

## Perbaikan Tingkat Padam Listrik Pada Distribusi Energi Terbarukan Pada Area Terpencil Melalui IoT dan Internet Satelit : Studi Kasus Area Terpencil di Kalimantan Barat

Maruli Parsaoran Soeseno Panjaitan<sup>1\*</sup>, Hasbullah Hasbullah<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Mercu Buana, Jakarta

Email korespondensi: rully.panjaitan@gmail.com

### Abstrak

Penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan dan menguji model distribusi energi terbarukan berbasis integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan internet satelit pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah terpencil, dengan fokus pada penurunan tingkat padam listrik dan peningkatan efisiensi distribusi energi. Permasalahan utama yang diangkat adalah tingginya frekuensi pemadaman listrik akibat ketidakseimbangan produksi dan konsumsi energi, keterbatasan infrastruktur komunikasi, serta kurangnya pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time* di daerah terpencil seperti Desa Upit, Kalimantan Barat. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi, terapan dan eksperimen kuasi yaitu desain penelitian yang digunakan untuk menyelidiki hubungan sebab-akibat antara variabel, tetapi tidak menggunakan penugasan acak (randomisasi) pada subjek penelitian. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara, serta *monitoring* perangkat IoT yang dipasang pada sistem PLTS. Bahwa data sekunder diperoleh dari literatur, laporan teknis, dan basis data meteorologi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources)* untuk menentukan konfigurasi optimal sistem PLTS dengan mempertimbangkan variabel lingkungan (radiasi matahari, suhu, kelembapan) dan pola konsumsi energi masyarakat. Analisis data dilakukan secara statistik deskriptif dan inferensial untuk mengevaluasi perubahan efisiensi sistem sebelum dan sesudah integrasi teknologi digital, guna meningkatkan efisiensi distribusi energi dan mengurangi pemborosan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem integrasi IoT dan internet satelit efektif menurunkan frekuensi padam listrik lebih dari 50% dalam waktu tiga bulan pengamatan. Efisiensi distribusi energi meningkat dari rata-rata 67% menjadi 89% setelah implementasi sistem terintegrasi. Selain itu, sistem *monitoring* dan kontrol jarak jauh berbasis IoT memudahkan operator dalam melakukan pemantauan dan pengendalian distribusi energi secara *real-time*, serta memungkinkan deteksi dini gangguan teknis sebelum terjadi pemutusan pasokan listrik. Penelitian memberikan kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan untuk mendukung akses energi bersih dan berkelanjutan di daerah terpencil dengan karakteristik serupa, sehingga berpotensi mempercepat transisi energi terbarukan di daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar) di Indonesia. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan energi berkelanjutan serta mendukung pencapaian target nasional transisi energi bersih dan lebih inklusif.

**Kata Kunci:** Internet Satelit, Optimasi Distribusi Energi Surya, HOMER, Wilayah Terpencil, Energi Terbarukan

### Abstract

*This research aims to develop and test a renewable energy distribution model based on the integration of Internet of Things (IoT) and satellite internet technology in a solar power plant (PLTS) system in remote areas, with a focus on reducing power outages and increasing energy distribution efficiency. The main issues addressed are the high frequency of power outages due to an imbalance between energy production and consumption, limited communication infrastructure, and the lack of real-time system monitoring and control in remote areas such as Upit Village, West Kalimantan. The research method uses a quantitative approach based on simulation, application, and quasi-experimental design, which is a research design used to investigate causal relationships between variables without using random assignment of research subjects. Primary data was collected through field observations, interviews,*

and monitoring of IoT devices installed in the PLTS system. Secondary data was obtained from literature, technical reports, and meteorological databases. Simulations were conducted using HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) software to determine the optimal configuration of the PLTS system, taking into account environmental variables (solar radiation, temperature, humidity) and community energy consumption patterns. Data analysis was conducted using descriptive and inferential statistics to evaluate changes in system efficiency before and after the integration of digital technology, in order to improve energy distribution efficiency and reduce waste. The results showed that the implementation of an integrated IoT and satellite internet system effectively reduced the frequency of power outages by more than 50% within three months of observation. Energy distribution efficiency increased from an average of 67% to 89% after the integrated system was implemented. Furthermore, the IoT-based remote monitoring and control system facilitated operators' real-time monitoring and control of energy distribution and enabled early detection of technical disruptions before power outages occurred. This research contributes to the development of renewable energy to support access to clean and sustainable energy in remote areas with similar characteristics, thus potentially accelerating the renewable energy transition in the 3T (Disadvantaged, Frontier, Outermost) regions of Indonesia. This research provides a practical contribution to sustainable energy development and supports the achievement of the national target of a clean and more inclusive energy transition.

**Keywords:** Satellite Internet, Solar Energy Distribution Optimization, HOMER, Remote Areas, Renewable Energy

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan peningkatan taraf hidup masyarakat. Fenomena ini terlihat dari data konsumsi listrik nasional yang naik signifikan setiap tahun, dengan sektor industri dan rumah tangga sebagai konsumen terbesar. Data nasional menunjukkan konsumsi listrik per kapita meningkat dari 1.089 kWh pada 2020 menjadi 1.411 kWh pada 2024, dengan target 1.439 kWh di 2025. Di balik pertumbuhan tersebut, terdapat tantangan besar dalam pemerataan akses energi, terutama di wilayah terpencil seperti Desa Upit, Kalimantan Barat. Daerah-daerah ini menghadapi keterbatasan infrastruktur listrik dan komunikasi, yang menyebabkan tingginya tingkat padam listrik (*cut-off*) hingga lebih dari 30% dalam periode tertentu. Ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi energi, serta minimnya pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time*, memperburuk situasi ini.

Permasalahan ini berdampak langsung pada kualitas hidup masyarakat, menghambat aktivitas ekonomi, pendidikan, dan kesehatan, serta menurunkan efektivitas pemanfaatan energi terbarukan. Kondisi geografis yang sulit dijangkau dan keterbatasan teknologi *monitoring* konvensional membuat distribusi energi tidak berjalan optimal. Hal ini menimbulkan pertanyaan bagaimana memastikan distribusi energi terbarukan yang efisien dan andal di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur?

