* untuk interaksi pengguna akhir yang lebih intuitif.

Terdapat masalah kedua setelah implementasi IoT dan *Data Engineering*, yaitu masalah analisa data prediktif dengan maksud untuk mengetahui potensi masalah sebelum waktunya, yang cukup memerlukan waktu dan usaha manual jika dilakukan secara berkala. Perusahaan berinisiatif integrasi sistem PLTS dengan data cuaca dari *Application Programming Interface* (API) agar mendapat data relevan secara *real – time*, namun akurasi tidak begitu memuaskan jika dibandingkan dengan menggunakan *Weather Station*, juga tak begitu cakap dalam memprediksi produksi energi harian.

Solusi untuk permasalahan ini adalah penelitian untuk mengembangkan algoritma cerdas seperti *Deep Learning* untuk diimplementasikan, penulis melakukan peninjauan literatur mengenai pemodelan *Deep Learning* berbasis waktu yang relevan untuk PLTS, didukung dengan pemahaman yang penulis peroleh dari mempelajari *Machine Learning* secara intensif. Dari beberapa model *Deep Learning* mulai dari *Convolutional Neural Network 1 Dimension* (CNN 1D), *Gates Recurrent Units* (GRU), *Graphcast*, *Sequence to Sequence* dan *Long Short Term Memory* (LSTM), penulis akhirnya memilih LSTM yang dibantu oleh *Sequence to Sequence*, karena memiliki kadar akurasi yang lebih tinggi dengan data yang tersedia.

3.2.3. Sistem Cerdas sebagai Cetak Biru Sistem PLTS yang lebih *Future Proof*

Deep Learning menjadi algoritma dan program cerdas yang dapat menjadi cetak biru bagi perkembangan teknologi digital pada PLTS di hari kemudian, mulai dari penerapan *predictive maintenance*, *anomaly detection*, bahkan jika

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

memungkinkan *self repair AI Robot* dapat dikembangkan dengan langkah awal ialah penerapan daripada sistem berbasis Kecerdasan Buatan [16]. *Machine Learning* menjadi nafas baru, sebagai oksigen mutakhir bagi perkembangan dunia teknologi sekarang, di saat dunia mengadopsi *Artificial Intelligence* secara masif, maka penerapan sistem cerdas menjadi langkah brilian yang selaras dengan perkembangan peradaban arus utama dewasa ini dan kedepannya.

Implementasi algoritma cerdas membuka gerbang menuju optimisasi manajemen energi yang lebih baik, ditandai dengan kemampuan *forecasting* produksi energi yang adaptif, melalui pengolahan dan pemanfaatan data historis yang dilakukan oleh *Deep Learning*, sehingga memungkinkan sistem untuk lebih adaptif dalam hal misal menyeimbangkan beban pasokan dan permintaan energi secara nyata, pada kondisi lingkungan yang dinamis.

Dalam skala yang lebih luas, sinergi antara PLTS dan *Software Engineering* dapat membentuk sistem *Digital Twin* yang dapat diandalkan. Setiap sensor yang terpasang dan terintegrasi pada sistem PLTS dapat bertindak sebagai *node* pengirim data vital secara berkesinambungan, membentuk replika digital yang dapat belajar dari pola operasional berjangka waktu. Dengan pemanfaatan *Machine Learning*, simulasi dan percobaan skenario ekstrem dapat dicobakan tanpa resiko fisik, memungkinkan *Software Engineer*, *Hardware Engineer*, *Data Engineer*, dan *Machine Learning Engineer* merancang sistem dengan resiko yang lebih rendah dan kinerja yang lebih efisien serta responsif terhadap dinamika sistem.

Transformasi PLTS menuju sistem berbasis internet yang diperkuat dengan Kecerdasan Buatan menjadi sebuah investasi strategis untuk keberlangsungan infrastruktur energi mutakhir, membangun kapitalisasi dan pondasi kemandirian energi yang kokoh, adaptif, dan lebih siap dalam menghadapi tantangan Revolusi Industri.

3.2.4. Alasan mengenai penggunaan *Long Short Term Memory (LSTM) Algorithm*

Long Short Term Memory (LSTM) merupakan salah satu tipe algoritma *Neural Network* yang dikembangkan dari *Recurrent Neural Network (RNN)*, dengan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tujuan bervariasi, mulai dari untuk sistem penerjemah bahasa, sistem konversi suara menjadi tulisan, *Recommender System* untuk pengiklanan dan rekomendasi produk/berita berdasarkan pola aktivitas pengguna, *chatbot* cerdas (sebelum era *Transformer Network*), hingga dapat digunakan untuk memprediksi data masa depan berbasis waktu (*time – series*) [8]. Sifat LSTM yang dapat digunakan untuk memprediksi data masa depan dengan melatihnya dari data masa lalu berbasis waktu, menjadikannya salah satu kandidat kuat di antara algoritma RNN lainnya untuk dijadikan model basis *Deep Learning* untuk prediksi produksi energi pada panel surya [10].

Dalam konteks sistem PLTS, model berbasis LSTM menawarkan superioritas dalam memetakan hubungan *non – linear* antara parameter seperti iradiasi dan produksi energi. LSTM mampu menangkap dinamika fluktuasi energi yang bersifat stokastik akibat perubahan cuaca yang cepat, hal ini memberi akurasi prediksi yang lebih tinggi, meminimalisir error deviasi antara daya yang diprediksi dengan daya aktual yang dihasilkan di lapangan [11].

Implikasi dari penerapan algoritma ini dapat meluas pada efisiensi manajemen energi dalam konsep *Smart Grid*. Dengan prediksi produksi energi yang prediktif, adaptif, dan presisi, operator sistem dapat melakukan perencanaan distribusi beban dan manajemen penyimpanan energi secara lebih optimal. Oleh karenanya, integrasi LSTM bukan sekadar pembaruan algoritmik, melainkan langkah strategis untuk meningkatkan reliabilitas dan stabilitas pasokan energi terbarukan, mendukung transisi menuju sistem kelistrikan yang cerdas dan berkelanjutan.

3.3. Implementasi Machine Learning pada Sistem PLTS Terkait

Proses pengembangan dan penerapan *Machine Learning* meliputi beberapa langkah, mulai dari rekayasa dan manipulasi data, penyusunan algoritma berdasarkan skema data tersusun, dan pengujian algoritma.

3.3.1. Skema Rekayasa Data untuk LSTM secara Ringkas

A. Skema Pengumpulan Data

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem Panel Surya yang terpasang memiliki berbagai data seperti daya, energi, arus, tegangan, dan lain sejenisnya, yang dapat diintegrasikan dengan sistem IoT lalu mengirim datanya ke suatu server. Penulis sebagai bagian dari tim Perangkat Lunak menyiapkan serangkaian sistem *server* berbasis *cloud* yang disediakan perusahaan guna mengumpulkan data dari tim Perangkat Keras. Untuk kemudahan antar muka pengembang dan pengguna, tim Perangkat Lunak memanfaatkan *Thingsboard* sebagai wadah awal mengumpulkan data sebelum selanjutnya diolah dan dikirim ke *Database* perusahaan.

Tim Perangkat Keras menyetel konfigurasi sensor agar data dapat dikirim melalui internet ke *server*, lalu penulis beserta tim Perangkat Lunak membangun *backend* untuk *Data Engineering Pipeline* agar dapat menarik dan mengolahnya secara otomatis. Pengolahan dimulai dari menerima *telemetry* berdasarkan *ID* daripada *sensor*, lalu menerima variabel – variabel data yang diperlukan, kemudian agregasi dan *parsing* variabel – variabel data agar menjadi resolusi per jam, hingga akhirnya data ditransmisikan ke *Database* untuk disimpan.

