



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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teoritis

2.1.1 Energi Baru terbarukan

Sumber-sumber energi dapat diklasifikasikan menjadi sumber energi terbarukan dan sumber energi yang tidak terbarukan atau biasa dikenal dengan sumber energi konvensional. Energi terbarukan dalam sisi lain berasal dari sumber daya seperti angin, matahari dan biomassa yang berkelanjutan. Energi terbarukan telah didefinisikan sebagai energi yang diperoleh dari aliran energi yang terus menerus atau berulang di lingkungan alam.

Untuk sebagian besar sumber energi terbarukan, sumber energi dasar pada berasal dari matahari. Oleh karena itu, sebagian besar sumber energi terbarukan pada prinsipnya adalah sumber matahari. Energi matahari memanaskan bumi dan lautan, yang menghasilkan pergerakan gelombang dan angin. Gelombang dan energi angin, oleh karena itu, pada dasarnya merupakan manifestasi dari energi matahari. Energi matahari dapat digunakan secara langsung, misalnya untuk pemanasan dan penerangan, dan secara tidak langsung energi matahari dapat digunakan untuk memanaskan air untuk menghasilkan uap guna memutar turbin untuk menghasilkan listrik.

2.1.1.1 Energi Matahari

Energi matahari dibagi dalam dua jenis yaitu *thermal* dan *photovoltaics* (PV) atau biasa dikenal dengan sistem PLTS. Sistem PLTS menggunakan modul photovoltaic yang digunakan untuk mengkonversi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Kekurangan dari pembangkitan PV antara lain output intermitensi karena kondisi cuaca yang bervariasi, efisiensi modul PV yang relatif rendah, efisiensi rendah



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

yang membutuhkan area yang luas untuk pemasangan, dan masih relatif mahal. Teknologi panas matahari menggunakan perangkat khusus mengumpulkan dan mengarahkan sinar matahari untuk memanaskan air di *boiler* khusus untuk menghasilkan uap yang dapat digunakan untuk memutar generator listrik.

2.1.1.2 Energi Air

Energi dalam air yang bergerak (atau jatuh) digunakan untuk memutar set turbin-generator untuk mengubah energi ini menjadi listrik. Ini dianggap sebagai energi terbarukan karena siklus air terus diperbarui oleh matahari dan karenanya tidak pernah habis. Tenaga air menghasilkan sekitar 70% dari sumber terbarukan global untuk pembangkit listrik. Keuntungan utamanya adalah prediktabilitas, konsistensi, dan fleksibilitasnya, yang membuatnya mampu memenuhi tuntutan beban dasar dan puncak. Keuntungan dari tenaga air sudah jelas: Energi biasanya tersedia sepanjang waktu, dan pembangkit listrik tenaga air memiliki masa operasi yang sangat lama. Selanjutnya, turbin air sangat efisien, dan dapat mengkonversi hingga 90% energi kinetik air yang mengalir menjadi tenaga listrik.

2.1.1.3 Energi Angin

Angin yang bergerak memiliki energi kinetik yang bergantung pada kecepatannya. Energi kinetik ini dapat digunakan untuk memutar bilah turbin angin yang digabungkan ke generator listrik untuk menghasilkan listrik.

2.1.1.4 Energi Gelombang Laut

Angin bertiup di atas lautan yang panjang dan menciptakan gelombang, dengan berbagai teknologi dapat digunakan untuk mengekstrak energi itu. Salah satu teknologi tersebut adalah untuk memaksa gelombang untuk mendorong air ke dalam ruang menyebabkan udara naik dan turun saat pergi. Naik turunnya udara kemudian dapat digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik. Energi gelombang berlimpah dan dapat diprediksi, sehingga memungkinkan perhitungan besarnya listrik yang dapat dibangkitkan. Namun, itu membutuhkan pemasangan mesin besar di dalam air yang dapat mengganggu kehidupan laut.



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

2.1.1.5 Biomass

Biomassa mengacu pada semua bahan tumbuhan dan hewan yang dapat dibakar atau dicerna untuk melepaskan energi. Contoh bahan biomassa adalah kayu dan jerami. Beberapa tanaman seperti tebu dan jagung ditanam secara khusus untuk digunakan dalam produksi biofuel, yang dapat digunakan di mesin bensin dan diesel untuk menggantikan minyak. Perkiraan sumber daya ini sangat bervariasi; beberapa menempatkannya pada sekitar 100 EJ (yaitu, sekitar 20% dari permintaan energi primer global saat ini).

2.1.1.6 Energi Pasang

Pasang surut laut disebabkan oleh tarikan gravitasi bulan (dengan kontribusi kecil dari matahari) di lautan, menyebabkan naik turunnya permukaan air secara teratur saat bumi berputar. Kekuatan pasang surut dapat dimanfaatkan dengan membangun bendungan rendah atau rentetan, di belakangnya air yang naik dapat ditangkap dan kemudian dibiarkan mengalir kembali melalui turbin pembangkit listrik. Keuntungan dari energi pasang surut termasuk umurnya yang relatif panjang, yang mengurangi biaya listrik yang dihasilkan, dan prediktabilitas pembangkitan. Karena arus pasang surut sangat dapat diprediksi. Kerugian dari pembangkit listrik pasang surut termasuk biaya konstruksi yang relatif tinggi dan dampaknya terhadap kehidupan laut.

2.1.1.7 Energi Panas Bumi

Panas dari dalam bumi merupakan sumber energi panas bumi. Temperatur yang tinggi di bagian dalam bumi pada awalnya disebabkan oleh kontraksi gravitasi planet saat ia terbentuk, tetapi sejak itu telah ditingkatkan oleh panas dari peluruhan bahan radioaktif jauh di dalam bumi. Sumber energi panas ini berkisar dari tanah dangkal hingga batuan yang sangat panas dan cair beberapa kilometer di bawah permukaan bumi. Panas ini dapat dipanen dan dimanfaatkan untuk menghasilkan uap untuk menghasilkan listrik dan untuk menyediakan air panas dan pemanas untuk bangunan.



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

2.1.2 *Microgrid*

Menurut definisi dari IEC, *microgrid* adalah kelompok beban yang saling berhubungan dan sumber daya energi terdistribusi dengan batasan listrik yang ditentukan membentuk sistem tenaga listrik lokal pada tingkat tegangan distribusi, yang bertindak sebagai entitas tunggal yang dapat dikontrol dan mampu beroperasi baik dalam mode jaringan atau terisolir (*islanded*).

Konsep *microgrid* pertama kali dikembangkan oleh R. H. Lasseter pada tahun 2002[2]. Saat ini telah digunakan secara luas di banyak negara. Konsep telah diterapkan di berbagai belahan dunia untuk alasan yang berbeda, sebagai alternatif yang lebih baik untuk elektrifikasi pedesaan di daerah tanpa akses listrik dan dapat juga diterapkan secara luas di daerah berlistrik juga. Alasan dasar di balik penempatan *microgrid* di daerah maju adalah meningkatnya kebutuhan akan pasokan listrik yang andal dan aman. Dengan kejadian cuaca buruk yang berulang, kegagalan peralatan, dan lonjakan permintaan yang tiba-tiba menyebabkan pemadaman dan pemadaman listrik. di negara-negara maju, gagasan untuk mengubah jaringan listrik menjadi agregat *microgrid* yang lebih kecil muncul sebagai opsi.

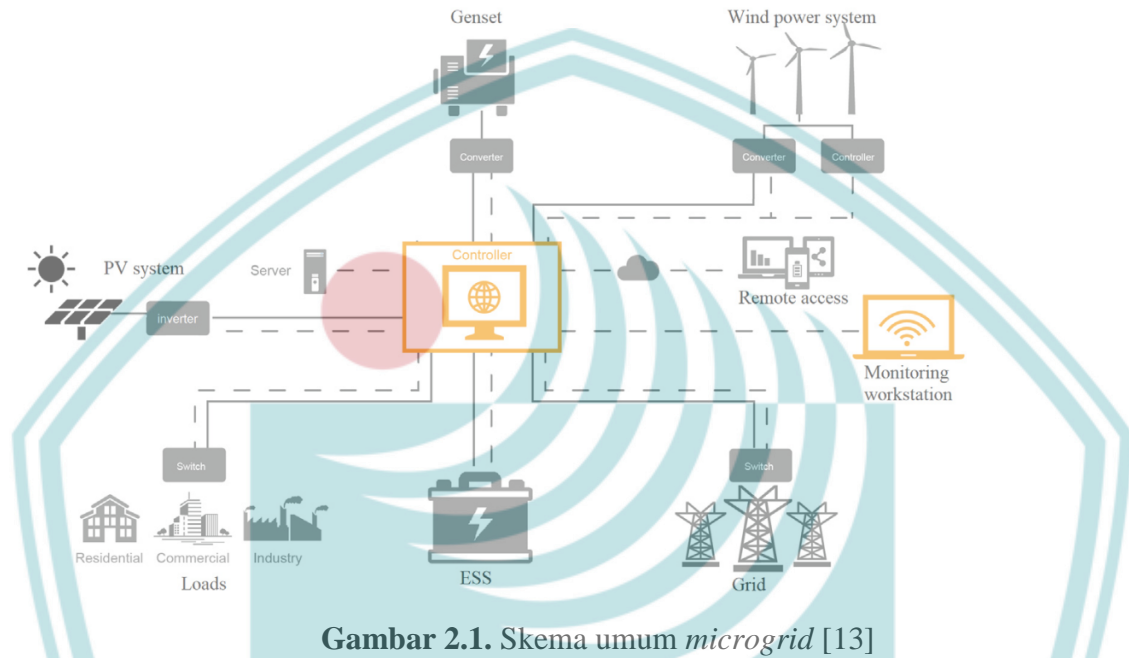
Beberapa keunggulan dari *microgrid* adalah:[11][12]

- Kemampuan untuk beroperasi baik secara terkoneksi ke *grid* (on grid) maupun *off grid*
- Mempunyai satu atau lebih titik koneksi dengan jaringan
- Bertindak sebagai entitas tunggal yang dapat dikontrol oleh jaringan utilitas yang lebih besar
- Penggabungan beban yang saling berhubungan dengan sumber pembangkit lokal
- Memberikan peningkatan kualitas daya dan keandalan kepada pelanggan
- Memenuhi kebutuhan energi sistem total
- Mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan jaringan dan mengoptimalkan kinerja dan penghematan.

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Struktur dasar dan komponen-komponen yang umum di dalam *microgrid* diperlihatkan pada gambar 1



Gambar 2.1. Skema umum *microgrid* [13]

Secara umum *microgrid* terdiri dari beberapa komponen dasar:[14][15]

A. Distributed Generation (DG)

DG dapat berupa tipe konvensional atau tipe yang digabungkan secara elektronik. Tipe DG konvensional adalah seperti generator sinkron atau generator induksi. DG tipe yang digabungkan secara elektronik adalah DG yang outputnya tidak sesuai dengan frekuensi sistem dan karenanya memerlukan konverter solid-state untuk terhubung ke *microgrid*. Dalam hal pengendalian daya yang dihasilkan, unit DG juga dapat diklasifikasikan sebagai *dispatchable* atau *nondispatchable*. Beberapa DG yang paling umum di *microgrid* adalah PLTS, turbin angin. Sumber konvensional seperti generator sinkron yang digerakkan oleh hidro skala kecil juga dapat berfungsi sebagai DG dalam *microgrid*.



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

B. Sistem Penyimpanan Energi / *Energy Storage System* (ESS)

ESS adalah komponen yang sangat umum dari *microgrid*. ESS dapat terdiri dari dua jenis utama: energi intensif dan daya intensif. Beberapa ESS energi intensif yang umum adalah baterai dari berbagai jenis, sel bahan bakar, dan penyimpanan energi termal. Meskipun biaya awal ESS relatif tinggi, jenis ini berkontribusi banyak secara ekonomi pada jaringan *microgrid*. Dan juga berkontribusi pada keandalan sistem *microgrid* yang memastikan ketersediaan daya jika terjadi gangguan.

ESS daya intensif seperti *superkapasitor* dan *flywhells* dapat dipergunakan didalam sistem *microgrid* untuk menstabilkan sistem selama perubahan dan fluktuasi pembangkitan dan pembebanan yang tiba tiba.

2.1.2.1 Sistem Konversi Daya (*Power Conversion System-PCS*)

DG seperti turbin angin berkecepatan variabel (misalnya turbin yang digerakkan langsung), mikroturbin, PLTS, baterai, dan superkapasitor memerlukan PCS untuk terhubung ke *microgrid*. Keberadaan PCS dalam *microgrid* memberikan kemungkinan untuk pengontrolan daya aktif, daya reaktif, tegangan, dan frekuensi.