Menariknya permasalahan sebagai motivasi penelitian ini perlu dilakukan penelitian dan menantang untuk diteliti, karena hal berikut :

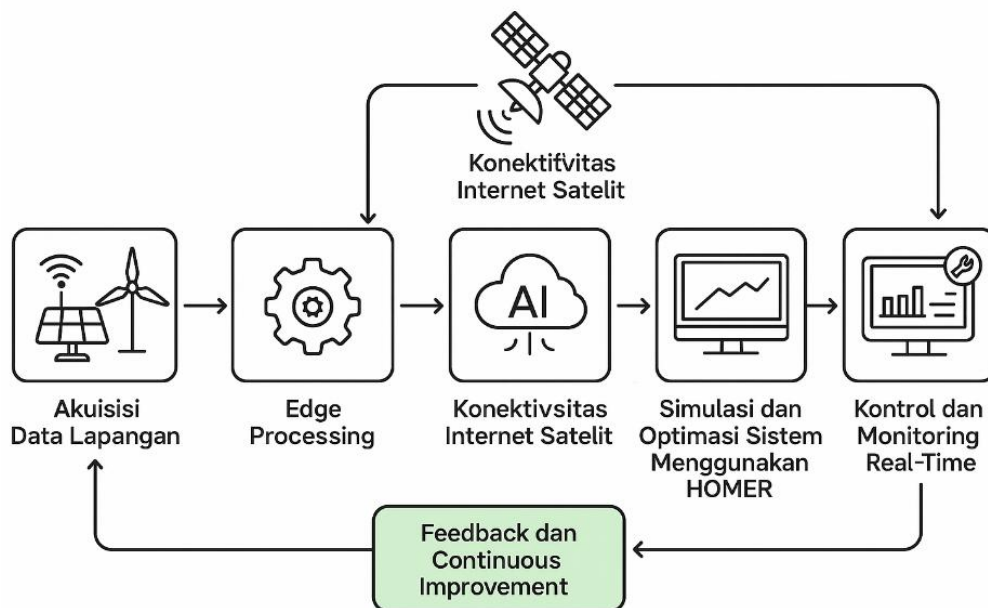
- Kesenjangan akses energi di wilayah terpencil masih menjadi isu nasional yang menghambat pemerataan pembangunan.
- Tingginya tingkat padam listrik menyebabkan pemborosan energi dan menurunkan produktivitas masyarakat.
- Efektivitas energi terbarukan belum optimal tanpa dukungan sistem distribusi yang adaptif dan terintegrasi.
- Minimnya penelitian komprehensif yang menggabungkan teknologi digital (IoT dan internet satelit) untuk *monitoring* dan pengendalian distribusi energi secara *real-time* di daerah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar).

Penelitian sebelumnya umumnya hanya menyoroti aspek teknis PLTS atau *monitoring* manual tanpa integrasi sistem digital secara penuh. Belum banyak studi yang membahas solusi terintegrasi berbasis IoT dan internet satelit untuk mengatasi masalah distribusi energi di wilayah dengan infrastruktur terbatas.

Permasalahan yang akan diselesaikan berdasarkan fenomena dan gap penelitian sebelumnya, penelitian ini mengerucut pada pertanyaan utama yaitu bagaimana mengembangkan model distribusi energi terbarukan berbasis integrasi IoT dan internet satelit yang efektif menurunkan tingkat padam listrik dan meningkatkan efisiensi distribusi energi di wilayah terpencil ?

Solusi yang diusulkan (*Proposed Approach*) adalah integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan internet satelit pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah terpencil, dengan beberapa pendekatan berikut, meliputi :

- Pemasangan sensor IoT pada panel surya, baterai, inverter, dan beban untuk memantau parameter teknis dan lingkungan secara *real-time*.
- Edge processing untuk pemrosesan data lokal, deteksi anomali, dan respons cepat terhadap gangguan.
- Pengiriman data *monitoring* melalui jaringan internet satelit ke cloud pusat, memastikan konektivitas di daerah tanpa akses jaringan kabel atau seluler.
- Analisis data berbasis AI (*machine learning, fuzzy logic*) di cloud untuk prediksi beban, optimasi distribusi energi, dan deteksi dini gangguan teknis.
- Simulasi dan optimasi sistem menggunakan perangkat lunak HOMER untuk menentukan konfigurasi optimal PLTS berdasarkan data lingkungan dan konsumsi energi.
- Kontrol dan *monitoring real-time* melalui dashboard digital, memungkinkan operator melakukan pengendalian sistem dari jarak jauh.
- Feedback loop untuk evaluasi dan adaptasi sistem secara berkelanjutan.



**Gambar 1.** Diagram sistem distribusi energi terbarukan berbasis *Internet of Things* (IoT) dan internet satelit

Solusi ini mampu menurunkan tingkat padam listrik lebih dari 50% dalam waktu tiga bulan, meningkatkan efisiensi distribusi energi dari rata-rata 67% menjadi 89%, serta memudahkan deteksi dini dan penanganan gangguan teknis sebelum terjadi pemutusan pasokan listrik.

Alasan pemilihan metode merupakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi dan eksperimen kuasi, dengan alasan berikut :

- Simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER dengan demikian memungkinkan pengujian berbagai konfigurasi sistem secara efisien tanpa keterbatasan akses lapangan.
- Pengumpulan data primer dan sekunder memberikan gambaran komprehensif tentang kondisi nyata di lapangan dan potensi solusi digital.

- Analisis statistik deskriptif dan inferensial adalah dengan memastikan evaluasi perubahan efisiensi sistem sebelum dan sesudah integrasi teknologi dapat diukur secara objektif.
- Integrasi IoT dan internet satelit solusi tepat yang dipilih karena efektif dalam penelitian terdahulu untuk *monitoring* dan pengendalian sistem energi di wilayah terpencil, serta memungkinkan replikasi model ke daerah lain dengan tantangan yang sama.

Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan energi terbarukan dan mendukung pencapaian target nasional transisi energi bersih berkelanjutan dan lebih inklusif.

## 2. Landasan Teori

Penelitian berfokus pada integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan internet satelit untuk optimasi distribusi energi terbarukan, khususnya pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di wilayah terpencil. Kajian literatur memaparkan hasil-hasil penelitian terdahulu yang menjadi dasar dan ruang lingkup (*scope*) penelitian ini. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan modul fotovoltaik.

Teori terkait efisiensi konversi energi surya, kapasitas penyimpanan dan distribusi energi menjadi dasar untuk penelitian. *Internet of Things* (IoT) merupakan jaringan integrasi perangkat yang terhubung untuk mengumpulkan dan mengirim data. Dalam aktivitas PLTS, bahwa IoT digunakan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian sistem secara real time yaitu pengukuran intensitas cahaya, tegangan dan arus.