Data yang sudah diolah oleh *backend* terkait kemudian akan dikirim ke *Database MongoDB* perusahaan yang berbasis *NoSQL*, sehingga data disimpan dalam paradigma *JSON like*

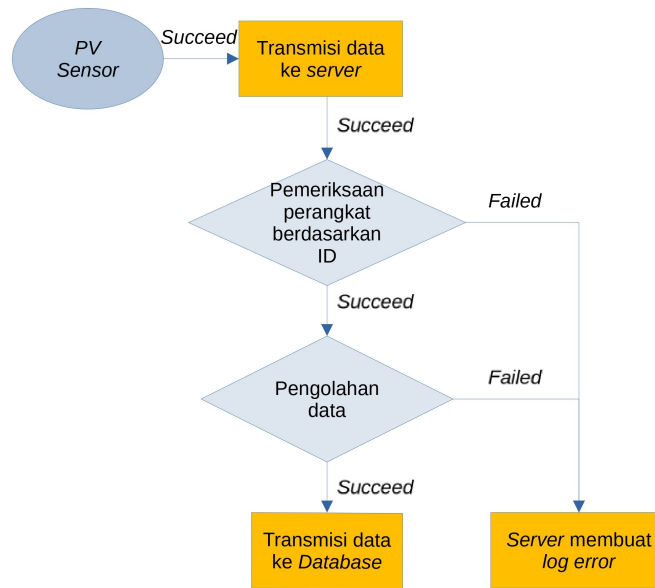
```
{
  timestamp: ISODate('2025-09-19T00:00:00.000Z'),
  energy: {
    intake_kWh: { real: 0.02796018882769476, predicted: 0.24250000715255737 },
    consumption_kWh: [
      { source: 'PLTS', value: 0.02796018882769476 },
      { source: 'PLN', value: 0 }
    ]
  },
  _id: ObjectId('68ccab20c33eaad47d370958'),
  metadata: {
    projectName: 'Pilot Project Solar Panel',
    device_id: ObjectId('68ccab20c33eaad47d370958'),
    inverterName: 'Sorotec Revo HM 4 kW',
    source: 'thingsboard'
  }
}
```

Gambar 3.1. Contoh skema data pada *database* yang sudah diolah

Sistem seperti ini akan menjadikan proses pengolahan dan pengumpulan data dari sensor – sensor yang terpasang di PV terproses secara otomatis, hingga akhirnya jumlahan data yang terkumpul cukup memadai untuk melatih algoritma *Machine Learning* jika diperlukan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.2. Data Pipeline Schema

B. Explanatory Data Analysis dan Data Cleaning

Proses pengembangan *Machine Learning* (ML) melibatkan tahap – tahap krusial yaitu *Explanatory Data Analysis* (EDA) guna mengamati komposisi – korelasi di dalam susunan informasi dan *Data Cleaning* yaitu kegiatan memanipulasi data (menambah, membuang, atau memodifikasi informasi di dalam data agar lebih relevan terhadap *usecase* setelahnya, yang dalam hal ini adalah mengembangkan ML).

1) Explanatory Data Analysis, Data Enrichment, and Data Augmentation

Data dari *Database* diunduh dalam format *Comma Separated Value* (CSV) dan ditampilkan dalam *Python* guna mengamati struktur data. Didapati susunan data mentah sebagai berikut:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

real_energy	
timestamp	
2025-09-19 00:00:00+00:00	0.027960
2025-09-19 01:00:00+00:00	0.091151
2025-09-19 02:00:00+00:00	0.160543
2025-09-19 03:00:00+00:00	0.189003
2025-09-19 15:00:00+00:00	0.000000
...	...

Gambar 3.3. Sebagian isi data mentah dari *database*

Menurut gambar 3.3. terdapat kolom *timestamp* yang menginformasikan penanggalan dan *real_energy* yang merupakan informasi produksi energi dari sistem PV terkait. Data yang digunakan merupakan informasi sebenarnya yang diperoleh dari perusahaan PT. XYZ yang memasang alat monitoring untuk sistem Panel Surya mereka.

Sejatinya dengan bentuk data seperti ini sudah dapat digunakan untuk melatih LSTM, namun untuk memperkaya informasi di dalamnya maka diterapkan pengayaan (*Data Enrichment*) dengan memanfaatkan informasi dari *External API* untuk memberi informasi tambahan yang berkaitan dengan data produksi energi terkait.

	time	precipitation (mm)	cloud_cover_mid (%)	cloud_cover_low (%)	shortwave_radiation (W/m ²)
0	2025-09-20T00:00	0.0	29	15	81
1	2025-09-20T01:00	0.0	32	11	292
2	2025-09-20T02:00	0.0	41	33	456
3	2025-09-20T03:00	0.0	58	45	521
4	2025-09-20T04:00	0.0	48	57	633
...	...	...	...	...	...

Gambar 3.4. *Enriched Data from API*

Penulis mengambil fitur data presipitasi (mm), tutupan awan rendah (%), tutupan awan menengah (%), dan iradiasi (W/m²) sebagai data tambahan agar LSTM dapat mempelajari informasi secara lebih baik, karena memang menurut asumsi penulis data – data itu berkaitan dengan produksi energi yang dilakukan oleh PLTS. Penulis menguji asumsi dengan menerapkan korelasi berbasis *Possion* dari *Pandas library* dalam *Python* pada setiap fitur data untuk melihat interval keterkaitan antar fitur dalam data.

Hak Cipta :

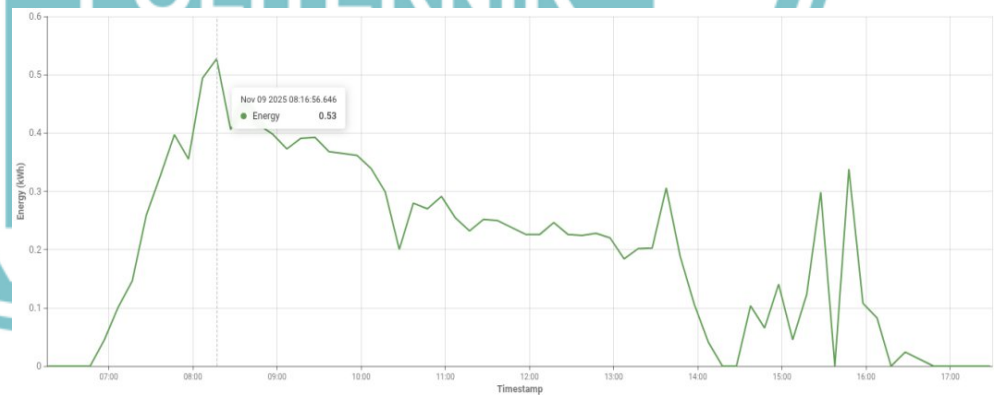
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	real_energy	precipitation(mm)	cloud_cover_mid (%)	cloud_cover_low (%)	shortwave_radiation (W/m²)
real_energy	1.000000	-0.091253	0.015959	0.113428	0.719920
precipitation (mm)	-0.091253	1.000000	0.112570	0.295197	-0.003827
cloud_cover_mid (%)	0.015959	0.112570	1.000000	-0.069873	0.065377
cloud_cover_low (%)	0.113428	0.295197	-0.069873	1.000000	0.349138
shortwave_radiation (W/m²)	0.719920	-0.003827	0.065377	0.349138	1.000000

Gambar 3.5. Korelasi antar fitur dalam data

Pada gambar 3.5. didapati bahwa presipitasi (*precipitation*), tutupan awan menengah (*cloud_cover_mid*), tutupan awan rendah (*cloud_cover_low*), dan iradiasi (*shortwave_radiation*) memiliki korelasi dengan data produksi energi dari PV (*real_energy*) masing – masing sebesar -0.091253, 0.015959, 0.113248, dan 0.719920, dengan nilai korelasi tertinggi berada pada absolut 1.

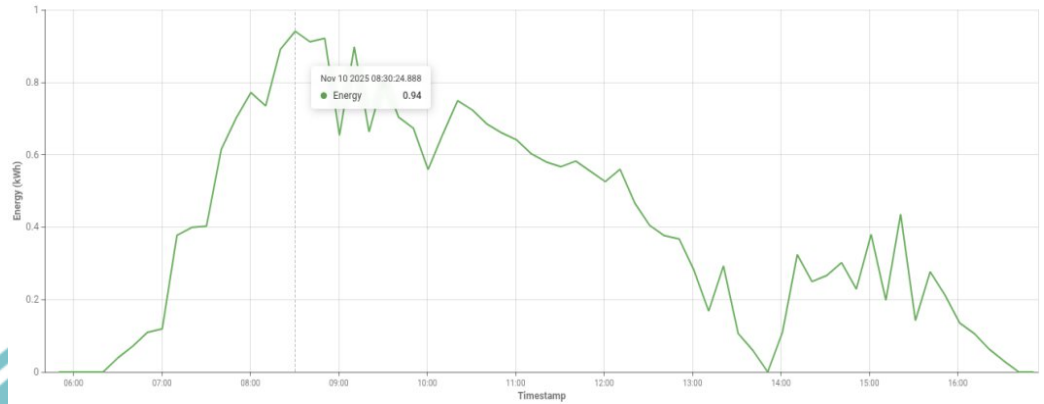
Data fitur iradiasi memiliki korelasi terbesar dengan data produksi energi dari PV, dan fitur – fitur sisanya memiliki korelasi yang begitu rendah. Hal ini membuat penasaran penulis karena seharusnya tutupan awan dan presipitasi sangat berpengaruh dengan produksi energi pada PV, sehingga akhirnya penulis hendak melihat secara grafik garis *trend* daripada data *real_energy*.