2.1.2.2 Kontroler dan Sistem Manajemen Energi

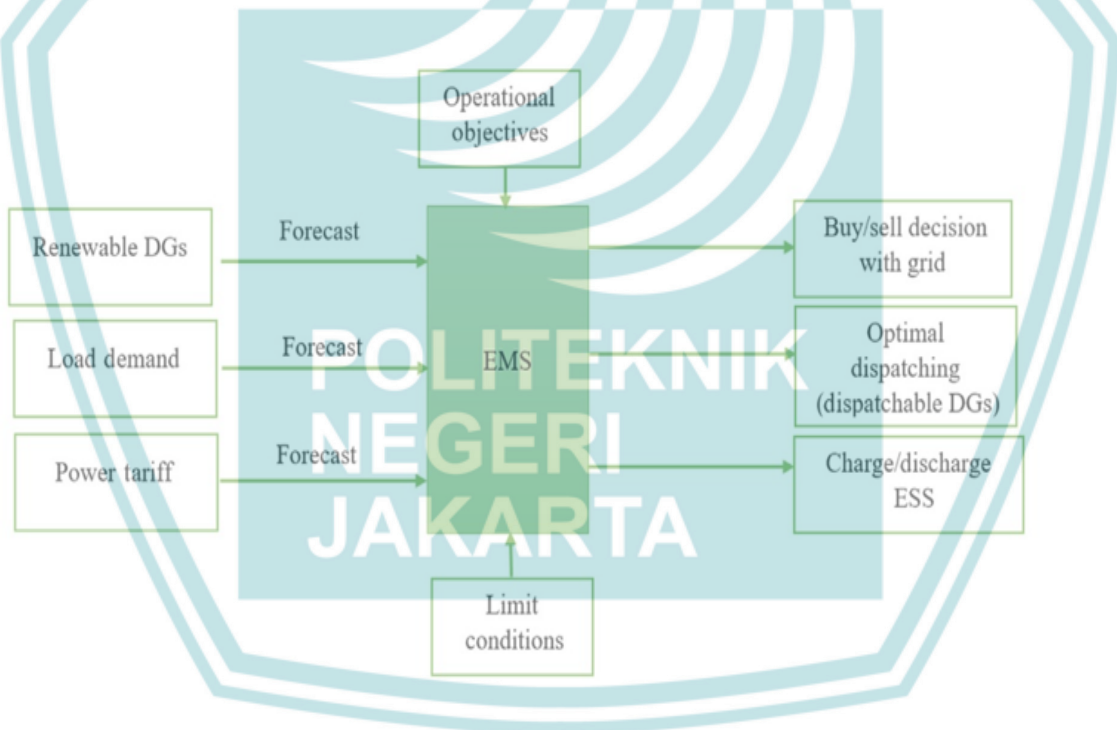
Microgrid dilengkapi dengan beberapa tingkatan controller yang bertujuan untuk menjamin kestabilan tegangan, fleksibilitas kemampuan pembangkit, menjaga kestabilan frekuensi. Selain itu, untuk dapat beroperasi sesuai keinginan pemiliknya, *microgrid* memerlukan manajemen operasi yang rapi, sebagaimana sistem-sistem yang lain. Terdapat beberapa hal terkait yang perlu diperhatikan dalam manajemen operasi *microgrid*, namun pada prinsipnya terdapat dua aspek besar yaitu aspek kendali dan manajemen energi[16]. Tujuan dari manajemen energi adalah minimisasi atau maksimisasi kuantitas operasi tertentu, yang disebut sebagai fungsi objektif. Biasanya yang menjadi fungsi objektif adalah biaya operasi total *microgrid*. Biaya operasi ini mencakup biaya pemakaian energi dan biaya start-up unit-unit *non-renewable*, biaya degradasi perangkat penyimpanan energi, dan biaya kompensasi rugi-rugi daya. 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

microgrid yang terhubung ke *grid* utama, komponen biaya mencakup juga biaya transaksi energi dengan *grid* utama. Fungsi objektif bisa juga berupa profit yang didapat dari menjual energi ke *grid* utama.

Adapun tujuan dari aspek kendali adalah untuk mempertahankan kuantitas-kuantitas operasi tertentu agar tidak keluar dari rentang yang telah ditetapkan. Kuantitas tersebut bisa berupa tegangan, frekuensi, daya aktif, dan daya reaktif. Kuantitas-kuantitas ini tidaklah dimaksimalkan/diminimalkan secara mutlak, tetapi diatur agar tidak lebih dari batas maksimal atau kurang dari batas minimal.



Gambar 2.2. Sistem manajemen energi pada *microgrid*

2.1.2.3 Beban

Konsep *microgrid* harus mampu untuk menyediakan berbagai jenis beban baik beban listrik maupun beban thermal. Beban dalam hal ini dapat dipisahkan sebagai beban kritikal dan beban non-kritikal. Beban-beban kritikal harus disuplai sepanjang



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

waktu sedangkan beban-beban non-kritis dapat dinyalakan secara terjadwal tergantung pada nilai ekonomis daripada *microgrid*.

Pertimbangan *microgrid* sebagai cara untuk mencapai target bauran energi adalah sebagai berikut.

Pertama, *microgrid* dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Umumnya pada daerah terpencil atau pada pulau-pulau menggunakan diesel PLTD yang berbahan bakar minyak untuk menghasilkan listrik. Dengan konsep *microgrid*, PLTD tersebut dapat diintegrasikan dengan potensi energi lokal, yang umumnya bersifat terbarukan seperti energi primer dari biomassa, angin, dan matahari sehingga dapat mengurangi penggunaan minyak yang mahal dan tidak ramah lingkungan. Pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia masih minim. Padahal, Indonesia memiliki potensi EBT mencapai lebih dari 400 Gigawatt (GW).

Kedua, *microgrid* memperbaiki keandalan sistem tenaga listrik. Gangguan listrik di sistem tenaga listrik konvensional seperti yang kita kenal sangat rentan terhadap gangguan yang menjalar (pemadaman) sehingga menjadi tidak andal. Misalnya, jika ada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) yang tersambar petir, mungkin saja akan banyak pelanggan yang mengalami pemadaman. Namun dalam konsep *microgrid*, karena pembangkit tersedia di dekat pusat beban, maka sistem *microgrid* menjadi kebal terhadap gangguan di sistem eksternal. Konsep ini juga berarti kemandirian energi pada setiap *microgrid*.

Ketiga, *microgrid* dapat mengurangi susut jaringan dan meningkatkan efisiensi total pembangkit. Karena pembangkit berada di dekat beban, berarti susut yang terjadi pada jaringan transmisi dan distribusi menjadi lebih kecil. Lebih lanjut, energi termal yang tidak dapat digunakan untuk membangkitkan listrik dapat digunakan untuk sistem pengaturan suhu, baik pemanasan maupun pendinginan yang mampu meningkatkan efisiensi pembangkit termal secara signifikan.

Keempat, *microgrid* cenderung terhindar dari penolakan warga sekitar. Sindrom yang paling umum muncul dalam pembangunan proyek fasilitas umum adalah sindrom *not*



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

in my back yard (NIMBY), dimana hal ini akibat manfaat dari fasilitas publik tersebut tidak dirasakan langsung oleh warga sekitar. Sindrom ini pula yang sering menjadi alasan mengapa proyek pembangkit tenaga listrik maupun proyek sistem transmisi tertunda. Dalam konsep *microgrid*, pembangkit maupun sistem distribusi akan berada di dekat warga, yang merupakan pusat beban sehingga mereka merasakan langsung manfaatnya.

Kelima, *microgrid* sejalan dengan rencana untuk melistriki daerah terdepan, terpencil dan tertinggal (3T) dan pengembangan sistem kecil tersebar sehingga membantu peningkatan rasio elektrifikasi. Negara Kesatuan Republik Indonesia memiliki wilayah yang unik secara geografis dan memiliki banyak potensi energi primer energi baru terbarukan Hal ini berarti sangat sulit menyatukan seluruh nusantara dengan satu sistem besar, akibat adanya lautan yang memisahkan daratan satu sama lain. Selain itu, sebaran penduduk juga tidak merata sehingga pembangunan sistem interkoneksi menjadi tidak ekonomis, terutama di daerah timur. Oleh sebab itu, pulau-pulau dan daerah-daerah terpencil tersebut dapat dilistriki dengan mengaplikasikan konsep *microgrid*.

2.1.3. HOMER, NPC dan LCOE

HOMER adalah alat pengoptimalan untuk merancang dan melakukan analisis kelayakan ekonomi dari sistem tenaga hibrid. Simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas adalah tiga hal utama tugas yang dapat dilakukan oleh HOMER untuk menemukan yang optimal konfigurasi sistem [13]. HOMER mensimulasikan, mengoptimalkan, dan melakukan analisis sensitivitas pada sistem *hybrid* untuk menentukan arsitektur, struktur, ukuran, dan kontrol yang optimal strategi sistem untuk *stand-alone* dan *grid-connected* aplikasi [17], [18]. HOMER membutuhkan data input seperti beban permintaan, sumber daya, detail komponen sistem tenaga, dan biaya, kendala, strategi pengendalian untuk melakukan simulasi, optimasi dan analisis



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

sensitivitas dan hasil ukuran yang optimal, total biaya modal, biaya energi, kekurangan kapasitas dan bahan bakar konsumsi sebagai output. Setelah data input yang diperlukan dimuat ke HOMER, maka HOMER mulai memodelkan sistem dan menentukan teknis kelayakan dan biaya siklus hidup sistem untuk setiap jam dalam setahun dalam proses simulasi. Kemungkinan konfigurasi untuk hybrid sistem tenaga listrik berdasarkan *Total Net Present Cost* (TNPC) yang tersedia pada akhir proses simulasi [19]. Pengoptimalan proses dimulai setelah mensimulasikan seluruh kemungkinan solusi dari konfigurasi sistem tenaga hibrid untuk membandingkan berbagai jenis konfigurasi sistem dari TNPC terendah hingga tertinggi dan menemukan konfigurasi sistem yang optimal. Karena sistem konfigurasi berdasarkan TNPC bervariasi tergantung pada variabel sensitivitas (misalnya matahari global, kecepatan angin dan harga bahan bakar) maka HOMER dapat mengulangi proses optimasi untuk setiap pemilihan variabel sensitivitas untuk sistem pembangkit listrik terbarukan hibrid. Solusi optimal sistem hybrid energi terbarukan mengacu pada NPC terendah. NPC adalah nilai saat ini dari semua biaya pemasangan dan pengoperasian komponen selama umur proyek, dikurangi nilai saat ini dari semua pendapatan yang diperolehnya selama umur proyek. Total biaya bersih saat ini dari sistem, yang juga dikenal sebagai biaya siklus hidup dihitung oleh HOMER menggunakan persamaan (1) di mana adalah total biaya tahunan termasuk biaya tahunan biaya komponen sistem, penggantian komponen dan operasi seperti pemeliharaan sistem bahan bakar adalah faktor modal pemulihan dan diberikan oleh persamaan (2), di mana adalah angkanya tahun proyek (umur proyek) dan tingkat bunga tahunan untuk umur proyek, masing-masing [18]. HOMER memberikan peringkat sistem menurut NPC terkecil sebagai peringkat tertinggi.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF} \quad (1)$$

$$CRF = \frac{i(1+N)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (2)$$

$C_{ann,tot}$ adalah total biaya tahunan, i adalah tingkat bunga tahunan (*the discount rate*), dan CRF adalah faktor pengembalian modal.



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

Levelized Cost of Energy (LCOE) adalah biaya rata-rata per kWh energi listrik yang dihasilkan oleh sistem. Secara sederhana, LCOE dihitung dengan cara membagi total jumlah biaya suatu pembangkit dengan total jumlah listrik yang dibangkitkan oleh teknologi tersebut selama masa pakainya. LCOE merupakan alat yang umum dipakai untuk membandingkan biaya pembangkitan listrik dari berbagai macam teknologi.

Komponen utama biaya dalam perhitungan LCOE:

1. Biaya investasi/biaya modal (CAPEX), yang meliputi biaya pembelian alat/teknologi, biaya instalasi, dan biaya perencanaan dan persiapan proyek.
2. Biaya O&M, yang meliputi biaya yang dikeluarkan untuk memelihara dan mengoperasikan pembangkit, misalnya biaya pembelian bahan bakar (*variable O&M*) dan biaya sewa/beli lahan (*fixed O&M*).
3. Faktor Kapasitas (*Capacity Factor*), merupakan rasio dari jumlah listrik yang dibangkitkan oleh suatu teknologi dibagi dengan jumlah listrik maksimum yang dihasilkan oleh suatu pembangkit berdasarkan nilai kapasitas terpasangnya (dihitung dengan menganggap pembangkit selalu membangkitkan listrik sesuai dengan nilai kapasitas terpasang setiap waktunya).
4. Biaya pendanaan adalah biaya dari pendanaan yang dibayarkan dalam kurun waktu tertentu. Biaya pendanaan berasal dari ekspektasi keuntungan dari investor dan juga biaya bunga terhadap utang.

Struktur biaya dari energi terbarukan dan energi fosil sangat berbeda. Misalnya, PLTS dan PLTB mempunyai biaya modal awal yang sangat tinggi namun biaya O&M yang hampir tidak ada, sedangkan biaya pembangkitan listrik dari PLTU akan sangat bergantung pada biaya bahan bakar (*variable O&M*). Akibatnya, perubahan biaya pembangkitan listrik PLTS misalnya, akan lebih bergantung pada naik turunnya komponen biaya investasi dan faktor kapasitas jika dibandingkan dengan PLTU. Sangat penting untuk memahami bagaimana komponen biaya tertentu mempunyai



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

dampak yang lebih signifikan pada biaya pembangkitan listrik akhir, sehingga kebijakan yang dibangun akan lebih efektif untuk mencapai tujuan yang diharapkan.