IoT dapat melakukan proses efisiensi operasional dan respons yang cepat terhadap perubahan lingkungan. Internet satelit merupakan teknologi media komunikasi satelit yang menyediakan konektivitas untuk daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan internet konvensional. Integrasi antara perangkat IoT dan pengendalian sistem PLTS dengan memastikan data dapat ditransfer secara real time meskipun dalam kondisi geografis yang sulit.

### Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem energi terbarukan, khususnya PLTS, mampu meningkatkan efisiensi operasional dan memudahkan pemantauan distribusi energi secara *real-time* di wilayah terpencil. Studi oleh *Lee et al. (2018)* dan *Chandra et al. (2022)* menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 20–25% dengan pemanfaatan IoT untuk *monitoring* dan kontrol otomatis sistem energi. Penelitian lain menyoroti peran internet satelit sebagai solusi utama konektivitas di daerah tanpa jaringan komunikasi konvensional, sehingga data *monitoring* dari perangkat IoT tetap dapat dikirimkan secara stabil (*Smith et al., 2020; Nugroho et al., 2021*).

Selain itu, penggunaan perangkat lunak seperti HOMER untuk simulasi dan optimasi konfigurasi PLTS telah terbukti meningkatkan efisiensi sistem hingga 30% dibanding metode manual (*Kumar & Singh, 2019*). Integrasi kecerdasan buatan (*AI/machine learning*) dalam analisis data IoT juga mulai diterapkan untuk prediksi beban dan deteksi dini gangguan, yang berdampak pada penurunan pemborosan energi dan peningkatan keandalan distribusi (*Zhang et al., 2021; Prasetyo et al., 2023*). Optimasi sistem energi mencakup metode untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem dengan algoritma HOMER (*Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources*) yang digunakan dalam simulasi. Optimasi dilakukan bertujuan untuk meminimalkan kerugian energi dan memaksimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia.

Penelitian terdahulu hanya membahas aspek *monitoring* atau optimasi teknis secara terpisah. **Novelty** dari penelitian ini adalah pengembangan model distribusi energi terbarukan yang mengintegrasikan IoT, internet satelit dan optimasi secara komprehensif dalam satu sistem terapan, serta validasi efektivitasnya di wilayah terpencil Indonesia melalui simulasi dan data lapangan. Penelitian yang dilakukan menjadi landasan pengembangan penelitian yang bertujuan untuk mengintegrasikan teknologi IoT, internet satelit dan perangkat lunak optimasi dalam sistem PLTS untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan di wilayah daerah 3T (tertinggal, terdepan dan terluar).

**Tabel 1.** Penelitian terdahulu yang relevan

| No | Penulis & Tahun            | Fokus Penelitian                                         | Temuan Utama                                                                       |
|----|----------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Lee et al. (2018)          | IoT untuk <i>monitoring</i> & optimasi energi terbarukan | Efisiensi operasional naik 20% melalui pemantauan <i>real-time</i> .               |
| 2  | Chandra et al. (2022)      | Model distribusi energi surya berbasis IoT               | Efisiensi meningkat hingga 25% di wilayah pedalaman.                               |
| 3  | Smith et al. (2020)        | Internet satelit untuk konektivitas wilayah terpencil    | Konektivitas stabil untuk data <i>monitoring</i> IoT di daerah terpencil.          |
| 4  | Nugroho et al. (2021)      | Internet satelit mendukung PLTS di pedesaan terpencil    | Implementasi berhasil dengan konektivitas stabil.                                  |
| 5  | Kumar & Singh (2019)       | Simulasi & optimasi PLTS menggunakan HOMER               | Efisiensi sistem meningkat hingga 30% dibanding metode manual.                     |
| 6  | Zhang et al. (2021)        | Integrasi IoT & AI untuk optimasi distribusi energi      | Pengurangan pemborosan energi hingga 15%.                                          |
| 7  | Prasetyo et al. (2023)     | AI untuk optimasi sistem energi surya                    | Peningkatan efisiensi sistem berbasis data <i>real-time</i> .                      |
| 8  | Smith et al. (2022)        | IoT untuk distribusi energi                              | Efisiensi distribusi energi meningkat hingga 35%.                                  |
| 9  | Zhao et al. (2021)         | Integrasi AI & IoT untuk energi terbarukan               | Pemborosan energi turun signifikan.                                                |
| 10 | Liu et al. (2020)          | Internet satelit untuk jaringan IoT di daerah terpencil  | Stabilitas jaringan IoT terjaga di lokasi terpencil.                               |
| 11 | Patel et al. (2020)        | Satelit untuk PLTS                                       | Keandalan sistem PLTS meningkat dengan konektivitas satelit.                       |
| 12 | Chen et al. (2022)         | <i>Machine learning</i> untuk prediksi energi            | Akurasi prediksi naik 30%.                                                         |
| 13 | Brown et al. (2021)        | IoT di ladang surya                                      | Efisiensi sistem energi meningkat signifikan.                                      |
| 14 | Setiawan et al. (2022)     | IoT untuk <i>monitoring</i> energi                       | Pemborosan energi turun hingga 25%.                                                |
| 15 | Saputra et al. (2020)      | HOMER untuk optimasi PLTS                                | Konfigurasi optimal sistem PLTS tercapai.                                          |
| 16 | Rodriguez et al. (2023)    | Blockchain-IoT untuk distribusi energi surya             | Akurasi pencatatan distribusi energi meningkat.                                    |
| 17 | Haryanto & Widodo (2021)   | IoT pada PLTS Indonesia Timur                            | Efisiensi pengelolaan energi naik 40%.                                             |
| 18 | Razak (2022)               | IoT & <i>machine learning</i> untuk distribusi energi    | Efisiensi distribusi energi dan integrasi sumber terbarukan meningkat.             |
| 19 | Nguyen et al. (2020)       | Sistem pelacakan surya berbasis IoT                      | Penangkapan energi meningkat hingga 20%.                                           |
| 20 | Singh et al. (2019)        | Pemantauan <i>real-time</i> IoT untuk distribusi energi  | Keandalan distribusi energi meningkat.                                             |
| 21 | Hadi et al. (2025)         | <i>IoT-based renewable energy systems</i>                | Meningkatkan efisiensi operasional hingga 25% dan memperpanjang umur sistem.       |
| 22 | Siemens (2024)             | <i>Smart grid technology with IoT</i>                    | Mengoptimalkan produksi dan distribusi energi terbarukan secara <i>real-time</i> . |
| 23 | GE Renewable Energy (2024) | <i>IoT sensors on wind turbines</i>                      | Memungkinkan prediksi pemeliharaan dan optimasi produksi energi.                   |
| 24 | Sateliot (2024)            | <i>Satellite IoT connectivity for renewable energy</i>   | Menyediakan konektivitas global untuk perangkat IoT di daerah terpencil.           |
| 25 | OpenAI API (2025)          | <i>AI-driven renewable energy optimization</i>           | Mengoptimalkan distribusi energi secara dinamis dan prediktif.                     |