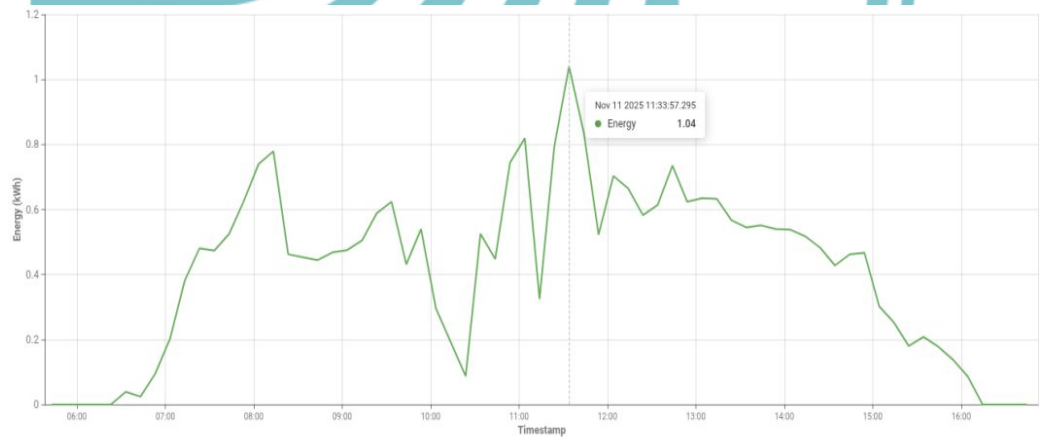
Gambar 3.6. Grafik data *real_energy* 09/11/2025 dari *Thingsboard*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.7. Grafik data *real_energy* 10/11/2025 dari *Thingsboard*



Gambar 3.8. Grafik Data *real_energy* 11/11/2025 dari *Thingsboard*

Dari tiga gambar grafik 3.6, 3.7, dan 3.8, didapati bahwa puncak produksi energi tidak selalu terjadi di waktu radiasi puncak (jam 12.00 PM dan sekitarnya), yaitu bisa di jam 08.16, di jam 08.30, dan di jam 11.33 (format 24 jam) di masing – masing tanggal 9 November 2025, 10 November 2025, dan 11 November 2025, dikarenakan panel surya akan memproduksi energi berbanding lurus dengan penggunaan energi pada beban.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hal ini mengindikasikan bahwa waktu beban puncak yang terhubung dengan Panel Surya tidak selalu di sekitar puncak tengah hari, sehingga ini yang menyebabkan presipitasi dan tutupan awan nampak tak berkorelasi dengan produksi energi (dikarenakan aktivitas beban tak terikat dengan pola cuaca itu).

Data Augmentation

Data tersimpan dengan stempel *timestamp* yang mengindikasikan tanggal saat informasi diserap, dengan format:

Year – Month – Day Hour:Minute:Second

Namun dengan format data demikian, *Machine Learning* akan kesulitan mempelajari pola data dikarenakan algoritma bekerja secara matematis dan menganggap angka berperilaku sesuai dengan sifat matematisnya. Contoh, di dunia nyata interval jam 23:00 dan jam 01:00 berjarak 2 jam, namun format menurut algoritma ia berjarak 22 jam karena menganggap 23 dan 1 sebagai bilangan bulat dengan sifat linier (masalah distorsi linieritas waktu).

Solusi untuk distorsi linieritas waktu ialah format penanggalan diubah menjadi milidetik dalam format *Unix* yang *universal* dan kerap dipakai dalam pengembangan teknologi, kemudian ditranslasikan secara trigonometri yang mengubah sifat bilangan bulat pada milidetik menjadi sifat waktu melingkar yang sesuai dengan kasus dunia nyata.

```
dataset_final['Seconds'] = dataset_final.index.map(pd.Timestamp.timestamp) # Change the datetime to seconds in Unix Time Format
```

	real_energy	precipitation (mm)	cloud_cover_mid (%)	cloud_cover_low (%)	shortwave_radiation (W/m²)	Seconds
2025-09-20 00:00:00+00:00	0.114697	0.0	29	15	81	1.758326e+09
2025-09-20 01:00:00+00:00	0.468773	0.0	32	11	292	1.758330e+09
2025-09-20 02:00:00+00:00	0.422879	0.0	41	33	456	1.758334e+09
2025-09-20 03:00:00+00:00	0.278429	0.0	58	45	521	1.758337e+09
2025-09-20 04:00:00+00:00	0.186419	0.0	48	57	633	1.758341e+09
...	...	...	...	...	...	...

Gambar 3.9. Augmentasi Data kolom fitur *Seconds* di *Python Code*

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada gambar 3.9. penulis menkonversi format *timestamp* menjadi satuan *unix ms* lalu meletakkannya secara sementara pada kolom fitur baru yaitu *Seconds*, yang daripadanya akan dikonversi lagi secara trigonometri sin dan cos agar mengubah sifat bilangan bulat menjadi sifat melingkar. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Sin of Time} = \sin(\text{seconds} * \frac{2\pi}{\text{TimeSeconds}}) \quad \dots(1)$$

$$\text{Cos of Time} = \cos(\text{seconds} * \frac{2\pi}{\text{TimeSeconds}}) \quad \dots(2)$$

Di mana:

Sin of Time = Sinus terhadap Waktu.

Cos of Time = Cosinus terhadap Waktu.

Seconds = Jumlah berjalannya detik

TimeSeconds = Detik terhadap waktu

Secara *Python Code*, ditulis sebagai berikut:

```
day = 60 * 60 * 24 # Convert 1 day to seconds
year = 365.2422 * day # Convert 1 year to seconds

dataset_final['Sin of a Day'] = np.sin(dataset_final['Seconds'] * (2 *
np.pi / day))
dataset_final['Cos of a Day'] = np.cos(dataset_final['Seconds'] *
(2*np.pi / day))
### YEAR
dataset_final['Sin of a Year'] = np.sin(dataset_final['Seconds'] * (2 *
np.pi / year))
dataset_final['Cos of a Year'] = np.cos(dataset_final['Seconds'] * (2 *
np.pi / year))
```

Data – data baru yang diperoleh dari hasil konversi detik ke sifat melingkar trigonometri ditambah ke fitur kolom baru yaitu *Sin of a Day*, *Cos of a Day*, *Sin of a Year*, dan *Cos of a Year*. Dengan demikian, setiap satu hari dan satu tahun dianggap sebagai rentang melingkar, sehingga jarak dari jam 23:00 ke jam 01:00 menjadi 2 jam alih alih 22 jam, dan jarak dari tanggal 31 Desember ke tanggal 1 Januari menjadi 1 hari alih – alih 365.2422 hari [1].



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2) Data Cleaning and Final Data

Data sudah hampir matang untuk dijadikan bahan latih algoritma, namun masih terdapat fitur – fitur pada kolom data seperti presipitasi (*precipitation*), tutupan awan menengah (*cloud_cover_mid*), dan tutupan awan rendah (*cloud_cover_low*), yang sebenarnya tidak perlu menurut *Pandas correlation* berbasis *Possion* yang penulis lakukan sebelumnya, juga kolom *Seconds* yang merupakan tempat penampungan sementara sebelum akhirnya dikonversi menjadi *Sin* dan *Cos* pada masing – masing waktu hari dan tahun. Dengan alasan demikian, penulis membuang data – data yang tidak relevan informasi menjadi lebih bersih dan lebih matang.