2.2 Kajian Penelitian Terdahulu

Struktur sistem tenaga listrik di berbagai belahan dunia sedang mengalami perubahan yang signifikan di era milenial ini. Walaupun di Indonesia belum terlalu tampak, bukan tidak mungkin dalam beberapa tahun ke depan akan terasa perubahannya. Saat ini struktur yang seperti menghasilkan klaster-klaster sistem tenaga kecil yang disebut sebagai *microgrid* sedang *emerging* di berbagai negara. Berbeda dengan sistem tenaga konvensional yang berukuran raksasa dan dikelola secara terpusat oleh satu pengelola (di Indonesia, fungsi ini dijalankan oleh PLN), *microgrid* sifatnya terdistribusi dan bisa menjangkau daerah-daerah terpencil yang tidak terjamah *grid* utama[15]. Secara garis besar, terdapat perbedaan paradigma antara sistem tenaga berbasis pembangkit konvensional dengan sistem tenaga “terdistribusi” ini. Sistem tenaga konvensional dibangun berdasarkan lokasi sumber energi. Dimana sumber energi berada, di situlah pembangkit dibangun dan dari situlah kemudian dibangun saluran transmisi dan distribusi yang sangat panjang untuk menjangkau konsumen. Sayangnya, terkadang tidak semua konsumen bisa terjangkau oleh sistem ini, terutama konsumen di daerah terpencil dengan aksesibilitas terbatas. Hal inilah yang menjadi *concern* di sistem tenaga terdistribusi. Sistem tenaga terdistribusi dibangun berdasarkan lokasi beban/konsumen. Dimana konsumen berada, di situ atau di dekat situlah sistem tenaga dibangun. Karena kedekatan dengan konsumen ini, saluran transmisi dan distribusi praktis tidak diperlukan lagi.

Microgrid bukannya tanpa kelemahan/kekurangan. *Grid* generasi berikutnya menghadapi tantangan teknis baru yang timbul dari meningkatnya penetrasi DG, yang divisualisasikan melalui konsep *microgrid*[20]. Sementara penetrasi *microgrid* yang rendah dapat diabaikan pada kestabilan jaringan, kemampuan sistem untuk mengakomodasi penetrasi *microgrid* yang tinggi menjadi perhatian[21][22]. Ini berarti penetrasi *microgrid* yang tinggi dapat menimbulkan masalah stabilitas yang harus



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

diatasi[23]. Namun demikian, pada kenyataannya utilisasi *microgrid* terus bertambah dengan pesat dan menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi kekurangan energi listrik di berbagai wilayah[24]. Salah satu faktor pendorongnya adalah biaya investasi pembangkit berbasis energi terbarukan yang semakin turun[25]. Hal ini karena teknologi terkait, seperti teknologi panel surya dan turbin angin, yang telah memasuki fase *mature* sehingga dimungkinkan produksi massal dalam jumlah besar[26]. Walaupun sumber energi di *microgrid* tidak harus berupa energi terbarukan, pertumbuhan utilisasi energi terbarukan yang sangat pesat akan tetap menjadi *driving-force* utama pertumbuhan *microgrid* di tahun-tahun mendatang. Penelitian tentang penerapan *microgrid* memang masih sangat berkembang, karena konsep ini masih relatif baru sehingga masih banyak yang tidak diketahui di dalamnya[27]. Selain itu, teknologi yang dipakai di *microgrid* belum terbukti keandalannya untuk dipakai dalam jangka waktu yang sangat lama[28]. Hal ini karena mayoritas *microgrid* yang ada saat ini usianya memang masih muda. Salah satu kekurangannya lagi, *microgrid* memerlukan inspeksi rutin terhadap perangkat-perangkatnya[29].

Penggunaan *microgrid* tidak hanya untuk daerah yg *remote area* [30] tetapi juga dapat diimplementasikan di perkantoran karena memiliki beban yang besar di siang hari yang akan mengoptimalkan pemakaian energi matahari untuk mengsubsitusi penggunaan energi fosil atau penggunaan energi dari *grid* PLN seperti halnya di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali[7]. Sudah banyak juga penelitian yang membahas *microgrid*, tetapi belum ada yang mengevaluasi kondisi eksisting *microgrid* yang sudah diterapkan di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali apakah sudah optimal secara teknologi dan ekonomi sehingga dapat dijadikan model dalam penerapan *microgrid* bagi gedung perkantoran yang lainnya.

Pada bagian ini akan dibahas *state of the art literature* di bidang yang berkaitan dengan penerapan *microgrid*. Beberapa paragraf akan membahas sejarah atau urutan penelitian terkait penerapan *microgrid*. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut juga akan disajikan dengan urutan tahun publikasi terdahulu hingga yang terbaru termasuk *tools* yang digunakan untuk melakukan analisa teknologi dan ekonomi 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

microgrid. Penggunaan software HOMER sebagai *tools* akan lebih dikhususkan guna memperkuat *gap research*.

Lasseter, et al. (2004) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa penerapan pembangkit terdistribusi dapat menyebabkan beberapa persoalan. Cara yang lebih baik untuk menyadari potensi yang muncul dari pembangkit terdistribusi adalah untuk mengambil pendekatan sistem terkait beban sebagai subsistem atau "*microgrid*". Selama gangguan, pembangkit dan beban yang sesuai dapat terpisah dari sistem distribusi untuk mengisolasi beban *microgrid* dari gangguan (menyediakan layanan UPS) tanpa merusak integritas jaringan transmisi. Kemampuan ini untuk menghasilkan *island* dan beban bersama-sama memiliki potensi untuk memberikan keandalan yang lebih tinggi daripada yang disediakan oleh sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Wencong Su, et al. (2010) melakukan studi terkait insentif ekonomi, teknologi dan lingkungan untuk fitur pembangkit dan penyaluran listrik. Saat ini, ada kebutuhan untuk menilai pengaruh dari sejumlah besar pembangkit terdistribusi dan penyimpanan di *microgrid*. Untuk mengakomodasi tingginya permintaan energi terbarukan dan kebijakan lingkungan, perencanaan dan pengoperasian pembangkit dengan sistem *microgrid* perlu analisa menggunakan HOMER. Hasil simulasi menunjukkan studi kasus yang optimal konfigurasi *microgrid* pada daerah Ontario di Kanada. Kepekaan variabel ditentukan untuk menguji pengaruh ketidakpastian (misalnya harga solar dan kecepatan angin rata-rata), terutama dalam perencanaan jangka panjang.

Sina Parhizi et al. (2015) membahas manfaat signifikan yang terkait dengan *microgrid* telah menyebabkan upaya besar-besaran untuk memperluas penetrasi pada sistem tenaga listrik. Meskipun penyebarannya berkembang pesat, masih banyak tantangan untuk merancang, mengontrol, dan mengoperasikan *microgrid* secara efisien saat tersambung ke jaringan (*ongrid*), dan juga saat dalam kondisi *offgrid*, Makalah ini menyajikan ulasan tentang masalah penerapan *microgrid* dan memberikan laporan penelitian di bidang yang terkait dengan *microgrid*, termasuk pembangkit terdistribusi, proposisi *microgrid*, aplikasi elektronika daya, masalah ekonomi, operasi dan kontrol



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

mikogrid, pengelompokan *microgrid*, dan masalah sistem proteksi serta sistem komunikasi data.

S. Bifaretti (2017) melakukan penelitian terkait sistem pembangkit terdistribusi dan *microgrid* yang berperan penting untuk penetrasi energi terbarukan yang lebih besar untuk mencapai pengurangan emisi karbon. Namun, kinerja dan keandalan *microgrid* sangat bergantung pada interaksi berkelanjutan antara pembangkit listrik, penyimpanan dan dinamika beban serta pentingnya mengembangkan strategi manajemen energi yang tepat dan sistem pengaturan beban. Dalam penelitian ini menggunakan *Model Predictive Control* (MPC), berdasarkan kerangka *Mixed Linear Integer Programming*, telah diterapkan pada *microgrid* di perumahan. Diperoleh kesimpulan bahwa jaringan yang terhubung *microgrid* memiliki kemampuan potensial dalam keseimbangan jaringan dan memungkinkan penetrasi yang lebih besar dari sumber energi terbarukan yang berfluktuasi dan dengan demikian menghasilkan manfaat ekonomi bagi konsumen dan operator jaringan.

Sohad Abu-elzait (2019) pada penelitiannya menyajikan pembangkit terdistribusi sebagai salah satu yang terbaik dan paling banyak dipraktekkan untuk mencapai keandalan sistem tenaga listrik. Namun, metode yang terbaik untuk memaksimalkan manfaat ini adalah dengan memanfaatkan distribusi sumber daya energi dalam *microgrid*, di mana ini sumber daya, dan beban di sekitar dikontrol secara efisien melalui "*Microgrid Controller*," yang merupakan jantung dari *microgrid*. Sumber daya energi yang didistribusikan dapat berupa jenis pembangkit apa pun dari pembangkit berbahan bakar fosil yang khas hingga sistem pembangkit energi terbarukan. Tujuan dari ini studi adalah untuk menyoroti keunggulan ekonomi *microgrid* berbasis energi terbarukan dibanding *microgrid* dengan sumber daya berbahan fosil. Analisis ekonomi menunjukkan bahwa sistem *microgrid* dengan energi terbarukan lebih ekonomis dibandingkan *microgrid* dengan pembangkit berbahan bakar fosil. Lokasi untuk smart *microgrid* di Yuma/AZ/USA, Boston/MA/USA, Ma'an/Yordania, dan Plymouth/Inggris.



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

Sunario Manalu et al. (2019) melakukan studi untuk menganalisis kinerja teknis dan ekonomi dari sistem *microgrid* yang digunakan untuk meningkatkan akses listrik di pedesaan – Desa Hutajulu, Kecamatan Parmonangan, Kabupaten Tapanuli Utara, Indonesia. Ada dua jenis pembangkit listrik terdistribusi yang digunakan dalam sistem *microgrid*, yaitu diesel generator dan solar PV, dan ada 20 rumah di desa yang akan disuplai listrik oleh sistem *microgrid*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator akan beroperasi 3,754 jam per tahun dan akan memasok listrik ke rumah 2.456 kWh/tahun selama jangka waktu perencanaan (25 tahun). Biaya listrik yang diratakan (LCOE) dari generator diesel akan menjadi US\$10,7/kWh, dan faktor kapasitas generator diesel akan menjadi 14%. Efisiensi listrik rata-rata generator diesel ditemukan 27,2%. Dalam hal PLTS dipasang di sistem *microgrid*, jam operasi PLTS selama cakrawala perencanaan adalah 4.426 jam/tahun dan memasok listrik ke rumah-rumah 2.153 kWh/tahun. Biaya listrik PV surya yang diratakan akan menjadi US\$7,92/kWh.

Zuhaidi (2019) melakukan analisis kondisi sistem pembangkitan smart grid PLTS perkantoran Gubernur Bali saat hari kerja dan hari libur. *Smart grid* didefinisikan sebagai sistem yang *self-healing* dilengkapi dengan teknik untuk melakukan optimasi sistem secara dinamis melalui pengukuran secara *real-time* untuk mengurangi rugi-rugi jaringan, menjaga stabilitas tegangan, meningkatkan reliabilitas dan meningkatkan manajemen aset. Peringatan yang terekam di sistem pada saat hari libur mengindikasikan terjadi kenaikan tegangan maksimum baterai (BattVtgMax) dan gangguan disisi proteksi akibat kenaikan *reverse power* (GnRevPwrProt) ke jaringan PLN. Penggunaan *energy meter* sebagai pemberi umpan balik untuk pembatasan keluaran PLTS saat hari libur mampu mengatasi peringatan dan kesalahan pada sistem, sehingga sistem masih mampu bekerja secara paralel dengan PLN. Data umpan-balik yang didapatkan dari kurva grafik kesetimbangan energi sistem memperlihatkan ketika libur dan cuaca cerah nilai *battery charging* dijaga lebih rendah dari ketika hari kerja yaitu 17,50 kWh dibanding 27,10 kWh saat hari kerja, dan ketika cuaca mendung nilai *battery charging* 16,60 kWh dibanding 29 kWh saat hari kerja. Nilai *grid feed in* masih



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

mampu dijaga oleh sistem sampai dengan 84,46 kWh saat cuaca cerah dan 78,61 kWh saat cuaca mendung.

Zuhaidi, et al. (2020) melakukan penelitian terhadap implementasi konsep *microgrid* di kompleks perkantoran Gubernur Bali sebagai percontohan kawasan nasional energi bersih di Indonesia terhubung langsung ke sisi pengguna secara paralel. Sebuah *microgrid* dapat dibayangkan sebagai sebuah sistem tenaga listrik kecil yang menghubungkan pembangkit, transmisi, dan distribusi dan dapat mencapai kesetimbangan daya dan energi yang optimal dalam suatu daerah tertentu. Sebagai Percontohan Kawasan Nasional Energi Bersih di Indonesia, Provinsi Bali bersama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral (Balitbang ESDM) Kementerian ESDM mengembangkan suatu sistem *microgrid* PLTS di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali. Sistem ini dirancang agar dapat beroperasi bersama dengan sumber energi listrik eksisting yang menyuplai Kompleks Perkantoran Gubernur Bali, yaitu jaringan listrik PLN dan generator set (PLTD). Hasil penerapan konsep *microgrid* memperlihatkan kontribusi energi terbarukan sebesar 36,7% dari total pemakaian energi listrik di kantor Gubernur Bali, dengan penghematan sebesar 349,87 MWh atau lebih kurang sebesar Rp. 575.368.212 selama pemakaian 2 tahun.

Tabel dibawah ini merupakan sistematika literatur review yang dibuat untuk mempersingkat penjelasan terkait alur *history* yang sudah dijelaskan pada paragraf-paragraf di atas sekaligus memperjelas kekuatan metode yang diusulkan pada penelitian.