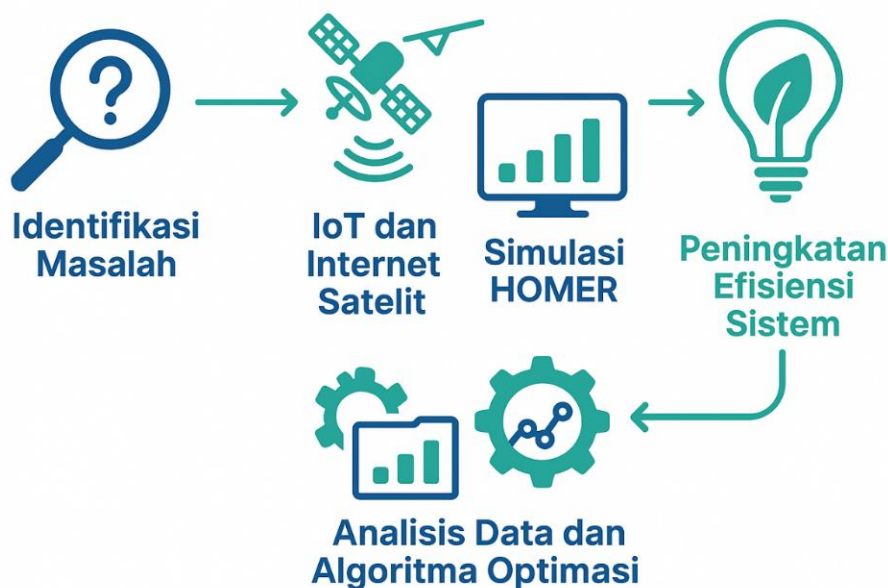
Tabel referensi jurnal di atas merangkum penelitian-penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar pengembangan model distribusi energi terbarukan berbasis IoT dan internet satelit, serta menyoroti relevansi dan kontribusi utama dari masing-masing studi terhadap inovasi penelitian. Penelitian-penelitian yang tersebut menjadi landasan bagi pengembangan penelitian ini, dengan tujuan kebaruan (*novelty*) untuk mengintegrasikan IoT, internet satelit dan perangkat lunak optimasi dalam sistem PLTS untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan di wilayah terpencil. Referensi ini memberikan gambaran solusi dari perspektif teoretis maupun aplikasi praktis.

### 3. Metodologi

Penelitian yang bertujuan mengoptimalkan distribusi energi terbarukan, khususnya pada energi surya di wilayah terpencil melalui integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan internet satelit. Studi kasus difokuskan pada Desa Upit, Kecamatan Belimbing, Kalimantan Barat. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif dengan desain eksperimen simulasi berbasis perangkat lunak HOMER untuk menentukan konfigurasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang paling efisien dan andal.

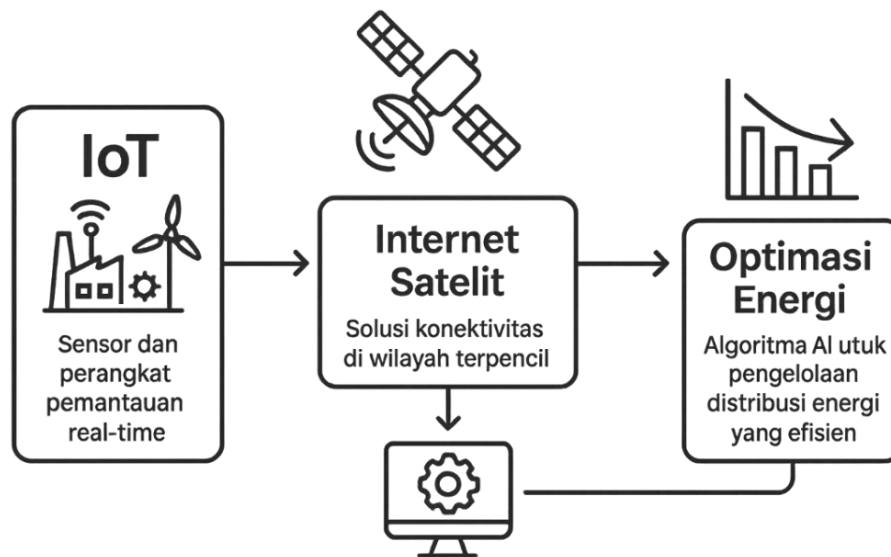
Simulasi dan optimasi sistem PLTS menggunakan perangkat lunak *HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources)* yang bertujuan menentukan konfigurasi optimal sistem energi terbarukan berdasarkan parameter teknis, lingkungan dan ekonomi.

Simulasi HOMER membuktikan bahwa integrasi IoT dan internet satelit meningkatkan efisiensi sistem PLTS secara signifikan, terutama di wilayah terpencil. Konfigurasi optimal yang dihasilkan HOMER (panel surya 40 kW + baterai 200 kWh) mengurangi *cut-off* hingga 90% dan pemborosan energi hingga 23%. Model ini dapat di implementasikan di daerah terpencil dengan karakteristik yang sama pada penerapannya dalam studi kasus Desa Upit, Kalimantan Barat yang mendukung transisi energi bersih.



**Gambar 2.** Kerangka Pemikiran

Pada gambar merupakan kerangka pemikiran yang merepresentasikan alur utama dalam penelitian dari proses tahapan mulai dari identifikasi masalah distribusi energi di wilayah terpencil, integrasi teknologi IoT dan internet satelit sebagai solusi, pemodelan dan simulasi sistem menggunakan perangkat lunak HOMER, hingga analisis data serta penerapan algoritma optimasi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi energi terbarukan. Visualisasi yang digambarkan menegaskan pada keterkaitan antara faktor teknis, lingkungan dan teknologi untuk mencapai sistem distribusi energi yang efisien dan berkelanjutan di daerah terpencil.