Tabel 3.1. Semi – Clean Data (Parsial)

Timestamp (UTC)	real_energy (kWh)	shortwave_ irradiation (W/m ²)	Sin of a Day	Cos of a Day	Sin of a Year	Cos of a Year
9/20/2025 0:00	0.1147	81.0000	0.0000	1.0000	-0.9813	-0.1924
9/20/2025 1:00	0.4688	292.0000	0.2588	0.9659	-0.9815	-0.1917
9/20/2025 1:59	0.4229	456.0000	0.5000	0.8660	-0.9816	-0.1910
9/20/2025 3:00	0.2784	521.0000	0.7071	0.7071	-0.9817	-0.1903
9/20/2025 4:00	0.1864	633.0000	0.8660	0.5000	-0.9819	-0.1896
9/20/2025 5:00	0.0966	646.0000	0.9659	0.2588	-0.9820	-0.1889
9/20/2025 6:00	0.0171	646.0000	1.0000	0.0000	-0.9821	-0.1881
9/20/2025 7:00	0.0021	566.0000	0.9659	-0.2588	-0.9823	-0.1874
9/20/2025 8:00	0.0779	308.0000	0.8660	-0.5000	-0.9824	-0.1867
9/20/2025 9:00	0.0382	275.0000	0.7071	-0.7071	-0.9825	-0.1860
9/20/2025 10:00	0.0000	142.0000	0.5000	-0.8660	-0.9827	-0.1853
9/20/2025 11:00	0.0000	26.0000	0.2588	-0.9659	-0.9828	-0.1846
9/20/2025 12:00	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	-0.9829	-0.1839
9/20/2025 13:00	0.0000	0.0000	-0.2588	-0.9659	-0.9831	-0.1832
9/20/2025 14:00	0.0000	0.0000	-0.5000	-0.8660	-0.9832	-0.1825
9/20/2025 15:00	0.0000	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.9833	-0.1818
9/20/2025 16:00	0.0000	0.0000	-0.8660	-0.5000	-0.9835	-0.1811
9/20/2025 17:00	0.0000	0.0000	-0.9659	-0.2588	-0.9836	-0.1804
9/20/2025 18:00	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	-0.9837	-0.1797
9/20/2025 19:00	0.0000	0.0000	-0.9659	0.2588	-0.9839	-0.1790
9/20/2025 20:00	0.0000	0.0000	-0.8660	0.5000	-0.9840	-0.1783
9/20/2025 21:00	0.0000	0.0000	-0.7071	0.7071	-0.9841	-0.1776



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

9/20/2025 22:00	0.0000	0.0000	-0.5000	0.8660	-0.9842	-0.1769
9/20/2025 23:00	0.0118	3.0000	-0.2588	0.9659	-0.9844	-0.1762
9/21/2025 0:00	0.3666	108.0000	0.0000	1.0000	-0.9845	-0.1755

Jika diamati pada tabel 3.1, masing – masing *Sin of the Day* dan *Cos of the Day* sudah merepresentasikan sifat trigonometri yang melingkar, sehingga relevan dengan pergerakan waktu di dunia nyata. Hal ini dibuktikan dengan pada jam 04:00 nilai sin dan cosnya masing – masing 0.866 dan 0.5, dan pada jam 16:00 (berbeda 12 jam dengan 04:00 namun merujuk pada panah waktu yang sama) memiliki nilai sin dan cos masing – masing -0.866 dan -0.5 (secara absolut balik lagi), ini mengindikasikan bahwa sifat waktu sudah sesuai dengan kondisi dunia nyata berkat trigonometri. Untuk *Sin of the Year* dan *Cos of the Year* belum dapat dibuktikan karena jumlahan data yang masih kurang dari satu tahun, namun dipersiapkan untuk masa yang akan datang.

Keberadaan *Sin of the Day* dan *Cos of the Day* menjadikan relevansi kolom fitur *timestamp* hilang, sehingga penulis buang fitur itu dan menjadi data final untuk bahan latih algoritma yang matang. Terakhir, penulis kalikan setiap data di *real_energy* dengan pengali 10 dikarenakan data *original* memiliki desimal yang dekat dengan 0, sehingga dengan dikali 10 maka nilai akan jauh dari 0 dan mencegah algoritma “berfikir” bahwa nilai mendekati 0 itu akurat. Data terakhir memiliki muatan sebesar 793 informasi berbasis *hourly*, dengan 6 fitur kolom, yang terkumpul selama kurang lebih satu bulan sejak data berhasil diserap ke *database*.

Tabel 3.2. Clean and Final Data for Training LSTM (Parsial)

real_energy (kWh)	shortwave_irradiation (W/m²)	Sin of a Day	Cos of a Day	Sin of a Year	Cos of a Year
0.1147	81.0000	0.0000	1.0000	-0.9813	-0.1924
0.4688	292.0000	0.2588	0.9659	-0.9815	-0.1917
0.4229	456.0000	0.5000	0.8660	-0.9816	-0.1910
0.2784	521.0000	0.7071	0.7071	-0.9817	-0.1903
0.1864	633.0000	0.8660	0.5000	-0.9819	-0.1896

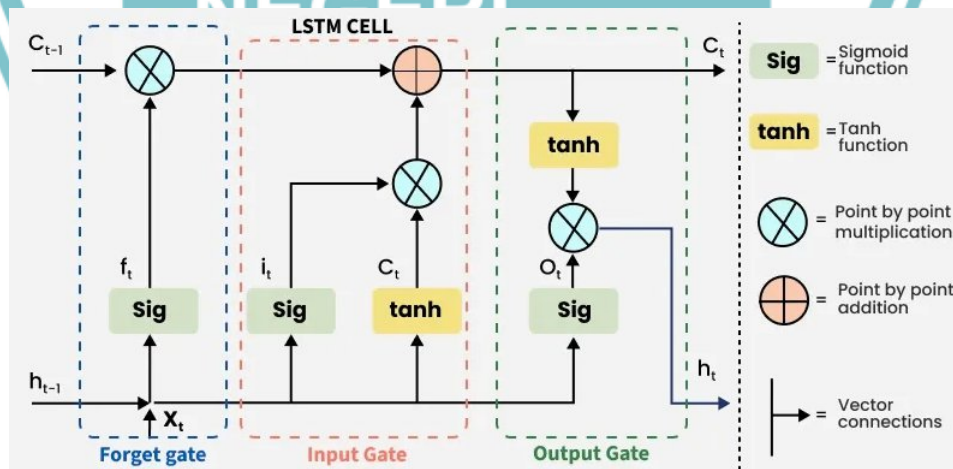
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

0.0966	646.0000	0.9659	0.2588	-0.9820	-0.1889
0.0171	646.0000	1.0000	0.0000	-0.9821	-0.1881
0.0021	566.0000	0.9659	-0.2588	-0.9823	-0.1874
0.0779	308.0000	0.8660	-0.5000	-0.9824	-0.1867
0.0382	275.0000	0.7071	-0.7071	-0.9825	-0.1860
0.0000	142.0000	0.5000	-0.8660	-0.9827	-0.1853
0.0000	26.0000	0.2588	-0.9659	-0.9828	-0.1846
0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	-0.9829	-0.1839
0.0000	0.0000	-0.2588	-0.9659	-0.9831	-0.1832
0.0000	0.0000	-0.5000	-0.8660	-0.9832	-0.1825
0.0000	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.9833	-0.1818
0.0000	0.0000	-0.8660	-0.5000	-0.9835	-0.1811
0.0000	0.0000	-0.9659	-0.2588	-0.9836	-0.1804
0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	-0.9837	-0.1797
0.0000	0.0000	-0.9659	0.2588	-0.9839	-0.1790
0.0000	0.0000	-0.8660	0.5000	-0.9840	-0.1783
0.0000	0.0000	-0.7071	0.7071	-0.9841	-0.1776
0.0000	0.0000	-0.5000	0.8660	-0.9842	-0.1769
0.0118	3.0000	-0.2588	0.9659	-0.9844	-0.1762
0.3666	108.0000	0.0000	1.0000	-0.9845	-0.1755

3.3.2. Pengembangan Machine Learning

TEORETIS



Gambar 3.10. Ilustrasi visual satu sel LSTM

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Keunggulan fundamental LSTM terletak pada arsitekturnya yang dirancang secara spesifik untuk mengatasi permasalahan *vanishing gradient* yang kerap ditemui pada RNN saat memproses urutan data yang panjang. Melalui mekanisme gerbang (*gating mechanism*) yang terdiri dari *forget gate*, *input gate*, dan *output gate*, LSTM memiliki kemampuan kognitif untuk menyeleksi informasi mana yang harus disimpan dalam memori sel (*cell state*) dan mana yang harus dibuang. Kapabilitas untuk mempertahankan long-term dependencies ini sangat krusial dalam menganalisis data meteorologi yang memiliki variabilitas tinggi dan pola musiman yang kompleks. Arsitektur daripada LSTM secara ringkas ialah sebagai berikut (dengan mengacu pada gambar 3.10):