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 2.1. Sistematika Literatur Review

No	Tahun	Judul Penelitian	Penulis (Peneliti)	Penerbit	Pembahasan	Gap
1.	2021	<i>Microgrid</i> Protection and Control	Dehua Zheng	<i>Academic Press Elsevier</i>	Meneliti tentang skema umum <i>Microgrid</i> dan fungsi masing-masing komponen	Tidak meneliti aspek teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
2.	2020	Implementasi Konsep <i>Microgrid</i> di Komplek Perkantoran Gubernur Bali Sebagai Percontohan Kawasan Nasional Energi Bersih di Indonesia	Zuhaidi, Yeni Gusriani, Desrita Pardi	Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Vol 6	Konsep <i>microgrid</i> di kompleks perkantoran Gubernur Bali sebagai percontohan kawasan nasional energi bersih di Indonesia	Tidak meneliti aspek teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
3.	2019	Economic and Environmental Advantages of Renewable-based <i>Microgrid</i> s over Conventional <i>Microgrid</i> s	Sohad Abu-elzait	<i>IEEE Green Technologies Conference</i>	<i>Microgrid Controller</i> sebagai jantung dari <i>microgrid</i>	Tidak meneliti aspek teknologi penerapan <i>microgrid</i>
4.	2019	Techno-Economic Analysis of a <i>Microgrid</i> System To Increase Electricity Access in Rural Areas	Sunario Manalu, and Charles O. P. Marpaung	<i>Ijsgset Transactions On Smart Grid And Sustainable Energy</i> , Vol. 3, No. 2	Meneliti aspek teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i> di daerah pedesaan	Analisis aspek teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i> di daerah pedesaan
5.	2019	Energy management in <i>Microgrid</i> s With Renewable Energy Sources: A Literature Review	Vera, Y. E. G., Lopez, R. D., Agustin, D. L. L	<i>Appl. Sci.</i> , Vol. 9, pp. 3854	<i>Microgrid</i> merupakan salah satu konsep untuk mendukung pengembangan EBT	Tidak meneliti aspek ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
6.	2017	Grid-Connected <i>Microgrid</i> s to Support Renewable Energy Sources Penetration	S. Bifaretti	<i>Energy Procedia</i> 105, 2910-2915	<i>Microgrid</i> memungkinkan penetrasi EBT yang bersifat intermitent dan tersebar	Tidak meneliti aspek teknologi penerapan <i>microgrid</i>
7.	2015	State of the Art in Research on <i>Microgrid</i> s: A Review	Sina Parhizi, Hossein Lotfi, Amin Khodaei, and Shay Bahramirad	<i>IEEE Access Volume</i>	Masih banyak tantangan untuk merancang, mengontrol, dan mengoperasikan <i>microgrid</i> secara efisien saat tersambung ke jaringan (<i>ongrid</i>), dan juga saat dalam kondisi <i>offgrid</i>	Tidak meneliti aspek teknologi penerapan <i>microgrid</i>
8.	2015	Active power consensus in <i>microgrid</i> s	Contzen, M. P., & Raisch, J	IEEE	<i>Microgrid</i> merupakan salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengintegrasikan sumber-sumber energi terbarukan ke dalam jaringan eksisting untuk menyuplai energi	Tidak meneliti aspek teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
9.	2015	Using HOMER® software, NREL's Micropower Optimization Model, To Explore The Role Of Gen-Sets In Small Solar Power Systems Case Study: Sri Lanka	T. Givler, P. Lilienthal	NREL/TP-710-36774	Perangkat lunak HOMER dapat mengevaluasi berbagai opsi peralatan dalam berbagai batasan yang bervariasi untuk mengoptimalkan sistem dengan daya kecil	Tidak meneliti aspek ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
10.	2014	<i>Microgrid</i> s-Benefits, Models, Barriers and Suggested Policy Initiatives for the Commonwealth of Massachusetts	D.N.V. Kema	Burlington, MA	Penelitian ini membahas tentang keunggulan dan tantangan dalam penerapan <i>microgrid</i>	Tidak melakukan evaluasi penerapan <i>microgrid</i>
11.	2013	Introduction to <i>Microgrid</i> s	E. Hayden	Securicon, Alexandria, VA	<i>Microgrid</i> bertindak sebagai entitas tunggal yang dapat dikontrol oleh jaringan utilitas yang lebih besar	Pembahasan umum mengenai <i>microgrid</i> bukan analisis secara teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
12.	2012	Advances On Distributed Generation Technology	Z. Sun, X. Zhang	<i>Energy Procedia</i>	Dalam makalah ini dibahas teknologi jaringan mikro terutama mencakup kontrol operasi seperti masalah kontrol antara berbagai sumber mikro, proses switching dalam koneksi/isolasi jaringan mikro status operasi, prinsip dan metode klasifikasi beban di islanding, dan manajemen energi tingkat lanjut dan operasi <i>microgrid</i> yang optimal.	Tidak meneliti aspek ekonomi penerapan <i>microgrid</i>
13.	2011	Overview Of Communication And Control Techniques In The <i>Microgrid</i>	S. Mu, M. Huang, J. Yang, J. Yu, T. Li, J. Hu	<i>Appl. Mech. Mater</i>	<i>Microgrid</i> dilengkapi oleh beberapa tingkatan controller yang bertujuan untuk menjamin kestabilan tegangan, fleksibilitas kemampuan pembangkit dan menjaga kestabilan frekuensi.	Merupakan pembahasan mengenai teknik komunikasi dan pengaturan dalam <i>microgrid</i>
14.	2010	<i>Microgrid</i> Planning and Operation: Solar Energy and Wind Energy	Wencong Su	IEEE	Kebutuhan untuk menilai pengaruh dari sejumlah besar pembangkit terdistribusi dan penyimpanan di <i>microgrid</i>	Tidak meneliti aspek teknologi penerapan <i>microgrid</i>
15.	2004	<i>Microgrid</i> : A Conceptual Solution	Lasseter, R. H	<i>IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference</i> 6:4285 - 4290 Vol.6	Permasalahan pembangkit terdistribusi dapat diselesaikan dengan penerapan <i>Microgrid</i>	Artikel ini merupakan pengenalan <i>microgrid</i> pertama kali bukan untuk membahas analisis secara teknologi dan ekonomi penerapan <i>microgrid</i>

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap penerapan sistem *microgrid* pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali yang ditinjau dari aspek teknologi dan ekonomi.

3.2 Ancangan penelitian

Penelitian ini melakukan evaluasi terhadap aspek teknologi dan ekonomi. Aspek teknologi yang dimaksud yaitu manajemen energi dengan minimisasi atau maksimisasi kuantitas operasi pembangkit tertentu. Dalam penelitian ini akan dibandingkan beberapa kondisi pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali, yaitu:

1. Kondisi Gedung 1, 3 dan 5 pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali sebelum diterapkan *microgrid*, yang terdiri dari listrik dari PLN sebesar 555 kVA dan PLTD sebesar 250 kW dibandingkan dengan Gedung 1,3 dan 5 yang dilakukan manajemen energi (optimasi) setelah diterapkan *microgrid*, yang terdiri dari listrik dari PLN sebesar 555 kVA, PLTD sebesar 250 kW, PLTB kapasitas 10 x 1 kW, PLTS kapasitas 158 kWp;
2. Kondisi Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali setelah diterapkan *microgrid* yang dioptimasi untuk menentukan konfigurasi pembangkit yang optimal;
3. Kondisi Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali setelah diterapkan *microgrid* yang dioptimasi untuk menentukan konfigurasi yang optimal dibandingkan dengan kondisi seluruh Gedung 1 sampai dengan 6 pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali di *microgrid*-kan.

Evaluasi secara ekonomi dilihat dari nilai investasi, NPC dan LCOE untuk berbagai kondisi tersebut di atas. Semakin kecil nilai NPC dan LCOE akan semakin 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

3.3 Kegiatan Penelitian

Lengkapya tahapan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Tinjauan Literatur

Tinjauan literatur meliputi kajian konsep mikrogrid berbasis energi terbarukan, konsep keekonomian sistem dan konsep optimalisasi sistem;

2. Melakukan pengambilan data

Data yang diambil merupakan data primer yang diukur langsung seperti data hasil produksi sistem, profil beban listrik, pengukuran daya PLTS, pengukuran kapasitas baterai. Juga dilakukan dengan pengambilan data pada *server microgrid* yang telah menyimpan semua parameter kelistrikan sistem *microgrid*. Selain data primer, data sekunder seperti data konfigurasi jaringan dan jadwal pemadaman listrik Kawasan Perkantoran Gubernur Bali didapatkan dari PLN Unit Induk Distribusi Bali.

3. Melakukan Analisa Data

Semua data diatas diolah menggunakan alat bantu berupa perangkat lunak HOMER. HOMER merupakan perangkat lunak yang telah terstandar secara global untuk melakukan optimisasi desain untuk *microgrid*. Analisa data yang dilakukan mencakup aspek secara teknologi dengan memperhatikan banyaknya pembangkit EBT yang digunakan pada berbagai skenario dan aspek secara ekonomi dengan memperhatikan nilai NPC dan LCOE;

4. Melakukan optimasi desain sistem

Sistem yang dilakukan melalui penelitian ini akan dibandingkan dengan sistem yang eksisting melalui verifikasi secara teknologi dan ekonomi. Aspek teknologi dengan manajemen energi dalam artian minimisasi atau maksimisasi kuantitas operasi pembangkit tertentu yang ditinjau melalui konfigurasi yang optimal dari kombinasi PLTS, PLTB dan PLTD untuk menyuplai beban di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali, besaran kapasitas PLTS, PLTB dan PLTD untuk menyuplai beban di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali dan optimalisasi kebutuhan baterai untuk menjamin ketersediaan energi listrik selama terjadi gangguan/pemadaman. Sedangkan evaluasi dari aspek ekonomi dengan melihat nilai NPC dan LCOE.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Hasil optimasi akan dibandingkan dengan kondisi eksisting dan akan dilihat mana konfigurasi teknologi yang lebih bagus dimana dapat dilihat dari banyaknya jenis pembangkit EBT yang dipakai, pemakaian listrik PLN, pemakaian BBM, sedikitnya nya biaya investasi, nilai NPC dan nilai LCOE.

Aspek ekonomi ditinjau dari hasil analisis kelayakan investasi dari sistem *microgrid* di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali berdasarkan LCOE dan NPC setiap kombinasi pembangkit.

Adapun alur penelitian sebagaimana gambar 3.1

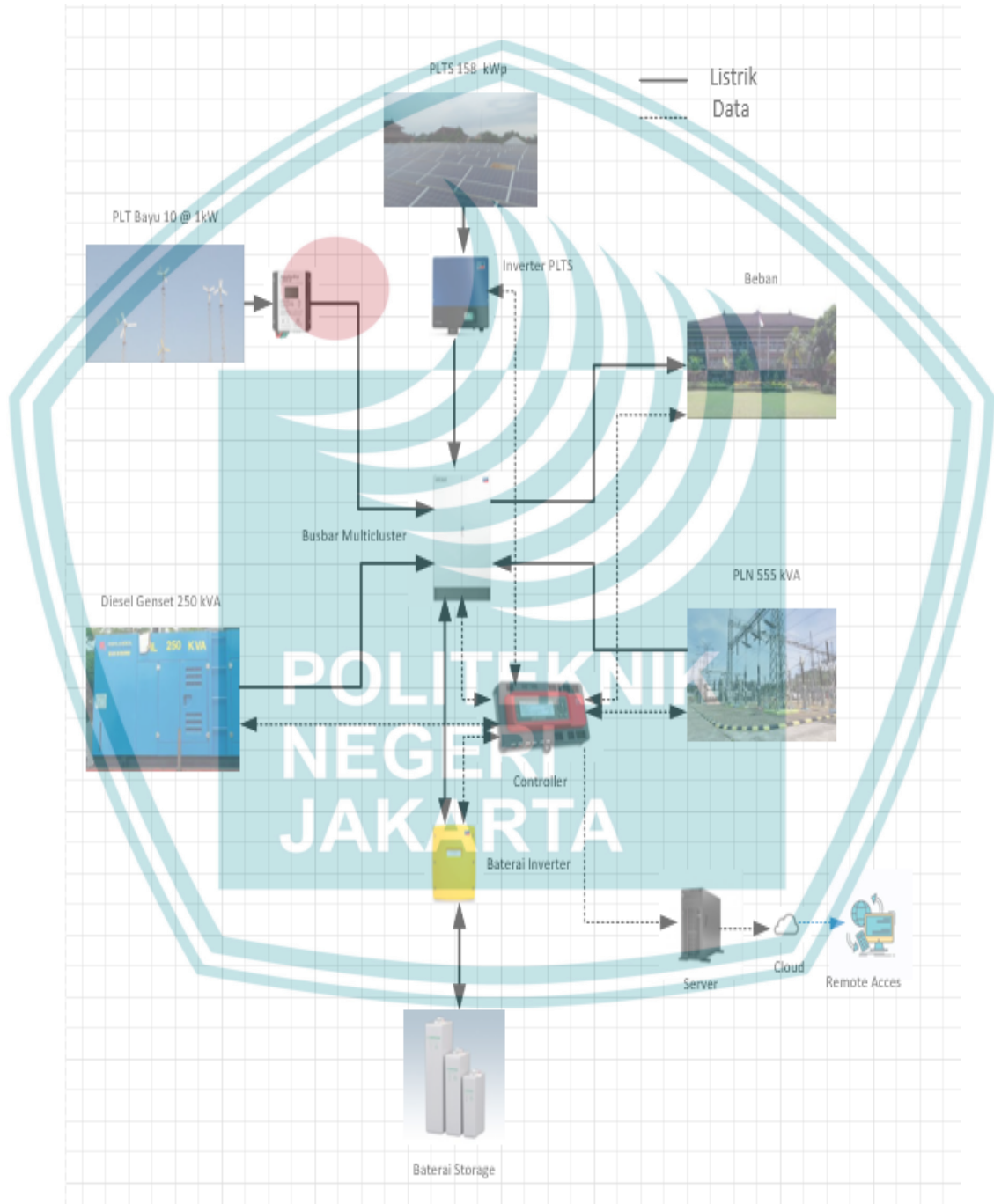


Gambar 3.1. Alur Penelitian

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.2 di bawah ini menggambarkan sistem *microgrid* pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali (Gedung 1, 3 dan 5).