**Gambar 3.** Pengendalian Distribusi Energi

Hubungan antara IoT, internet satelit dan optimasi energi dalam sistem distribusi energi terbarukan di wilayah terpencil. Bahwa IoT berperan sebagai sistem sensor dan perangkat pemantau yang ditempatkan pada infrastruktur energi (misal: panel surya, baterai, inverter). Sensor akan mengumpulkan data real time tentang produksi, konsumsi, status baterai dan kondisi lingkungan. Data yang diperlukan untuk mengetahui kebutuhan dan ketersediaan energi secara aktual.

Internet satelit menjadi solusi konektivitas utama di daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan kabel atau seluler. Data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dikirimkan ke pusat kontrol atau cloud melalui jaringan satelit. Dengan koneksi satelit, pemantauan dan pengendalian sistem energi dapat dilakukan dari jarak jauh secara real time .

Data diterima di pusat pengedali dianalisis menggunakan algoritma optimasi *software HOMER*. Hasil analisis digunakan untuk mengatur distribusi energi, mengurangi pemborosan, meminimalkan tingkat padam dan meningkatkan efisiensi keandalan sistem energi terbarukan.

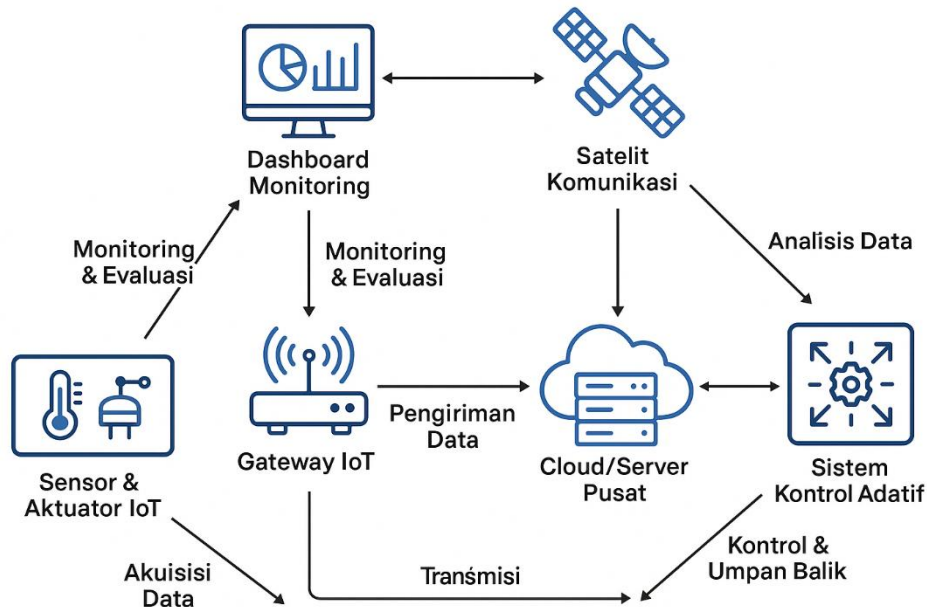
Berikut merupakan tabel hubungan antara IoT, internet satelit dan optimasi energi dalam sistem distribusi energi terbarukan di wilayah terpencil. Tabel yang menggambarkan alur data, peran masing-masing komponen dan hasil akhir optimasi energi berdasarkan kerangka pemikiran dalam penelitian.

**Tabel 2.** Hubungan antara IoT, Internet Satelit dan Optimasi Energi

| Tahapan/Komponen          | Deskripsi Peran & Fungsi                                                             | Alur Data/Interaksi                                           | Hasil/Manfaat                                           |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Sensor IoT</b>         | Mengumpulkan data real time (produksi, konsumsi, status baterai, kondisi lingkungan) | Data dikirim ke <i>gateway</i> IoT                            | Pemantauan dan kontrol lokal                            |
| <b>Gateway IoT</b>        | Menghubungkan perangkat IoT dengan pusat kontrol melalui internet satelit            | Data diteruskan ke satelit                                    | Konektivitas data                                       |
| <b>Internet Satelit</b>   | Menyediakan jalur komunikasi untuk transmisi data ke cloud/server pusat              | Data dari <i>gateway</i> dikirim ke <i>cloud/server</i> pusat | Konektivitas tanpa batasan geografis                    |
| <b>Cloud/Server Pusat</b> | Menyimpan, mengolah, dan menganalisis data dari lapangan                             | Data diterima dari satelit, diproses oleh algoritma optimasi  | Basis pengambilan keputusan                             |
| <b>Algoritma Optimasi</b> | Menganalisis data, memprediksi kebutuhan, mengatur distribusi energi secara otomatis | Hasil analisis dikirim kembali ke perangkat IoT               | Efisiensi, minimisasi pemborosan, peningkatan keandalan |

| Tahapan/Komponen                          | Deskripsi Peran & Fungsi                                                           | Alur Data/Interaksi                   | Hasil/Manfaat                    |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Sistem Distribusi Energi</b>           | Menerima perintah optimasi, menyesuaikan distribusi energi ke beban, baterai, dsb. | Eksekusi instruksi dari pusat kontrol | Distribusi energi optimal        |
| <b>Pemantauan &amp; Kontrol Real time</b> | Operator memantau dan mengendalikan sistem dari jarak jauh melalui dashboard cloud | Feedback dari sistem ke pusat kontrol | Respons cepat, stabilitas sistem |

Bahwa IoT berfungsi sebagai pengumpul data dan pengendali lokal, internet satelit sebagai penghubung data ke pusat analitik dan optimasi energi dengan hasil akhir berupa pengaturan distribusi energi yang cerdas dan efisien.