1) Forget Gate

Sesuai namanya, *Forget Gate* (Gerbang Melupa) ialah gerbang pada sel LSTM yang berfungsi untuk memutuskan meneruskan atau membuang informasi dari sel memori sebelumnya. *Forget Gate* diaktivasi dengan fungsi sigmoid σ yang memberi keluaran internal *binary* antara 1 dan 0, untuk memutuskan melupakan sepenuhnya atau meneruskan sepenuhnya informasi dari sel memori *node* LSTM sebelumnya.

$$z_f = w_f [h_{t-1}, x_t] + b_f \quad \dots(3)$$

$$f_t = \sigma(z_f) \quad \dots(4)$$

Di mana:

z_f = Net Input for Forget Gate

f_t = Forget Gate.

w_f = Parameter *Weight* atau *Slope* dari f_t .

t = *Timestamp*.

h_{t-1} = Keluaran dari sel sebelumnya ($t-1$).

x_t = Data masukan dari waktu saat ini (t).

b_f = Parameter bias atau *y-intercept* dari f_t .

σ = Kalkulasi sigmoid $\frac{1}{1+e^{-(z_f)}}$ dengan domain hasil antara $[0, 1]$ inklusif

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Setelah itu, ft akan dikalikan dengan c_{t-1} , yang merupakan sel memori dari sel LSTM sebelumnya, jika $ft = 0$ maka c_{t-1} akan terbuang dan sebaliknya.

2) *Input Gate and Cell Memory*

Input Gate atau dalam literatur lain juga disebut sebagai *update gate*, adalah gerbang yang merekayasa isi informasi yang terkandung dari keluaran sel LSTM sebelumnya yang dipadu dengan masukan data untuk sel LSTM saat ini. Informasi diregulasi mirip seperti *Forget Gate*, namun dengan perbedaan ianya dikalikan dengan keluaran operasi Tanh dari sel memori *node* LSTM saat ini. Formula kalkulasi dari *Input Gate* dan *Cell Memory* ialah sebagai berikut:

$$z_i = w_i [h_{t-1}, x_t] + b_i \quad \dots(5)$$

$$z_c = w_c [h_{t-1}, x_t] + b_c \quad \dots(6)$$

$$i_t = \sigma(z_i) \quad \dots(7)$$

$$\tilde{c}_t = \text{Tanh}(z_c) \quad \dots(8)$$

Di mana:

i_t = *Input Gate*.

w_i = Parameter *slope* dari i_t .

b_i = Parameter bias atau *y-intercept* dari i_t .

$\tilde{c}_t$ = Kandidat memori *node* saat ini.

Tanh = Operasi kalkulasi $\frac{e^{(z_c)} - e^{-(z_c)}}{e^{(z_c)} + e^{-(z_c)}}$ dengan domain hasil antara $[-1, 1]$

inklusif

Setelah itu, operasi antara *Input Gate* dan Sel Memori dikalikan secara *element – wise*, lalu ditambah dengan keluaran dari *Forget Gate* yang dikalikan secara *element – wise* dengan sel memori dari *node* LSTM sebelumnya, menghasilkan C_t dari *node* LSTM saat ini:

$$C_t = ft * C_{t-1} + i_t * \tilde{c}_t \quad \dots(9)$$

Sehingga C_t adalah keluaran akhir sel memori dari *node* LSTM saat ini.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3) *Output Gate*

Gerbang ini menjadi yang terakhir sebagai penanggung jawab dalam memberi hasil akhir daripada pemrosesan data *node LSTM* saat ini (t). Formula daripada *Output Gate* adalah:

$$z_o = w_o [h_{t-1}, x_t] + b_o \quad \dots(10)$$

$$O_t = \sigma(z_o) \quad \dots(11)$$

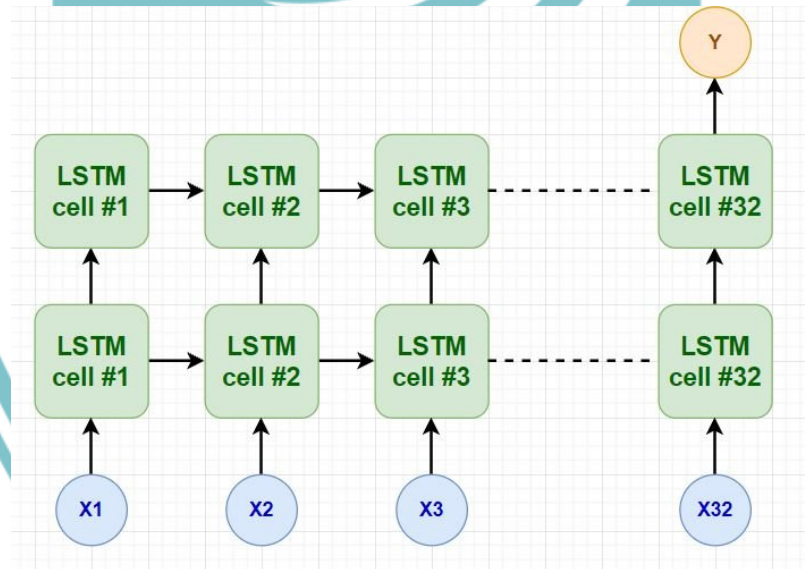
Di mana:

O_t = *Output Gate*

w_o = Parameter *slope* dari O_t .

b_o = Parameter *y-intercept* daripada O_t .

Setelah itu, *Output Gate* dikalikan secara *element – wise* dengan produk Tanh daripada C_t , kalkulasi itu menghasilkan keluaran akhir dari *node LSTM* saat ini.



Gambar 3.11. Ilustrasi visual rangkaian setiap sel dan layer LSTM

Hasil proses dari *Forget Gate* sampai dengan *Output Gate* menghasilkan dua produk dari *node LSTM* saat ini, yaitu sel memori dan keluaran. Keluaran menjadi hasil proses LSTM saat ini, dan sel memori sebagai serpihan ingatan untuk LSTM

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berikutnya, membentuk serangkaian *node* yang prosesnya saling berkesinambungan, mata rantai dan lapisan – lapisan cerdas, yang merupakan rangka dibalik algoritma *Deep Learning* LSTM.

Proses ini ialah tahap *Forward Propagation*, yaitu algoritma memproses informasi matang lalu memberi keluaran dengan menganggap model sudah dilatih sedemikian rupa sehingga parameter masing – masing sudah memiliki bobot terpelajar untuk melakukan proses matematis ini. Namun untuk menjadikan model mempelajari data, diterapkan proses *Backward Propagation* yang melibatkan perhitungan seperti *Gradient Descent*, kalkulasi diferensial parsial untuk menjadikan model merekayasa parameter, dan lain sejenisnya, namun penulis tidak akan membahas sedalam itu agar menjaga topik tetap pada membahas rancang bangun sistem terkait.

PENERAPAN

Dalam mengembangkan *Machine Learning* sub *Supervised Learning* seperti LSTM ini, umumnya algoritma akan dibagi menjadi dua fase, yaitu fase melatih dan fase menguji algoritma. Fase melatih bertujuan untuk menjadikan algoritma mempelajari pola pada data agar setiap parameter di dalamnya dapat menyesuaikan dengan pola informasi yang sebenarnya dengan dievaluasi oleh suatu *metrics* sehingga diharapkan keluaran yang diberikan sesuai dengan keluaran dari data yang sebenarnya, sedangkan fase menguji bertujuan untuk mengukur akurasi dari kemampuan model dalam memberi keluaran terhadap data yang tiada di fase melatih.

LSTM yang penulis gunakan ditujukan untuk kasus data berbasis waktu (*timeseries*) agar dapat memprediksi masa depan dari data masa lalu, dalam kasus ini penulis gunakan 48 jam data masa lalu sebagai *window periods* dan 24 jam sebagai *future predictions*. Oleh karenanya, penulis hampir gunakan seluruh data yaitu 721 jam data untuk fase melatih, dan 72 jam terakhir untuk fase uji.