Gambar 3.2 Ilustrasi *microgrid* pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali



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

3.4 Metode dan Teknik Analisis Data

Data yang didapatkan dianalisis menggunakan software HOMER. HOMER menyederhanakan tugas evaluasi desain sistem tenaga *off-grid* dan *grid-connected* untuk berbagai aplikasi[31]. Ketika merancang sistem tenaga listrik, perlu dipertimbangkan konfigurasi sistem, komponen apa yang masuk akal untuk dimasukkan dalam desain sistem, berapa banyak dan berapa ukurannya dari setiap komponen yang harus digunakan. Banyaknya pilihan teknologi pilihan dan variasi dalam biaya teknologi dan ketersediaan energi sumber daya membuat keputusan ini sulit. Optimasi HOMER dan algoritma analisis sensitivitas membuatnya lebih mudah untuk mengevaluasi banyak kemungkinan konfigurasi sistem.

3.5 Metode dan Teknik Penyajian Hasil

Untuk menggunakan HOMER, perlu untuk menyediakan model dengan inputan yang menjelaskan pilihan teknologi, biaya komponen, dan ketersediaan sumber daya energi primer. HOMER menggunakan inputan ini untuk mensimulasikan konfigurasi sistem yang berbeda, atau kombinasi komponen, dan menghasilkan hasil yang dapat dilihat sebagai daftar konfigurasi yang layak diurutkan berdasarkan NPC. HOMER juga menampilkan hasil simulasi dalam berbagai tabel dan grafik yang membantu dalam membandingkan konfigurasi dan mengevaluasinya dari segi aspek teknologi dan ekonomi[32].

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 IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini mencakup pembahasan konfigurasi yang optimal dari kombinasi PLTS, PLTB dan PLTD untuk menyuplai beban di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali, besaran kapasitas PLTS, PLTB dan PLTD untuk menyuplai beban di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali, kapasitas baterai yang optimal untuk menjamin ketersediaan energi listrik selama terjadi gangguan/pemadaman dan membahas hasil analisis kelayakan investasi dari sistem *microgrid* ini.

4.1 Hasil Penelitian

Kawasan Perkantoran Gubernur Bali dengan titik koordinat $8^{\circ}40'06.0''S$ $115^{\circ}14'02.3''E$ sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1. Lay Out Kawasan Perkantoran Gubernur Bali

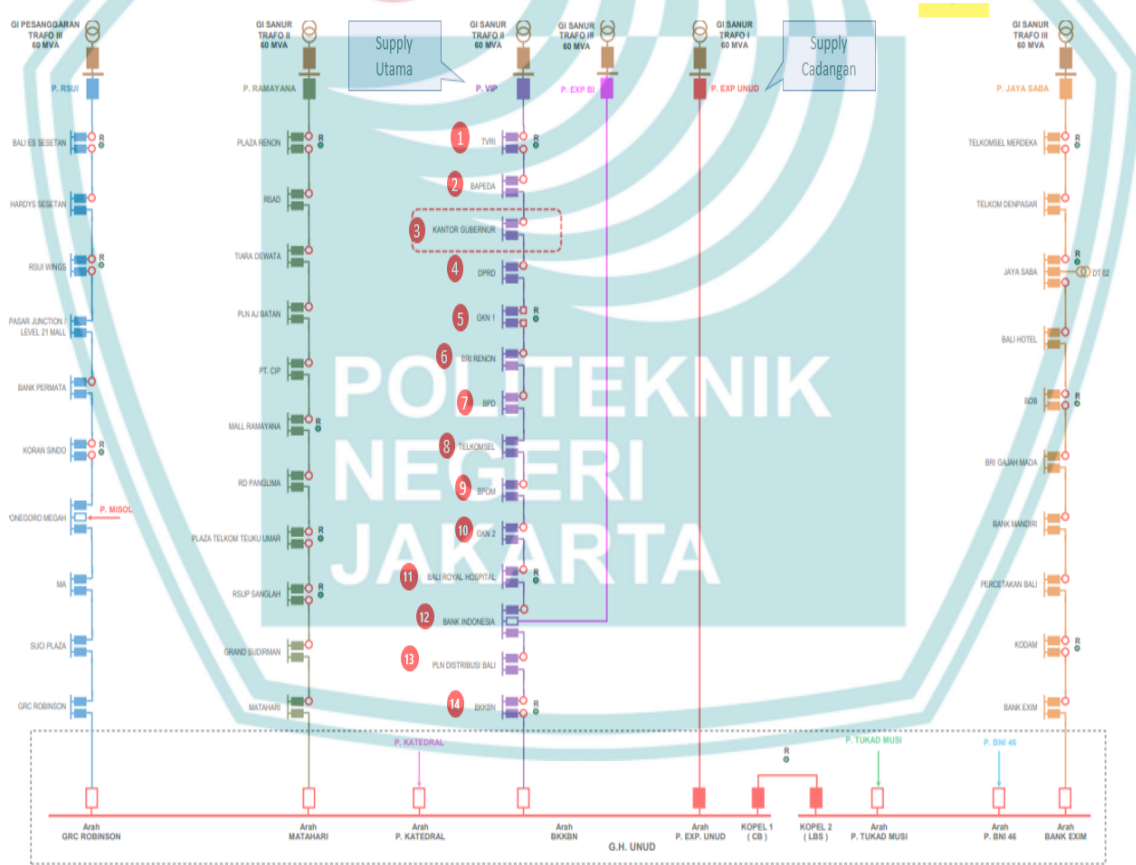
Kawasan Perkantoran Gubernur Bali merupakan pelanggan PLN dengan daya terkontrak sebesar 555 kVA yang dilayani dari GI Sanur, yang berada pada Gardu No.

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3 (setelah Gedung TVRI, dan Gedung Bapeda), masuk dalam kategori Sistem Spindel dimana menggunakan penghantar kabel Tanam (NAXSEYBY 240 mm²) dengan total panjang penghantar dari Gardu Induk adalah 2,99 kms. Suplai utama Kawasan Perkantoran Gubernur Bali adalah dari Penyulang VIP 1 Gardu Induk Sanur Trafo II Daya 60 MVA, sedangkan suplai cadangannya adalah penyulang Express Unud dari Gardu Induk Sanur Trafo I Daya 60 MVA.

Single Line Diagram Kawasan Perkantoran Gubernur Bali seperti diperlihatkan pada gambar 4.2



Gambar 4.2. Single Line Diagram Kawasan Perkantoran Gubernur Bali

Data gangguan selama setahun yang didapatkan dari PLN Unit Induk Distribusi Bali 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.1. Data Pemadaman di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali

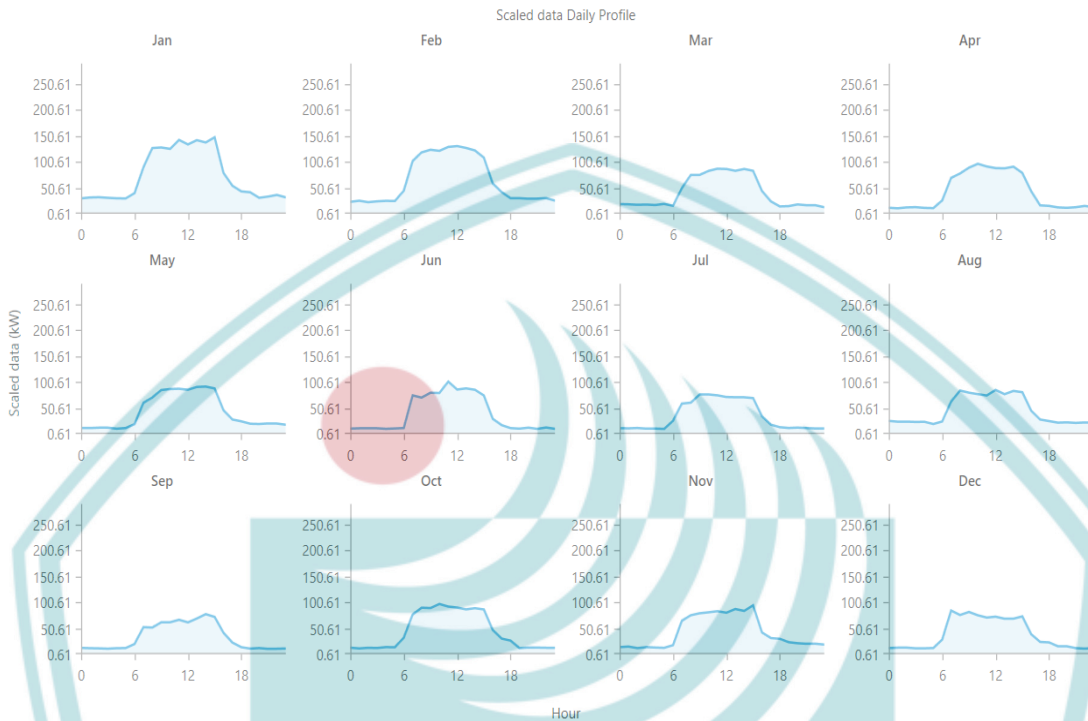
NO	TANGGAL	GARDU INDUK/TRAFO	PENYULANG	UP	ULP	JAM	
1	12/01/2020	SANUR TRAFO 3	P_RENON	BATAN	ULP SANUR	6:16:07	6:56:30
2	22/01/2020	SANUR TRAFO 2	P_PEMUDA	BATAN	SANUR	6:10:16	6:36:52
1	06/02/2020	AMLAPURA TRAFO 1	P_KUBU	BATUR	ULP KARANGASEM	16:14:00	17:01:00
3	07/02/2020	SANUR TRAFO 2	P_JAYAGIRI	BATAN	ULP DENPASAR	08:08:46	08:26:09
4	11/02/2020	SANUR TRAFO 3	P_ART CENTRE	BATAN	ULP DENPASAR	15:21:13	15:43:29
5	14/02/2020	SANUR TRAFO 2	P_SINDU	BATAN	ULP SANUR	12:51:07	13:16:53
6	24/02/2020	SANUR TRAFO 2	P_BATUR SARI	BATAN	SANUR	06:35:54	06:39:34
7	06/06/2020	SANUR TRAFO 2	P_PEMUDA	BATAN	ULP SANUR	7:52:18	7:53:16
8	09/06/2020	SANUR TRAFO 2	P_PEMUDA	BATAN	ULP SANUR	15:21:26	15:22:33
9	13/06/2020	SANUR TRAFO 3	P_SEDAP MALAM	BATAN	ULP SANUR	9:06:51	9:09:45
10	17/06/2020	SANUR TRAFO 3	P_BATANGHARI	BATAN	ULP SANUR	12:24:27	13:11:04
11	19/06/2020	SANUR TRAFO 2	P_SINDU	BATAN	ULP SANUR	0:11:33	1:12:53
12	06/07/2020	SANUR TRAFO 3	P_BATANGHARI	BATAN	ULP SANUR	20:33:41	21:17:30
13	11/07/2020	SANUR TRAFO 3	P_TRENGGULI	BATAN	ULP SANUR	1:29:15	1:32:58
14	06/08/2020	SANUR TRAFO 2	P_PEMUDA	BATAN	ULP SANUR	8:06:22	8:39:37
15	13/08/2020	SANUR TRAFO 3	P_TRENGGULI	BATAN	ULP SANUR	11:44:03	11:48:05
16	28/08/2020	SANUR TRAFO 3	P_IB MANTRA	BATAN	ULP SANUR	21:25:55	21:26:47
17	11/11/2020	SANUR TRAFO 3	P_TUKAD BADUNG	BATAN	ULP SANUR	18:15:54	18:43:19
18	17/11/2020	SANUR TRAFO 3	P_BURUAN	BATAN	ULP SANUR	5:59:10	6:00:53
19	17/11/2020	SANUR TRAFO 3	P_TRENGGULI	BATAN	ULP SANUR	6:01:20	6:03:51

4.1.1. Profil Beban

Data beban listrik untuk Gedung 1, 3 dan 5 diambil dari server *Microgrid* untuk data selama 1 (satu) tahun yang kemudian diproyeksikan ke dalam HOMER seperti gambar

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 4.3. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 Kantor Gubernur Bali

Profil beban bulan Januari seperti terlihat di gambar 4.5

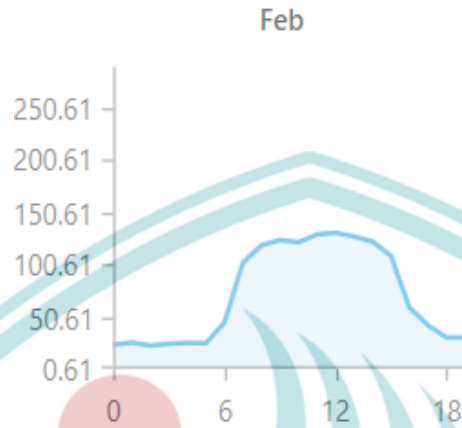


Gambar 4.4. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Januari

Dari gambar di atas terlihat bahwa beban pada Bulan Januari mulai naik pada pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 15.00 WITA sebesar 187,25 kW.