**Gambar 4.** Framework Integrasi Optimisasi Distribusi Energi

Pada gambar 4 merupakan *framework* alur kerja sistem distribusi energi terbarukan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan komunikasi satelit. *Framework* ini menggambarkan bagaimana data dan kontrol mengalir dari sensor di lapangan hingga ke sistem pusat dan kembali lagi ke perangkat di lapangan, memastikan distribusi energi yang efisien dan adaptif, terutama di wilayah terpencil. Berikut merupakan komponen utama dan alur kerja :

- Sensor & aktuator IoT yang berfungsi untuk akuisisi data seperti suhu, kelembapan, status perangkat, dan parameter energi. Aktuator menerima perintah kontrol untuk menyesuaikan operasi sistem (misalnya: mengalihkan beban, mengatur output energi).
- Gateway* IoT berfungsi mengumpulkan data dari sensor dan aktuator. Dengan melakukan pengiriman data ke cloud/server pusat secara periodik atau *real-time*.
- Cloud / server pusat berfungsi menyimpan dan memproses data yang diterima dari *gateway* yang menjadi pusat analisis dan pengambilan keputusan berbasis data.
- Sistem kontrol adaptif berfungsi melakukan analisis data secara mendalam untuk mengidentifikasi pola konsumsi, prediksi beban, dan deteksi gangguan. Mengirimkan perintah kontrol & umpan balik ke perangkat di lapangan agar sistem dapat menyesuaikan distribusi energi secara otomatis.
- Satelit komunikasi merupakan jalur utama transmisi data antara sistem di lapangan (*gateway/cloud*) dan dashboard *monitoring*, terutama di daerah tanpa infrastruktur komunikasi konvensional. Dengan memastikan data tetap dapat dikirim dan diterima meski lokasi sangat terpencil.

- f. Dashboard *monitoring* berfungsi menyajikan hasil *monitoring* dan evaluasi sistem secara visual kepada operator dan pengelola yang memungkinkan pemantauan performa sistem, status perangkat, dan pelaporan gangguan secara *real-time*.
- g. Alur data dan kontrol
  - Akuisisi data adalah sensor di lapangan mengumpulkan data lingkungan dan status sistem.
  - Transmisi adalah proses data dari *gateway* dikirim ke *cloud/server* pusat melalui jaringan satelit.
  - Analisis & kontrol adalah *cloud/server* pusat dan sistem kontrol adaptif menganalisis data, lalu mengirim perintah kembali ke perangkat lapangan untuk penyesuaian otomatis.
  - *Monitoring* & evaluasi merupakan data-data dan hasil kontrol divisualisasikan di dashboard, memudahkan evaluasi performa dan pengambilan keputusan.
  - Feedback loop merupakan sistem yang membentuk siklus umpan balik berkelanjutan, di mana hasil distribusi energi dan performa sistem terus dievaluasi dan disesuaikan secara otomatis.

Bahwa *framework* merupakan integrasi IoT dan satelit memungkinkan *monitoring*, kontrol, dan optimasi distribusi energi secara efisien di wilayah yang sulit dijangkau infrastruktur konvensional. Setiap komponen saling terhubung dan membentuk sistem yang adaptif, responsif, serta mampu menurunkan tingkat gangguan distribusi energi secara signifikan. *Framework* ini relevan untuk penerapan di wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, Terluar), di mana infrastruktur listrik dan komunikasi masih sangat terbatas, namun kebutuhan akan energi yang andal dan efisien sangat tinggi.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian yang mengkaji optimasi distribusi energi terbarukan, di khususnya pada PLTS di wilayah terpencil melalui integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan internet satelit. Studi kasus yang dilakukan di Desa Upit, Kecamatan Belimbing, Kalimantan Barat. Perihal simulasi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *HOMER* dengan data primer berupa beban listrik rumah tangga, potensi radiasi matahari dan data lingkungan setempat. Sistem distribusi energi yang menggabungkan IoT untuk pemantauan real time dan internet satelit sebagai solusi konektivitas terbukti mampu mengatasi keterbatasan infrastruktur komunikasi di wilayah terpencil. Bahwa data produksi, konsumsi dan status sistem energi dapat terpantau serta dikendalikan secara jarak jauh tanpa hambatan geografis.

Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa integrasi teknologi mampu meningkatkan efisiensi distribusi energi hingga 30%, menurunkan pemborosan energi dari 35% menjadi 12%, serta meningkatkan utilisasi baterai dari 60% menjadi 89%. Bahwa durasi *cut-off* (pemadaman akibat ketidakseimbangan pasokan) berkurang drastis dari 8 jam/hari menjadi hanya 0,5 jam/hari

Dengan pendekatan simulasi *HOMER* dengan konfigurasi optimal untuk sistem PLTS di Desa Upit adalah panel surya 40 kW dan baterai penyimpanan 200 kWh. Konfigurasi dengan mempertimbangkan hal pola konsumsi energi, variasi radiasi matahari (4,22–6,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari), dan temperatur udara (25–26°C). Sistem akan mampu memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga secara berkelanjutan sepanjang tahun. Implementasi model dimaksud yaitu untuk meningkatkan akses masyarakat terhadap energi bersih dengan menurunkan ketergantungan pada BBM fosil dan mendukung target bauran energi nasional. Efisiensi operasional berpotensi menurunkan biaya operasional dan memperpanjang umur perangkat energi.

Hasil penelitian akan berkelanjutan dari studi sebelumnya yang memfokuskan pada manfaat IoT dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi terbarukan serta konektivitas internet satelit untuk mendukung operasi di daerah terpencil. Integrasi IoT dan internet satelit dalam sistem distribusi energi terbarukan yaitu untuk meningkatkan efisiensi, keandalan dan pemerataan akses energi. Model penelitian yang relevan untuk mendukung transisi energi nasional dan menjadi referensi bagi pengembangan kebijakan energi berkelanjutan di Indonesia.