Dalam mengimplementasikan tahap ini, penulis memanfaatkan *Python Programming Language* untuk mengembangkan algoritma *Machine Learning* tipe LSTM ini, dikarenakan pada bahasa pemrograman ini senantiasa digunakan untuk

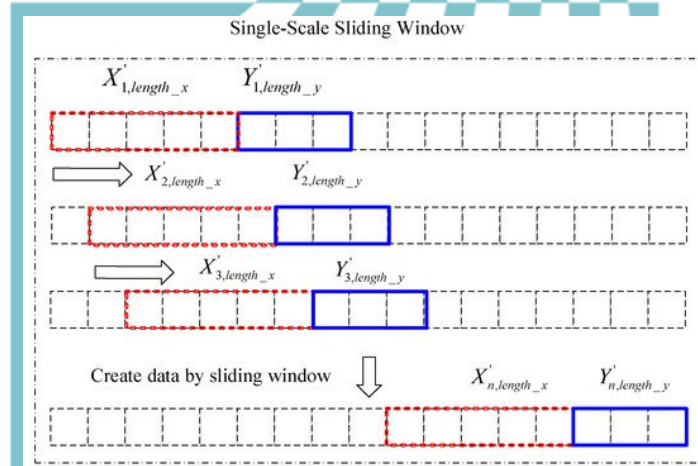
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kegiatan berbasis data seperti mengolah data, menganalisa data, memanipulasi data, berikut dengan mengembangkan berbagai algoritma berbasis data mulai dari statistika hingga kecerdasan buatan [2]. Tahap – tahap membuat dan mengembangkan LSTM ialah sebagai berikut:

1) *Training Phase Data Sampling*

Data matang yang sudah penulis siapkan untuk fase melatih akan diolah kembali agar sesuai dengan bentuk dimensi data yang diperlukan oleh algoritma. Dari 721 jam data, diterapkan *sliding window* skala tunggal sebesar 48 jam sebagai *window periods* yang diperlukan untuk memprediksi 24 jam kedepan.



Gambar 3.12. *Sliding Window Method for Sampling – Parsing Timeseries Data*

Dengan demikian, proses pembagian data berbasis *sliding window* ialah sebagai berikut:

$$X_i = \{d_i, \dots, d_{i+47}\} \quad \dots(12)$$

$$Y_i = \{d_{i+48}, \dots, d_{i+71}\} \quad \dots(13)$$

Di mana:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

X_i = Rentang data *input*

Y_i = Rentang data *output*

d_i = Data di waktu ke- i

Dengan kalkulasi di atas, proses pembagian ialah pada mulanya data *input* diambil dari data pertama (waktu ke-0) hingga data ke-48 (waktu ke-47) menjadi data X_1 , lalu dari data ke-49 (waktu ke-48) sampai dengan data ke-72 (waktu ke-71) menjadi data Y_1 , sehingga data X_1 akan menjadi *input* dengan *output* Y_1 . Pada pembagian data berikutnya, data *input* akan bergeser (*sliding*) 1 jam dengan diambil dari waktu kedua (waktu ke-1) sampai dengan data ke-49 (waktu ke-48) sehingga menjadi data X_2 , lalu dari data ke-50 (waktu ke-49) hingga data ke-73 (waktu ke-72) menjadi data Y_2 , sehingga X_2 dan Y_2 menjadi sepasang data *input* dan data *output* kedua. Proses ini berlangsung hingga data ke- n , di mana n merupakan total jumlah data, sehingga dicapai data X_n dan Y_n .

Setelah menerapkan data sampling dari 721 jam informasi dengan metode *sliding window*, total sampel data untuk pelatihan yang diperoleh dapat dihitung dengan rumus:

$$M = N - T_{input} - T_{output} + 1 \quad \dots(14)$$

Di mana:

M = Total sampel data.
 T_{input} = *Window periods* yang digunakan
 T_{output} = Waktu prediksi yang ditetapkan

Penulis menggunakan *window periods* sebesar 48 jam dengan waktu prediksi yang ditetapkan 24 jam, sehingga dengan menggunakan formula X data sampel untuk fase melatih yang terkumpul sebanyak 650 sampel informasi untuk masing – masing *input* dan *output*. Sebagai catatan, penulis memasukan seluruh fitur kolom pada data *input* dan hanya memasukan satu fitur kolom yaitu *real_energy* pada data *output*, dengan maksud pada data *input* model algoritma akan memanfaatkan seluruh data yang ada untuk memberi *output real_energy* selama 24 jam kedepan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

650 sampel X untuk *input* fase melatih memiliki bentuk dimensi (650, 48, 6), di mana 650 adalah total sampel data, 48 adalah *window periods* atau *data input periods* yang digunakan, dan 6 adalah total kolom fitur yang digunakan. Sedangkan sampel y untuk *output* fase melatih memiliki bentuk dimensi (650, 24, 1), di mana 650 adalah total sampel data, 24 adalah *data output periods* yang digunakan, dan 1 adalah total kolom fitur yang digunakan.

2) *Testing Phase Data Sampling*

Pada fase menguji, penulis menggunakan 72 jam data terakhir dari total informasi matang yang sudah disiapkan, sehingga dengan menerapkan metode *sliding windows* skala tunggal dan menerapkan rumus X seperti yang dilakukan pada fase training, hanya ada satu sampel data untuk fase menguji, yaitu 48 jam dengan 24 jam *keluaran*.

Bentuk dimensi sampel data untuk X sebagai *input* adalah (1, 48, 6), di mana 1 adalah total sampel data, 48 adalah total *window periods* atau *data input periods*, dan 6 adalah total kolom fitur yang digunakan. Sedangkan sampel data untuk y sebagai *output* adalah (1, 24, 1), di mana 1 adalah jumlah sampel data, 24 adalah *data outputs*, dan 1 adalah kolom fitur yang digunakan.

3) *Evaluation Metrics*

Ada berbagai metrik yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan daripada algoritma, salah satunya *Mean Squared Error* (MSE) yang penulis gunakan karena kemampuannya mengevaluasi model dengan kekuatan berpangkat 2, sehingga jika akurasi model buruk akan dihukum secara algoritmik sebesar dua pangkat.

Formula daripada MSE ialah berikut:

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y - \hat{y})^2 \quad \dots(15)$$

Di mana:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

m = Jumlahan data (populasi atau sampel)

y = Data keluaran yang diproduksi algoritma

$\hat{y}$ = Data keluaran yang sebenarnya.

MSE akan diterapkan sebagai bahan evaluasi pada model algoritma sekaligus menjadi bahan dasar yang digunakan untuk menyesuaikan kemampuan algoritma, yaitu dengan menurunkan MSE terhadap kalkulasi – kalkulasi yang diterapkan pada LSTM dan dengannya setiap parameter disesuaikan. Proses ini akan terjadi secara berulang pada fase *training* sampai selisih antara y dan $\hat{y}$ menjadi sangat kecil. Keberhasilan algoritma ditandai dengan error atau selisih antara y dan $\hat{y}$ sangat kecil pada fase *testing* dan pada fase *production*.

4) *LSTM Application (Enhanced with Sequence to Sequence Mechanism)*

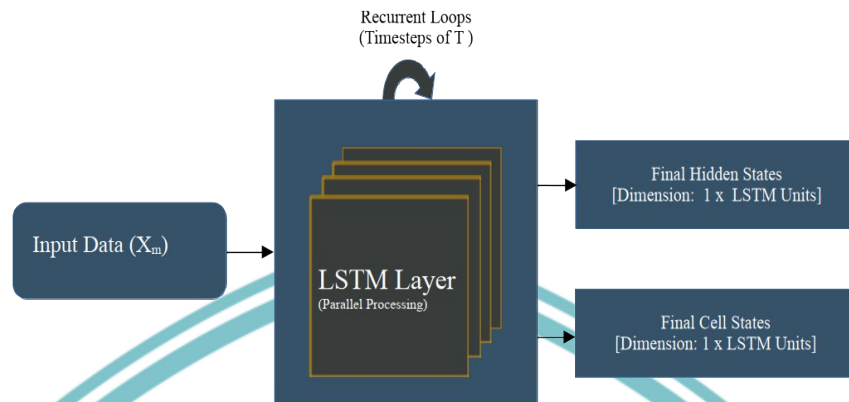
- ***Initial LSTM Process***

Lapisan *input* untuk algoritma akan menjadi wadah seluruh data dikumpulkan dengan bentuk (48, 6) atau 48 unit *timesteps* dan 6 kolom, setiap satu sampel dengan rentang 48 *timesteps* dalam jam, yang setiap jam terdapat masing – masing 6 kolom fitur yang diperoleh saat pembersihan data.