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 4.5. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Februari

Dari gambar di atas terlihat bahwa beban pada Bulan Februari mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 15.00 WITA sebesar 171,68 kW.

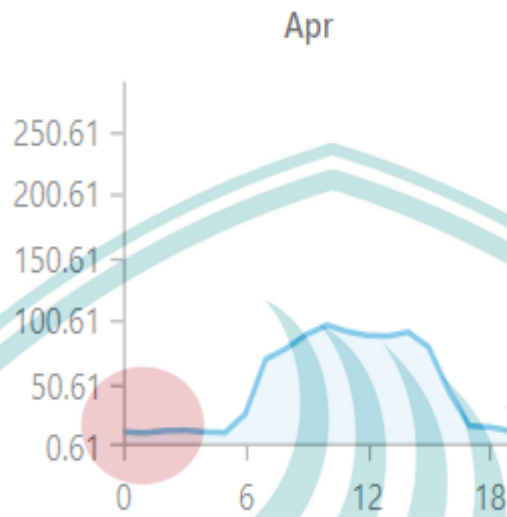


Gambar 4.6. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Maret

Dari gambar di atas terlihat bahwa beban pada bulan Maret mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 14.00 WITA sebesar 114,68 kW.

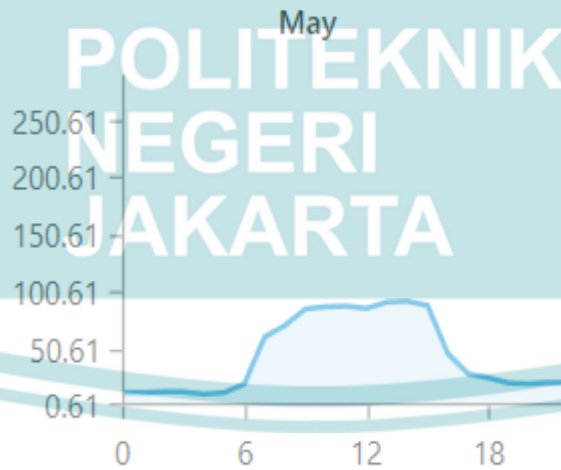
Hak Cipta :

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 4.7. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan April

Dari gambar di atas terlihat bahwa beban mulai naik pada pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 10.00 WITA sebesar 139,99 kW.

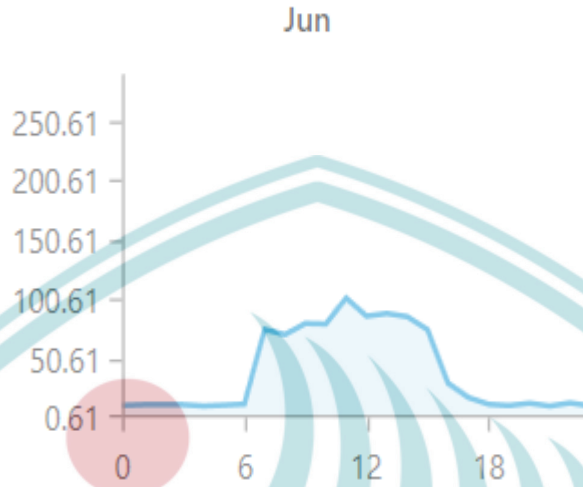


Gambar 4.8. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Mei

Dari gambar di atas terlihat bahwa beban pada Bulan Mei mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 14.00 WITA sebesar 118,26 kW.

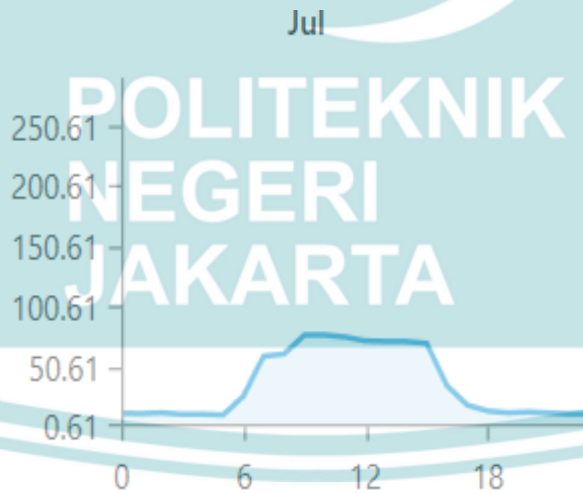
Hak Cipta :

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 4.9. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Juni

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada Bulan Juni beban mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 11.00 WITA sebesar 139,65 kW.

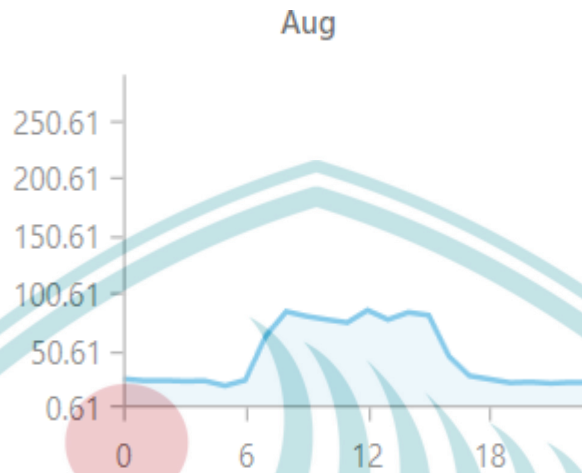


Gambar 4.10. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Juli

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada Bulan Juli beban mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 09.00 WITA sebesar 103,35 kW.

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 4.11. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Agustus

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada Bulan Agustus beban mulai naik pada pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 12.00 WITA sebesar 106,15 kW.

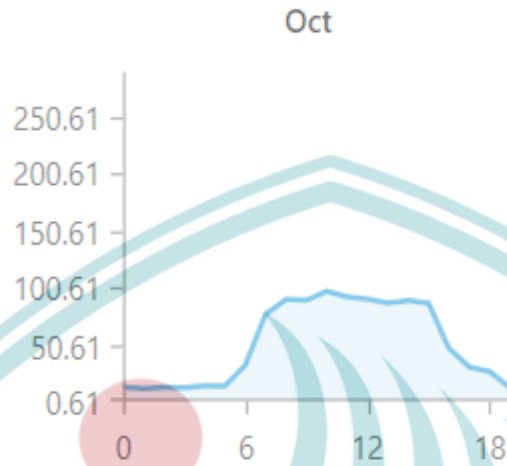


Gambar 4.12. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan September

Dari gambar di atas terlihat bahwa beban mulai naik pada pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 14.00 WITA sebesar 96,92 kW.

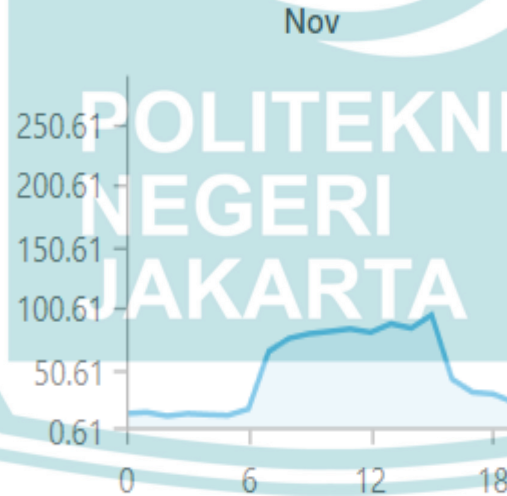
Hak Cipta :

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 4.13. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Oktober

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada bulan Oktober beban mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 11.00 WITA sebesar 117,06 kW.

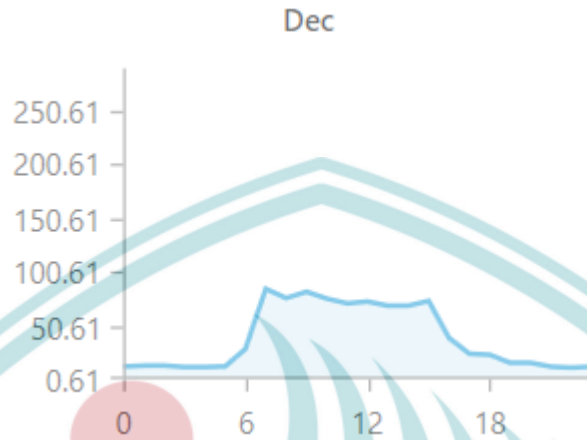


Gambar 4.14. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan November

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada Bulan November beban mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 13.00 WITA sebesar 111,81 kW.

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 4.15. Data beban listrik untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Desember

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada Bulan Desember beban mulai naik pukul 07.00 WITA dengan beban tertinggi pukul 10.00 WITA sebesar 105,26 kW.

4.1.2. Komponen *Microgrid* di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali

Komponen sistem *Microgrid* pada Kawasan perkantoran Gubernur Bali terdiri atas PLTS, PLTB, PLN dan PLTD. Adapun dengan komponen PLTS yaitu *PV Solar Grid Tied Inverter, Battery Inverter, Battery for PV Solar System Application*.

1. PLTS

Panel PLTS yang digunakan di Kantor Gubernur Bali dengan harga panel surya per kW sebesar Rp. 20.835.294 dengan asumsi pemeliharaan PLTS sebesar Rp. 2.516.000/bulan. Panel surya ini diasumsikan masa pakai selama 25 tahun. Adapun spesifikasi panel surya tersebut sebagai berikut:

- a. Kapasitas 255 Wp Dengan Tipe STP 255-20WEM
- b. Jenis *Polycrystalline Solar Module*,
- c. Maksimum Daya 255 W,
- d. Tegangan 30,8 V,
- e. Arus 8,28 A,
- f. *Open Circuit Voltage (Voc)* 37,6 V,

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

- g. *Short Circuit Current (Isc)* 8,76A,
- h. Efisiensi Modul 15,7%

2. *PV Solar Grid Tied Inverter*

PV Solar Grid Tied Inverter yang digunakan tipe STP 20000 TL-30 kapasitas 20 kW.. *PV Solar Grid Tied Inverter* ini diasumsikan masa pakai selama 15 tahun.

3. *Battery Inverter*

Baterai Inverter yang digunakan adalah type: SI 8.0H dengan kapasitas 8 kW. Harga baterai inverter sebesar Rp. 7.688.147/kW.

4. *Battery*

Baterai yang digunakan adalah type: Sun Power VR L 2-520 dengan spesifikasi 2 Volt 500 Ah. Jumlah baterai sebanyak 216 unit. Harga per baterai Rp. 2.870.370.

5. PLTB

PLTB yang digunakan sebanyak 10 unit dengan kapasitas masing-masing 1 kW dengan biaya Rp. 60.000.000 untuk 1 unit.

6. PLTD

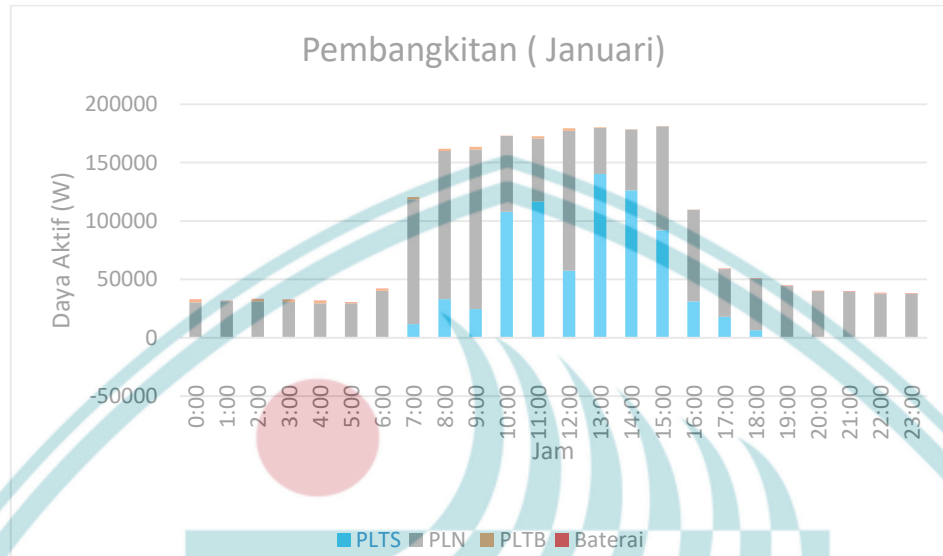
PLTD yang digunakan adalah tipe PERKINS-250 kVA-50Hz dengan kapasitas 250 kW dengan harga Rp. 473.581.414 dengan biaya pemeliharaan Rp. 70.000/jam.