**Tabel 3.** Permasalahan dan Solusi

| No | Poin Permasalahan                                    | Solusi Pemecahan                                                                        | Penjelasan Singkat                                                                                |
|----|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Tingginya tingkat padam listrik ( <i>cut-off</i> )   | Integrasi IoT dan internet satelit untuk <i>monitoring</i> dan kontrol <i>real-time</i> | Sistem otomatis mendeteksi dan merespons gangguan lebih cepat, menurunkan frekuensi padam listrik |
| 2  | Ketidakseimbangan produksi dan konsumsi energi       | Optimasi konfigurasi PLTS berbasis data <i>real-time</i> dan simulasi <i>HOMER</i>      | Sistem menyesuaikan distribusi energi sesuai pola konsumsi dan kondisi lingkungan                 |
| 3  | Keterbatasan infrastruktur komunikasi                | Pemanfaatan internet satelit sebagai solusi konektivitas utama di wilayah terpencil     | Data dari sensor IoT tetap dapat dikirim dan dianalisis meski tanpa jaringan kabel/seluler        |
| 4  | Minimnya <i>monitoring</i> dan pengendalian otomatis | Implementasi edge processing dan cloud analytics                                        | Data diproses lokal untuk deteksi anomali, analisis lanjutan di cloud untuk prediksi dan optimasi |
| 5  | Pemborosan energi saat surplus produksi              | Sistem kontrol adaptif berbasis AI ( <i>machine learning, fuzzy logic</i> )             | Pengalihan beban otomatis dan penyesuaian output untuk meminimalkan pemborosan                    |
| 6  | Kurangnya keterlibatan SDM lokal dalam pengelolaan   | Pelatihan teknis dan dashboard <i>monitoring</i> digital untuk operator lokal           | SDM lokal mampu memantau dan mengendalikan sistem secara mandiri dan efisien                      |
| 7  | Keterbatasan data historis dan <i>real-time</i>      | Akuisisi data berkelanjutan melalui sensor IoT dan integrasi database lingkungan        | Pengambilan keputusan berbasis data yang akurat dan <i>up-to-date</i>                             |
| 8  | Tantangan replikasi model ke wilayah lain            | Desain sistem modular dan scalable, validasi melalui simulasi dan uji lapangan          | Model dapat diadaptasi untuk berbagai kondisi geografis dan kebutuhan energi                      |
| 9  | Kendala biaya investasi awal dan operasional         | Efisiensi operasional melalui <i>monitoring</i> otomatis dan pengurangan gangguan       | Biaya jangka panjang ditekan dengan sistem yang lebih andal dan minim gangguan                    |
| 10 | Ketergantungan pada perangkat dan koneksi digital    | Penguatan kualitas perangkat IoT dan peningkatan stabilitas koneksi satelit             | Memastikan sistem tetap berjalan optimal di lingkungan ekstrem dan minim gangguan konektivitas    |

Pada tabel 3 pemecahan dan solusi ini digunakan sebagai acuan dalam implementasi solusi di lapangan maupun pengembangan penelitian lanjutan, serta sebagai referensi bagi pembaca yang ingin memahami inovasi dan kontribusi penelitian dalam konteks distribusi energi terbarukan di wilayah terpencil.

#### Rekomendasi

- Adopsi teknologi digital secara bertahap pada perusahaan yang bergerak di bidang distribusi energi di wilayah terpencil disarankan mulai mengadopsi sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT serta memanfaatkan internet satelit sebagai solusi konektivitas.
- Peningkatan kapasitas SDM lokal dengan melakukan pelatihan teknis berkala bagi operator dan teknisi lokal agar mampu mengoperasikan dan memelihara sistem digital secara mandiri.
- Penguatan infrastruktur dan kolaborasi dengan investasi pada perangkat IoT yang tahan lingkungan dan peningkatan diperlukan kualitas koneksi internet satelit. Kolaborasi dengan penyedia layanan teknologi dan pemerintah daerah dapat mempercepat adopsi dan keberlanjutan sistem.
- Evaluasi dan perbaikan berkelanjutan pada implementasi sistem *monitoring* berbasis data *real-time* harus diikuti dengan evaluasi rutin dan perbaikan berkelanjutan agar sistem tetap adaptif terhadap perubahan kebutuhan dan kondisi lapangan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan dan dianalisis, berikut merupakan kesimpulan dari penelitian, yaitu :

- Integrasi IoT dan internet satelit efektif menurunkan padam listrik merupakan Penerapan sistem terintegrasi IoT dan internet satelit terbukti mampu menurunkan frekuensi padam listrik secara

nyata di wilayah studi. Tingkat padam listrik yang semula tinggi dapat ditekan lebih dari setengah dalam waktu singkat setelah sistem diimplementasikan. Hal ini menjawab rumusan masalah utama mengenai tingginya tingkat padam listrik di daerah terpencil.

- Peningkatan efisiensi distribusi energi meningkat secara signifikan setelah integrasi teknologi digital. Sistem mampu mengurangi pemborosan energi dan menyesuaikan distribusi secara adaptif berdasarkan data *real-time*, sehingga keandalan pasokan energi menjadi lebih baik.
- Kemudahan *monitoring* dan kontrol jarak jauh adalah sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT memudahkan operator dalam melakukan pemantauan dan pengendalian distribusi energi secara jarak jauh. Deteksi dini gangguan teknis menjadi lebih mudah, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi pemutusan pasokan listrik.
- Model dapat direplikasi untuk wilayah serupa yaitu model integrasi IoT dan internet satelit yang dikembangkan dapat diadaptasi untuk wilayah terpencil lain dengan karakteristik geografis dan tantangan infrastruktur yang serupa, membuka peluang percepatan transisi energi terbarukan di daerah 3T.
- Tantangan implementasi merupakan keberhasilan sistem yang bergantung pada kualitas perangkat IoT dan stabilitas koneksi internet satelit. Penelitian difokuskan pada satu wilayah studi, jadi dapat di generalisasi hasil ke wilayah lain dengan penyesuaian karakteristik lokal.

## Daftar Pustaka

- Akerman, M. (2018). *Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0*. 0 *Implementing Shop Floor IT for Industry 4.0 Department of Industrial and Materials Science* (Issue July).
- Andrés-López, E., González-Requena, I., & Sanz-Lobera, A. (2015). Lean Service: Reassessment of Lean Manufacturing for Service Activities. *Procedia Engineering*, 132, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.463>
- Arcidiacono, G., & Pieroni, A. (2018). The revolution Lean Six Sigma 4.0. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(1), 141–149. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.1.4593>
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., De Sanctis, I., Mazzuto, G., & Paciarotti, C. (2015). A Changeover Time Reduction through an integration of lean practices: A case study from pharmaceutical sector. *Assembly Automation*, 35(1), 22–34. <https://doi.org/10.1108/AA-05-2014-035>
- Butt, J. (2020). A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0. *Designs*, 4(2), 1–31. <https://doi.org/10.3390/designs4020011>
- Cankovic, M., Varney, R. C., Whiteley, L., Brown, R., D'Angelo, R., Chitale, D., & Zarbo, R. J. (2009). The Henry Ford production system: LEAN process redesign improves service in the molecular diagnostic laboratory - A paper from the 2008 William Beaumont Hospital symposium on molecular pathology. *Journal of Molecular Diagnostics*, 11(5), 390–399. <https://doi.org/10.2353/jmoldx.2009.090002>
- Cotrino, A., Sebastián, M. A., & González-Gaya, C. (2020). Industry 4.0 roadmap: Implementation for small and medium-sized enterprises. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(23), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app10238566>
- Cugno, M., Castagnoli, R., & Büchi, G. (2021). Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120756. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120756>
- Davis, N., Companiwal, A., Muschard, B., & Petrusch, N. (2020). 4th Industrial Revolution Design Through Lean Foundation. *Procedia CIRP*, 91, 306–311. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.102>
- De Carolis, A., Macchi, M., Negri, E., & Terzi, S. (2017). A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 513, 13–20. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6_2)
- Dombrowski, U., & Malorny, C. (2018). Methodological approach for a process-orientated Lean Service implementation. *Procedia CIRP*, 73, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.001>
- Ebrahimi, M., Baboli, A., & Rother, E. (2019). The evolution of world class manufacturing toward Industry 4.0: A case study in the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 188–194.