Lapisan *input* yang berisi sampel data dengan barisan – barisan informasi akan diberikan ke lapisan LSTM sebanyak 64 sel yang akan mengkalkulasi setiap informasi dengan menerapkan metode *gated* berdasarkan rumus – rumus teoretis LSTM yang telah penulis jelaskan sebelumnya, yang mana setiap 1 sampel data akan diproses secara bergantian hingga sampel data terakhir. Proses ini akan memberi model kapasitas untuk mempelajari pola informasi pada data yang kemudian memberi representasi nilai matematis dengan bentuk dimensi data (1, 64) per sampel, yang berarti lapisan LSTM memberi satu baris data dengan 64 kolom yang berisi hasil kalkulasi setiap cell.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.13. *Visualization LSTM as Encoder*

- ***LSTM into Sequence to Sequence Process***

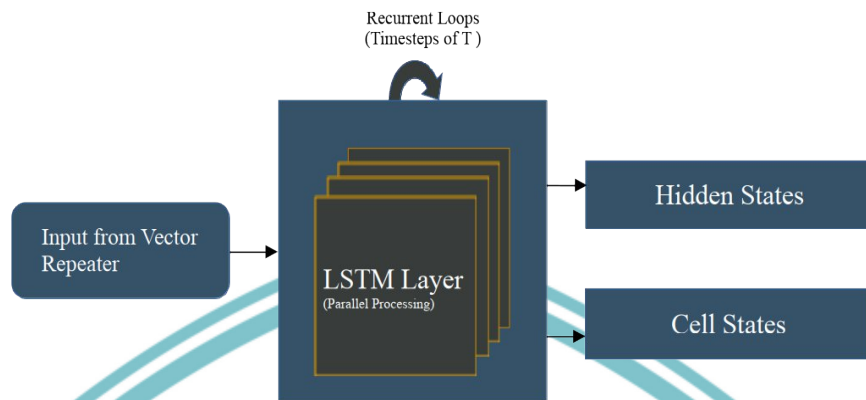
Keluaran daripada lapisan LSTM adalah hasil *encode* berupa dua data yaitu *hidden state* dan *cell state* yang masing – masing berdimensi (1, 64) dikarenakan setiap sel dari 64 sel LSTM memberi satu *hidden state* dan satu *cell state* dari *timesteps* terakhir. Proses di sini memasuki lapisan arsitektur *Encoder – Decoder Sequence to Sequence*, yaitu data – data dari *cell output* akan diteruskan ke *Vector Repeater* untuk digandakan sebanyak 24 kali, agar sesuai dengan jumlah data yang hendak diproduksi sebagai prediksi informasi dalam 24 jam kedepan.

- ***Second LSTM (Extracting Mathematical Context)***

Keluaran daripada *Vector Repeater* yang berdimensi (1, 24, 64) masih belum memiliki konteks yang berarti, sehingga akan memasuki lapisan LSTM kedua yang akan menghitung secara *timeseries*. Data – data ini akan diproses secara *gates* untuk mengubah data konstan sebanyak 24 baris dan 64 kolom dari *Vector Repeater* menjadi angka angka unik.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.14. *Visualization of LSTM II as Decoder*

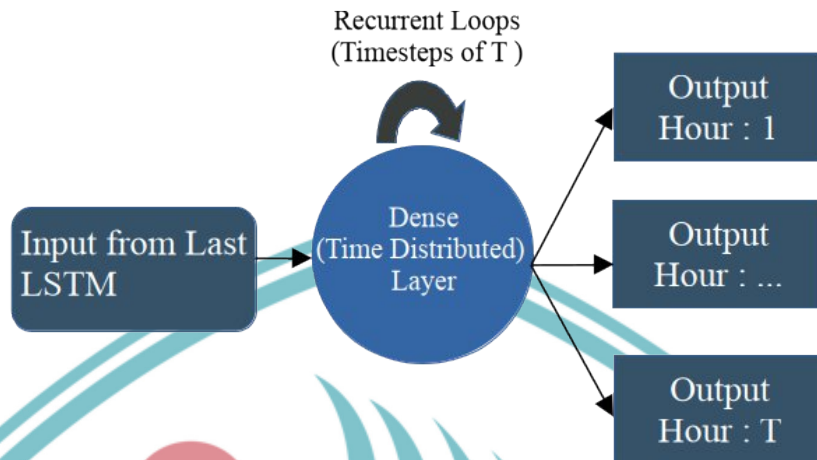
- **Final Output**

Keluaran daripada LSTM II memiliki dimensi data (1, 24, 64) yaitu setiap *timesteps* mulai dari 1 sampai dengan 24 masing – masing memiliki 64 data dengan nilai yang unik disebabkan nilai dari lapisan *Vector Repeater* didekode. 64 data yang unik di setiap *timesteps* ini akan diberikan secara bergantian dari 1 sampai 24 ke lapisan terakhir yaitu *Dense Layer*, yang akan memetakan nilai dari (1, 24, 64) menjadi 24 nilai matematis yang unik.

Output terakhir akan dibandingkan dan dievaluasi oleh *metrics* MSE, jika terdapat selisih yang memberi nilai inakurasi maka kalkulasi MSE akan diturunkan dan diuraikan secara matematis hingga menyentuh parameter daripada algoritma lalu menyesuaikannya, dan proses diulang lagi sampai akurasi dianggap bagus.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.15. Visualisasi Lapisan Terakhir model *Machine Learning*

3.3.3. Penanaman Model LSTM dengan *Production Server*

Algoritma yang sudah dilatih dan diuji akan diimplementasikan secara lokal terlebih dahulu di laptop penulis. Pada sistem lokal, dikembangkan *Scheduler* berbasis *Systemd* yang dapat diset melalui mekanisme *bash* pada *Linux Environment*, ianya berfungsi sebagai pengatur jadwal kapan model akan dieksekusi dan mengirimkan data dalam bentuk *JSON* ke *dashboard*. *Scheduler* akan berjalan setiap jam 00:00 waktu UTC yang jika di Waktu Indonesia bagian Barat akan berjalan di jam 07:00, ini dikarenakan terdapat peluang sistem ini tidak hanya diterapkan di satu zona waktu, sehingga *best practice* yang dilakukan adalah senantiasa menggunakan UTC sebagai zona waktu absolut. Setelah *Scheduler* ditetapkan, maka diterapkan *service* berisi *command* untuk mengeksekusi algoritma yang akan dipicu oleh *Scheduler* terkait.

Pada laptop penulis, *Scheduler* dan *Service* yang dijalankan berjalan dengan baik, lalu sistem ini dimigrasi ke *Production Cloud Server* milik perusahaan. Dengan demikian, *Machine Learning* sudah berjalan secara otomatis dan rutin mengirim data secara berkala, yang akan ditampilkan secara grafik di *Thingsboard* pada *Production Server*.

3.4. Analisis Efektivitas

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Secara substansial, model dapat dinilai bagus jika kedua masalah performa *insignificantly* tidak terjadi, di antaranya:

1) **Overfitting (High Variance)**

Overfitting adalah kondisi model memiliki akurasi tinggi pada evaluasi *training phase*, namun algoritma memiliki performa yang buruk pada *testing phase*. Ini mengindikasikan bahwa algoritma terlalu terpaku dengan materi atau *datasets* saat fase melatih sehingga performanya tidak *transfereble* ke data yang tiada pada fase melatih. Solusi masalah ini ada beberapa cara, seperti:

- Menambah muatan dataset.
- Mengurangi jumlah unit neuron pada *layers*.
- Menambah *hyperparameter* seperti regularisasi untuk mengurangi ‘fokus’ algoritma dalam mempelajari data.
- Dan lain sejenisnya.

Untuk mengetahui *Machine Learning* mengalami atau tidaknya *overfitting*, dapat diketahui pasca fase melatih, fase menguji, dan membandingkan antara hasil fase melatih dan hasil fase menguji.