4.1.3. Evaluasi Kondisi *Microgrid* Eksisting

Evaluasi pembangkitan setiap pembangkit pada Gedung 1, 3 dan 5 dalam satu tahun akan dijelaskan pada bagian 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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.16. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Januari

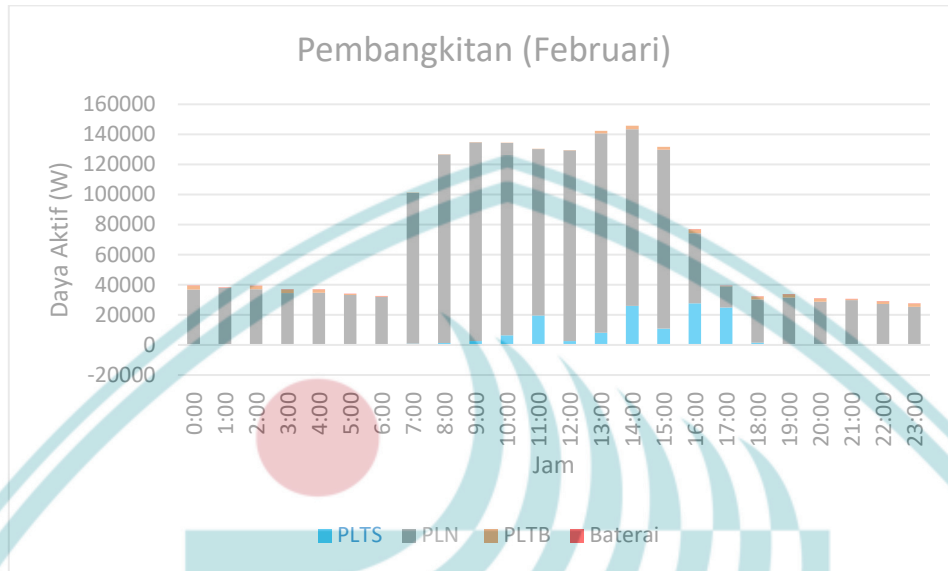
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Januari. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS.

Pada pukul 7 pagi sampai pukul 6 sore, selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 18.00 WITA. Gambar 4.16 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 15.00 WITA.

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.17. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Februari

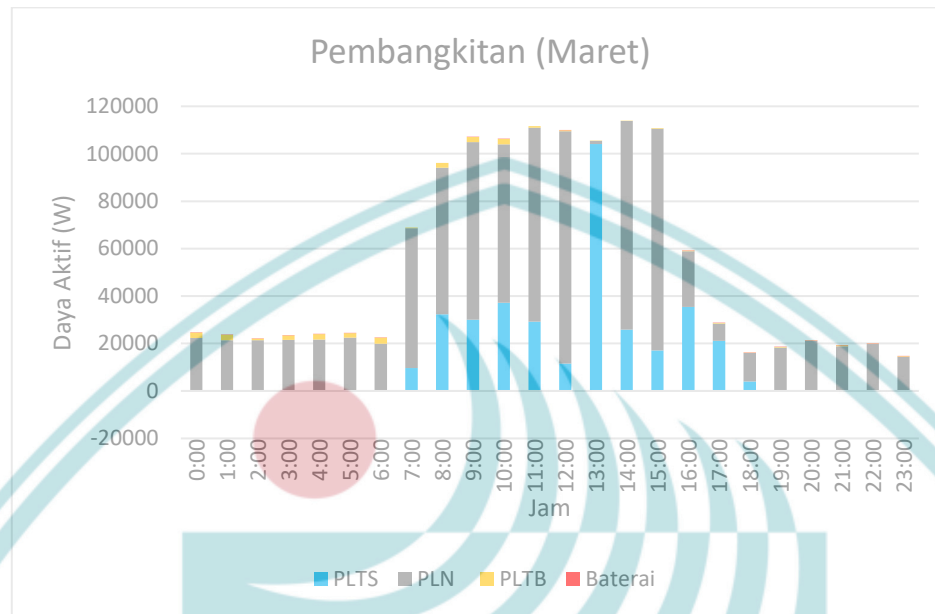
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Februari. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS.

Pada pukul 7 pagi sampai pukul 6 sore, selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 18.00 WITA. Gambar 4.17 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 14.00 WITA.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.18. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Maret

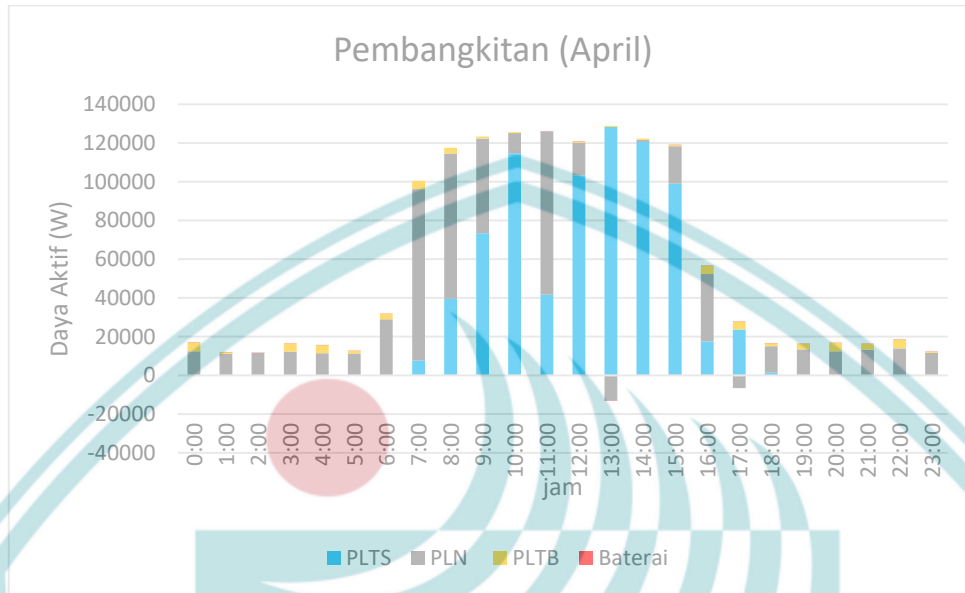
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Maret. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS.

Pada pukul 7, 8, 11, 13, 14 dan 15 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 15 WITA kecuali pada pukul 9, 10 dan 12. Gambar 4.18 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 16.00 WITA.

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 4.19. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan April

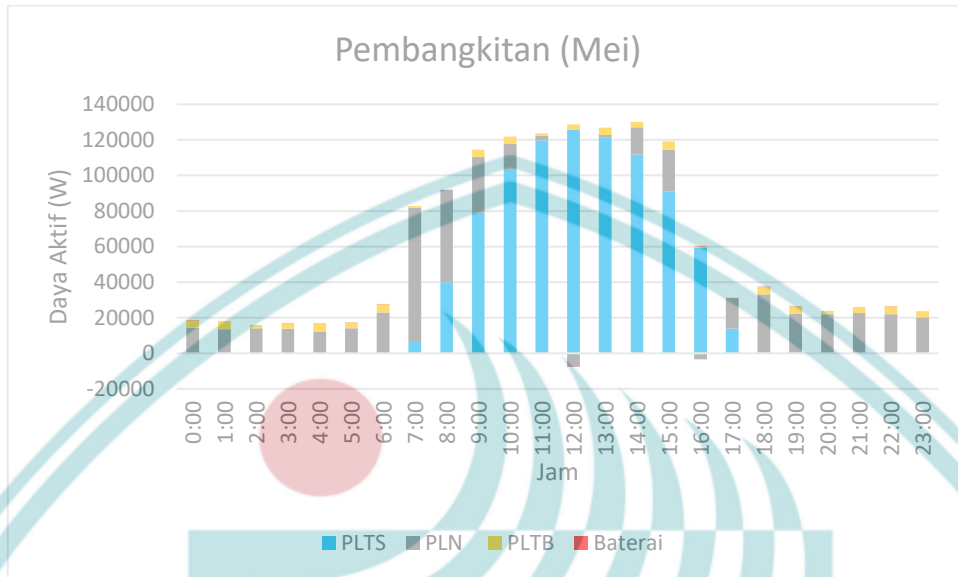
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan April. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 13.00 WITA dan 17.00 WITA, terlihat bahwa produksi PLTS melebihi besarnya beban yang harus dipasok sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 7, 8, 9, 10, 13 dan 14 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 15.00 WITA kecuali pada pukul 11 dan 12. Gambar 4.19 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 12.00 WITA.

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 4.20. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Mei

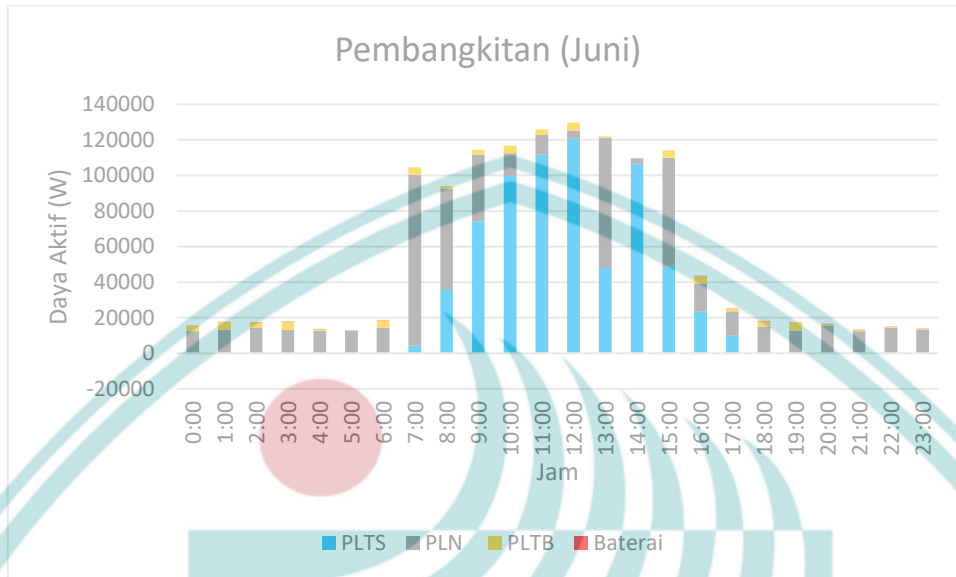
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Mei. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 12.00 WITA dan 16.00 WITA, terlihat bahwa produksi PLTS melebihi beban sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 7 sampai 16 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 16.00 WITA. Gambar 4.20 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 14.00 WITA.

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 4.21. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Juni

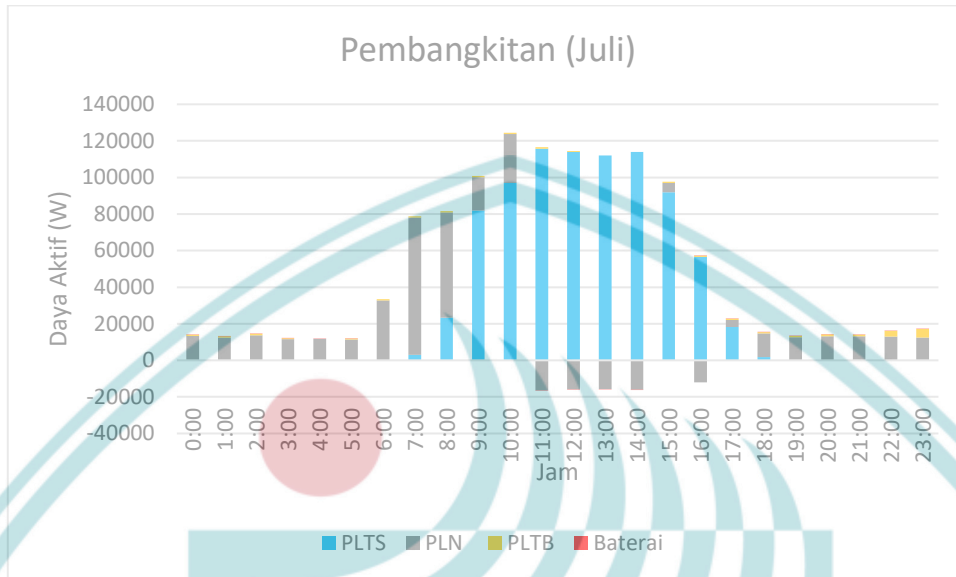
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Juni. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS.

Pada pukul 7 sampai 15 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 15.00 WITA. Gambar 4.21 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 13.00 WITA.

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 4.22. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Juli

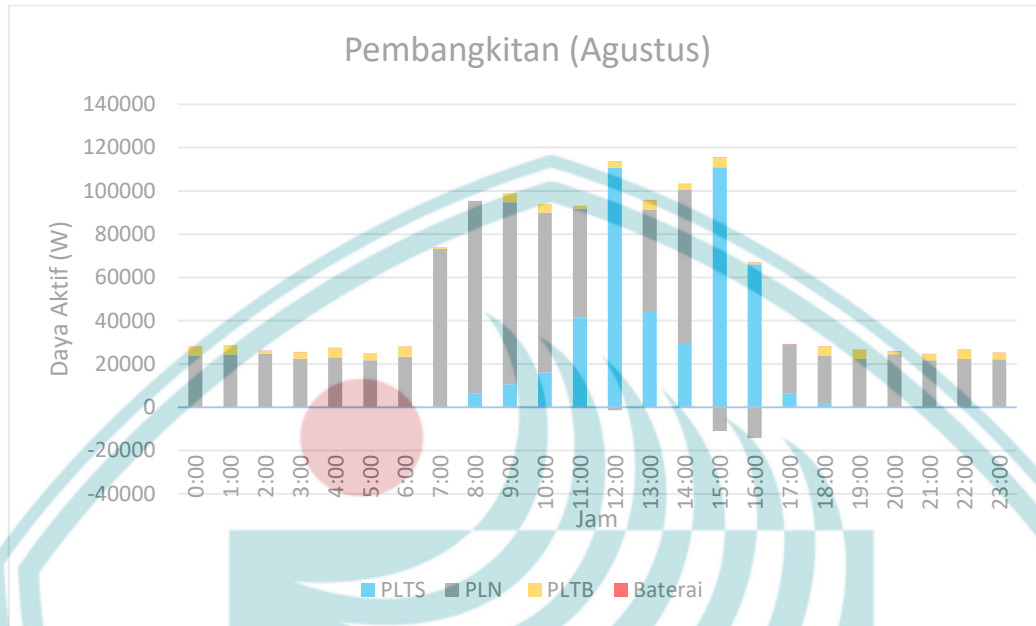
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Juli. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 11.00 WITA sampai 14.00 WITA dan 16.00 WITA, terlihat bahwa produksi PLTS melebihi beban sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 6 sampai dengan 15 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 6.00 WITA sampai dengan 15.00 WITA. Gambar 4.22 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 10.00 WITA.