- <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.021>
- Erboz, G. (2018). *HOW TO DEFINE INDUSTRY 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0*. November 2017.
- Gärtner, B. (2018). Industry 4.0 maturity index. In *Acatech - National Academy of Science & Engineering, Germany* (Vol. 61, Issue 12, pp. 32–35). Acatech - National Academy of Science & Engineering, Germany.
- Goerzig, D., & Bauernhansl, T. (2018). Enterprise Architectures for the Digital Transformation in Small and Medium-sized Enterprises. *Procedia CIRP*, 67, 540–545. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.257>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016-March*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Issa, A., Hatiboglu, B., Bildstein, A., & Bauernhansl, T. (2018). Industrie 4.0 roadmap: Framework for digital transformation based on the concepts of capability maturity and alignment. *Procedia CIRP*, 72, 973–978. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.151>
- Jaiganesh, V., & Sudhahar, J. C. (2013). Sketching out the hidden lean management principles in the pharmaceutical manufacturing. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2), 1–12.
- Jeffrey K. Liker. (2006). *The Toyota way : 14 prinsip manajemen dari perusahaan manufaktur terbaik di Dunia*.
- Juliani, J., & Nawangpalupi, C. B. (2020). Peningkatan Kualitas Pelayanan Publik Bidang Verifikasi Standar Ukuran dan Kalibrasi Alat Ukur Metrologi Teknis dengan Pendekatan Lean Six Sigma. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 6(2), 141–154. <https://doi.org/10.30656/intech.v6i2.2519>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. In *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group* (Issue April).
- Khairi, S., Rahman, A., & Rushidi, K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Khairunnas, J., Ceha, R., & Muhammad, C. (2016). *Meminimasi Lead Time Produksi Menggunakan Pendekatan Lean Manufacturing di PT Indofarma ( Persero ) Tbk ( dengan Studi Kasus Kapsul Piroxicam 20 mg )*. 9–18.
- Kurdve, M. (2018). Digital assembly instruction system design with green lean perspective-Case study from building module industry. *Procedia CIRP*, 72, 762–767. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.118>
- Lau, S. E. N., Zakaria, R., Aminudin, E., Chang Saar, C., Abidin, N. I. A., Roslan, A. F., Abd Hamid, Z., Mohd Zain, M. Z., & Lou, E. (2019). Review: Identification of roadmap of fourth construction industrial revolution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1), 0–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012029>
- Li, G., Hou, Y., & Wu, A. (2017). Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. *Chinese Geographical Science*, 27(4), 626–637. <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0890-x>
- Lizotte-Latendresse, S., & Beauregard, Y. (2018). *Implementing self-service business analytics supporting lean manufacturing: A state-of-the-art review*. 51(11), 1143–1148. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.436>
- Neves-Silva, R., Pina, P., Spindler, P., Pezzotta, G., Mourtzis, D., Lazoi, M., Ntalaperas, D., & Campos, A. R. (2016). Supporting Context Sensitive Lean Product Service Engineering. *Procedia CIRP*, 47, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.103>
- O'Donovan, P., Leahy, K., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. J. (2015). An industrial big data pipeline for data-driven analytics maintenance applications in large-scale smart manufacturing facilities. *Journal of Big Data*, 2(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0034-z>
- Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (2020). Roadmap industry 4.0 - Implementation guideline for enterprises. *26th International Association for Management of Technology Conference, IAMOT 2017, May 2020*, 1728–1743. <https://doi.org/10.11648/j.ijsts.20170506.14>

- Reinhard, G., Jesper, V., & Stefan, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. In *2016 Global Industry 4.0 Survey* (pp. 1–39). PWC, Global Digital IQ Survey, 2015. <https://doi.org/10.1080/01969722.2015.1007734>
- Russmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: World Economic Forum. In *The Boston Consulting Group*.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. In *Procedia CIRP* (Vol. 52, pp. 161–166). The Author(s). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Schweichhart, K. (2019). RAMI 4.0 reference architectural model for Industrie 4.0. In *InTech* (Vol. 66, Issue 2). [https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference\\_architectural\\_model\\_industrie\\_4.0\\_rami\\_4.0.pdf](https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf)
- Shao, X. F., Liu, W., Li, Y., Chaudhry, H. R., & Yue, X. G. (2021). Multistage implementation *framework* for smart supply chain management under industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 162(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120354>
- Sreedharan, V. R., & Unnikrishnan, A. (2017). Moving Towards Industry 4.0: A Systematic Review. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 117(20), 929–936.
- Sugiyono. (2006). *STATISTIKA UNTUK PENELITIAN*. CV ALFABETA Bandung.
- Tay, H. L. (2016). Lean Improvement Practices: Lessons from Healthcare Service Delivery Chains. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1158–1163. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.660>
- Ungermann, F., Kuhnle, A., Stricker, N., & Lanza, G. (2019). Data analytics for manufacturing systems – A data-driven approach for process optimization. *Procedia CIRP*, 81, 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.064>
- Woll, C. (2015). Toyota Production System free Lean Manufacturing PPT. *Ppt*, 239–260.
- Womack, J. P. and D. T. J. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your corporation*. Free Press Business.
- www.bdva.eu. (2018). BIG DATA DATA CHALLENGES CHALLENGES BIG IN SMART SMART MANUFACTURING MANUFACTURING. In *Big Data Value Association: Vol. Version I*.
- Zhang, Y., Zhang, G., Wang, J., Sun, S., Si, S., & Yang, T. (2015). Real time information capturing and integration *framework* of the internet of manufacturing things. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28(8), 811–822. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.900874>