2) **Underfitting (High Bias)**

Underfitting adalah kondisi saat algoritma tidak dapat mempelajari pola data apapun saat fase menguji, sehingga hasil evaluasinya sangat buruk. Ini dapat disebabkan oleh banyak faktor, seperti:

- Data tidak bersih yang memberi *noise* bagi algoritma dalam memahami pola informasi.
- Ketidaksesuaian tipe *Machine Learning* yang digunakan dengan tipe data yang diberikan.
- Kurang banyaknya neuron pada *Neural Network layers*.
- Nilai *Hyperparameter* seperti regularisasinya yang terlalu besar.
- Kurang banyaknya data.
- *Vanishing and or exploding gradient*.
- Dan lain sejenisnya

Hak Cipta :

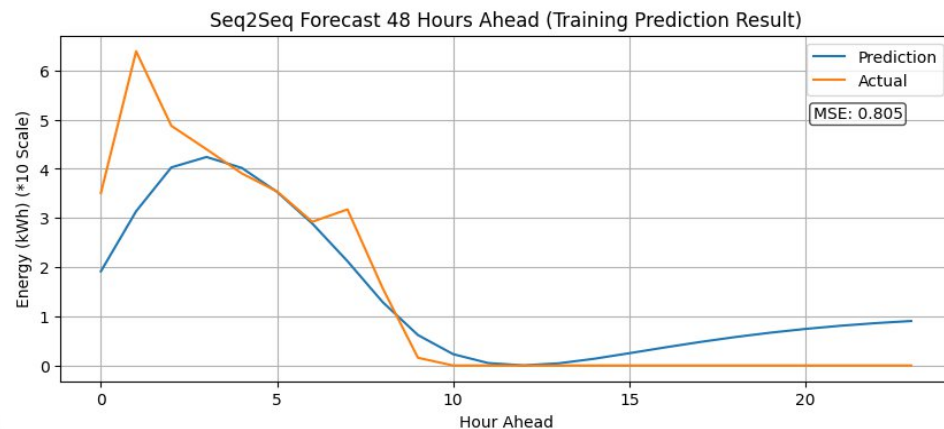
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Solusi untuk menangani *underfitting* adalah dengan mengetahui gejala dan sebabnya, lalu mengatasi sebab permasalahan itu. Misal jika didapati bahwa saat fase melatih algoritma mengalami gradien yang mulai terkonvergen ke akurasi yang tinggi namun tidak mencapai akurasi yang memadai, maka terindikasi model mengalami kekurangan data dan kurang padatnya algoritma.

Untuk mengetahui *Machine Learning* LSTM yang penulis kembangkan mengalami *underfitting* atau tidak, akan diketahui pada saat evaluasi fase melatih.

3.4.1. Analisis hasil *Training* dan *Testing* pada Model Algoritma LSTM

1) *Training Result*



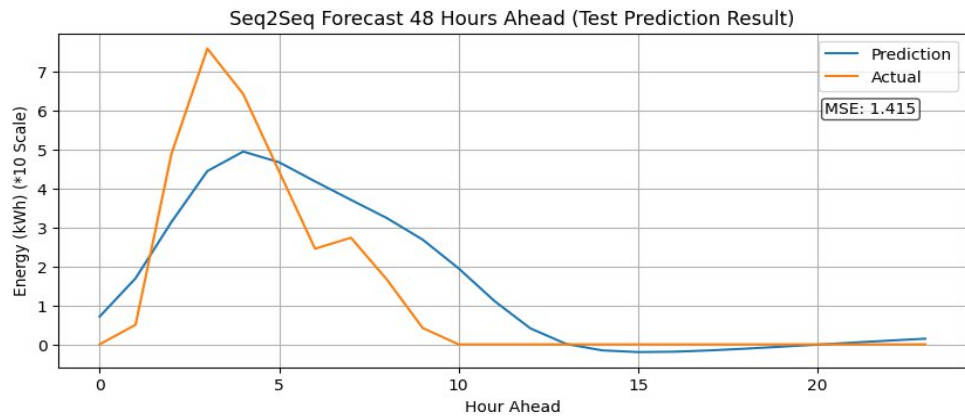
Gambar 3.16. Grafik Hasil Pelatihan Model LSTM

Pada gambar 3.16. hasil pelatihan model menunjukkan akurasi yang cukup baik dengan rata – rata MSE sebesar 0.805 dengan skala 10:1, yang berarti sudah cukup akurat dalam memberi nilai prediksi berkonfigurasi 48 jam *window periods* untuk prediksi 24 jam kedepan. Hasil latih model menjadi langkah awal bagi *Machine Learning Engineer* untuk melihat performa daripada algoritma, namun bukan satu – satunya tolak ukur akurasi model secara keseluruhan. Fase Uji diperlukan untuk meninjau lebih lanjut performa dari model yang diterapkan.

2) *Testing*

Hak Cipta :

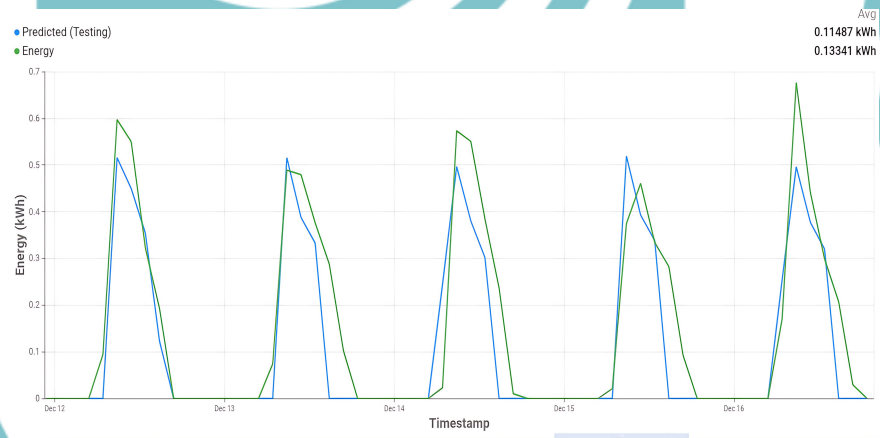
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.17. Hasil fase menguji model LSTM

Pada gambar 3.17. didapati evaluasi performa model pada fase menguji memiliki performa yang masih bagus, yaitu memiliki rata – rata MSE sebesar 1.415 dengan skala 10:1, yang masih berada dalam nilai yang relatif aman.

3.4.2. Analisis Perbandingan Data Lapangan dengan Prediksi LSTM



Gambar 3.18. Perbandingan Data Lapangan dengan Hasil Prediksi LSTM

Algoritma diimplementasikan pada *Production Server* untuk diamati secara langsung performanya terhadap kejadian di lapangan. Skala 10:1 atau faktor pengali yang diberikan pada datasets sebelumnya dikembalikan ke skala 1:1 agar relevan dengan kondisi dunia nyata.

Gambar 3.18. memberi visualisasi data yang terjadi dari tanggal 12 Desember 2025 sampai dengan 16 Desember 2025, dan didapati bahwa performa



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

model LSTM di lapangan cukup bagus dengan memiliki *trend* harian yang mirip dalam resolusi setiap jam. Rata – rata produksi energi harian dari data yang diberikan PLTS di lapangan adalah 0.13341 dan rata – rata prediksi produksi energi harian dari model LSTM adalah 0.11487, keduanya memiliki selisih yang relatif rendah berdasarkan *Mean Squared Error* menurut persamaan 15 yaitu:

$$(0.13341 - 0.11487)^2 = 0.0003437316$$

3.4.3. Interpretasi Hasil dan Evaluasi

Proses evaluasi fase melatih dan evaluasi fase menguji memberi pandangan yang lebih luas bagi penulis untuk menilai performa algoritma yang sudah dirancang, dan dapat dinyatakan performa model LSTM sudah berjalan cukup baik walau dengan data yang sedikit (sekitar satu bulan data terkumpul).

Hasil dari evaluasi fase melatih memiliki skor MSE sebesar 0.801, hasil evaluasi fase menguji memiliki skor MSE sebesar 1.415, selisih antara MSE daripada fase melatih dan fase menguji adalah $1.415 - 0.801 = 0.61$ yang mengindikasikan bahwa algoritma tidak mengalami masalah *underfitting* maupun *overfitting*.

Pada hasil uji di lapangan, selisih rata – rata antara data yang terjadi sebenarnya dengan data hasil prediksi bernilai 3.437×10^{-4} yang mengindikasikan algoritma sudah cukup baik dalam menjalankan tugasnya di lapangan.