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 4.23. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Agustus

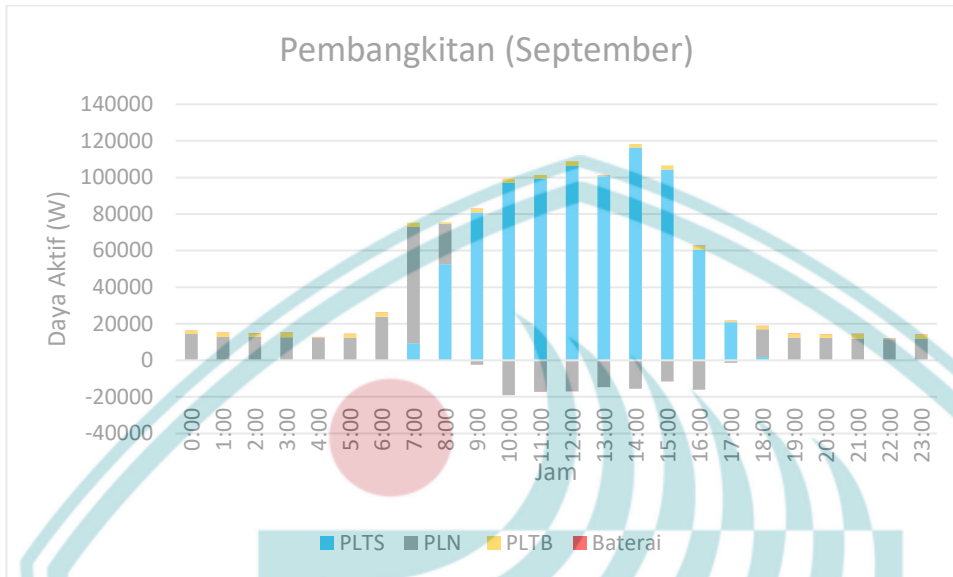
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Agustus. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 15.00 WITA sampai 16.00 WITA terlihat bahwa produksi PLTS melebihi beban sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 7 sampai dengan 12 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 7.00 WITA sampai dengan 12.00 WITA. Gambar 4.22 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 12.00 WITA.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.24. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan September

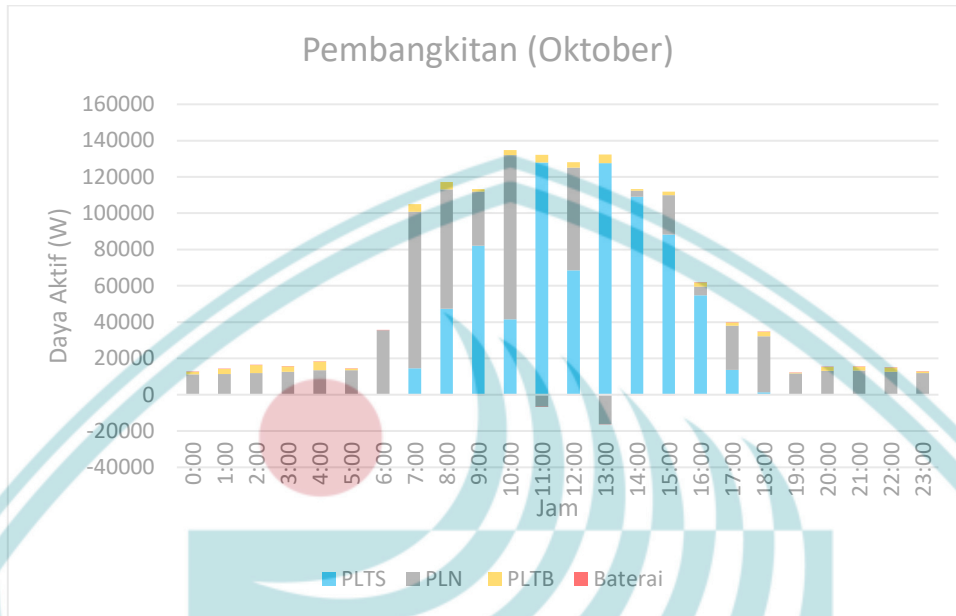
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan September. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 09.00 WITA sampai 17.00 WITA, terlihat bahwa produksi PLTS melebihi beban sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 7 sampai dengan 12 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 07.00 WITA sampai dengan 12.00 WITA. Gambar 4.24 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 14.00 WITA.

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 4.25. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Oktober

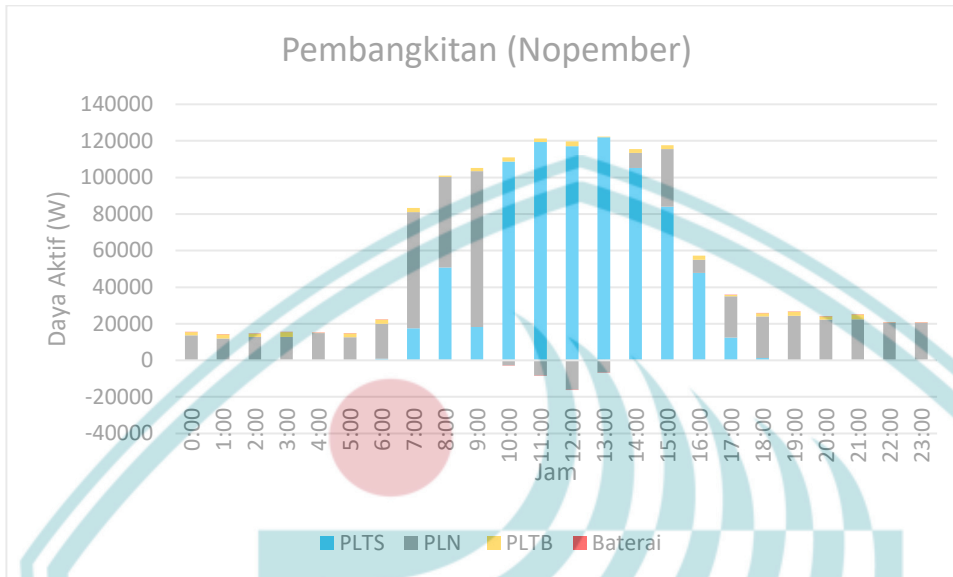
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Oktober. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 11.00 WITA sampai 13.00 WITA, terlihat bahwa produksi PLTS melebihi beban sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 7 sampai dengan 15 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 07.00 WITA sampai dengan 15.00 WITA. Gambar 4.25 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 10.00 WITA.

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 4.26. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan November

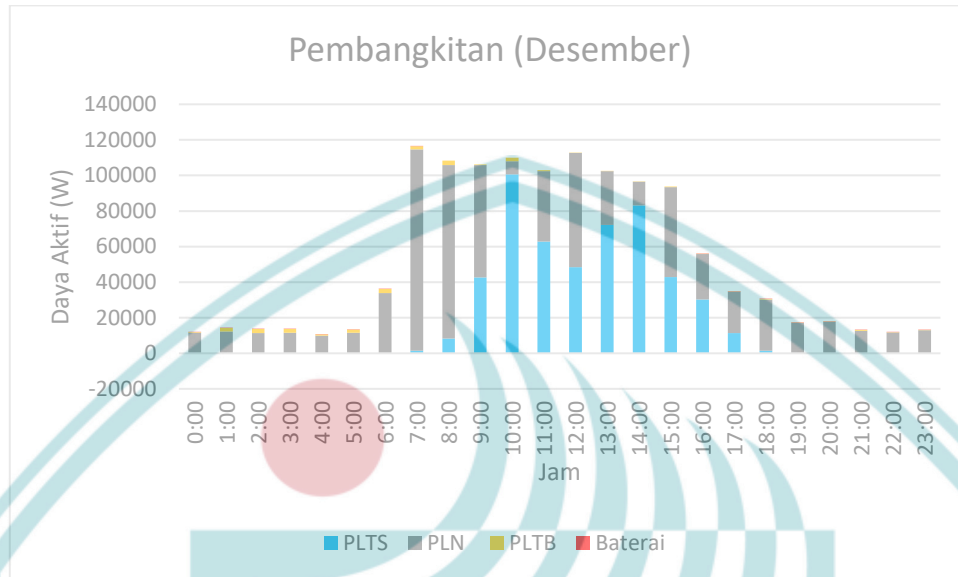
Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan November. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS. Pada pukul 10.00 WITA sampai 13.00 WITA, terlihat bahwa produksi PLTS melebihi beban sehingga ada daya PLTS yang diekspor keluar dari *microgrid*.

Pada pukul 7 sampai dengan 16 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 07.00 WITA sampai dengan 16.00 WITA. Gambar 4.26 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 15.00 WITA.

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 4.27. Pembangkitan untuk Gedung 1,3 dan 5 pada Bulan Desember

Gambar di atas memperlihatkan pembangkitan pada setiap jenis pembangkit yang ada pada *microgrid* di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali pada Bulan Desember. Warna biru memperlihatkan keluaran daya aktif PLTS, warna abu-abu memperlihatkan daya listrik dari jaringan PLN, warna oranye merupakan keluaran daya aktif dari PLTB dan warna merah adalah keluaran baterai.

Pada saat PLTS belum mengeluarkan daya, beban hampir semuanya dipasok oleh PLN, PLTB dan baterai. Dari PLTB dan baterai secara komposisi sangat kecil dibandingkan PLN. Pada saat siang hari suplai dari PLN digantikan oleh PLTS.

Pada pukul 9 sampai dengan 15 selain untuk menyuplai beban, PLTS juga mengisi baterai, hal ini terlihat pada garis merah dari pukul 07.00 WITA sampai dengan 16.00 WITA. Gambar 4.27 juga menggambarkan bahwa beban paling tinggi pada pukul 07.00 WITA.

Dari grafik pembangkitan mulai dari Bulan Januari sampai dengan Desember seperti yang telah dijabarkan di atas terlihat bahwa kontribusi baterai dan PLTB tidak terlalu signifikan untuk pemenuhan listrik *microgrid* sehingga masih perlu dioptimasi dengan mengurangi jumlah unit baterai dan kapasitas PLTB.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.4. Simulasi Penentuan Kombinasi Optimal

Dalam melakukan simulasi untuk menentukan kombinasi optimal dalam penelitian ini ada beberapa asumsi yang dipakai, seperti terlihat pada tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2. Asumsi yang digunakan dalam simulasi

<u>Asumsi</u>	<u>Nilai</u>	<u>Satuan</u>
Umur Proyek	25	tahun
Suku Bunga	8	%
Inflasi	2	%
Asumsi Prosentase EBT	0 s.d.100	%
Kenaikan Tarif Dasar Listrik	3	%
Umur Baterai	20	tahun
Umur Panel Surya	25	tahun
Umur Inverter	15	tahun
Umur Genset	60000	jam
Umur PLTB	20	tahun
Umur Controller	25	tahun
Harga BBM	9500	Rp

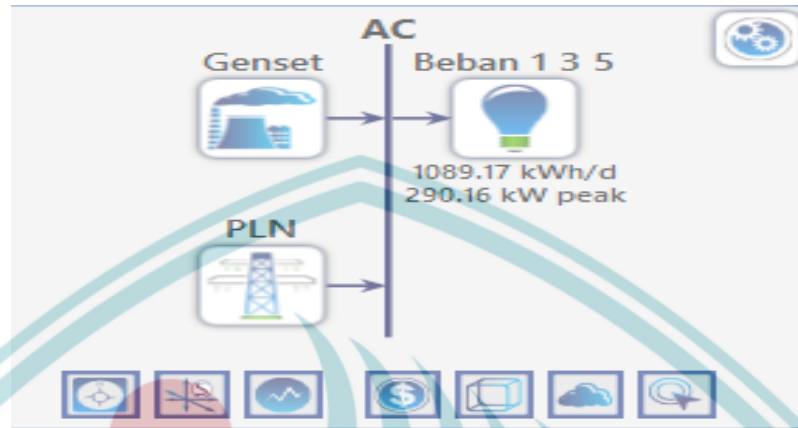
Untuk menentukan konfigurasi dari kombinasi pembangkit yang optimal maka dilakukan simulasi dalam 4 skenario yaitu:

1. Skenario 1

Skenario 1 adalah kondisi di Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali sebelum diterapkan *microgrid*, yang terdiri dari listrik dari PLN sebesar 555 kVA dan PLTD sebesar 250 kW dengan NPC Rp. 8.300.063.000,00 dan LCOE Rp. 1.615,02/kWh dan biaya operasi sebesar Rp. 605.412.500.00. Skenario 1 sebagaimana terlihat di gambar 4.16

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.28. Konfigurasi Skenario 1

Gambar 4.28 memperlihatkan produksi listrik dari PLN dan PLTD sepanjang tahun. Terlihat bahwa PLTD beroperasi di Bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November di saat terjadi pemadaman terencana listrik PLN.

Dari skenario 1 ini didapatkan informasi biaya secara keseluruhan seperti diperlihatkan gambar 4.28.



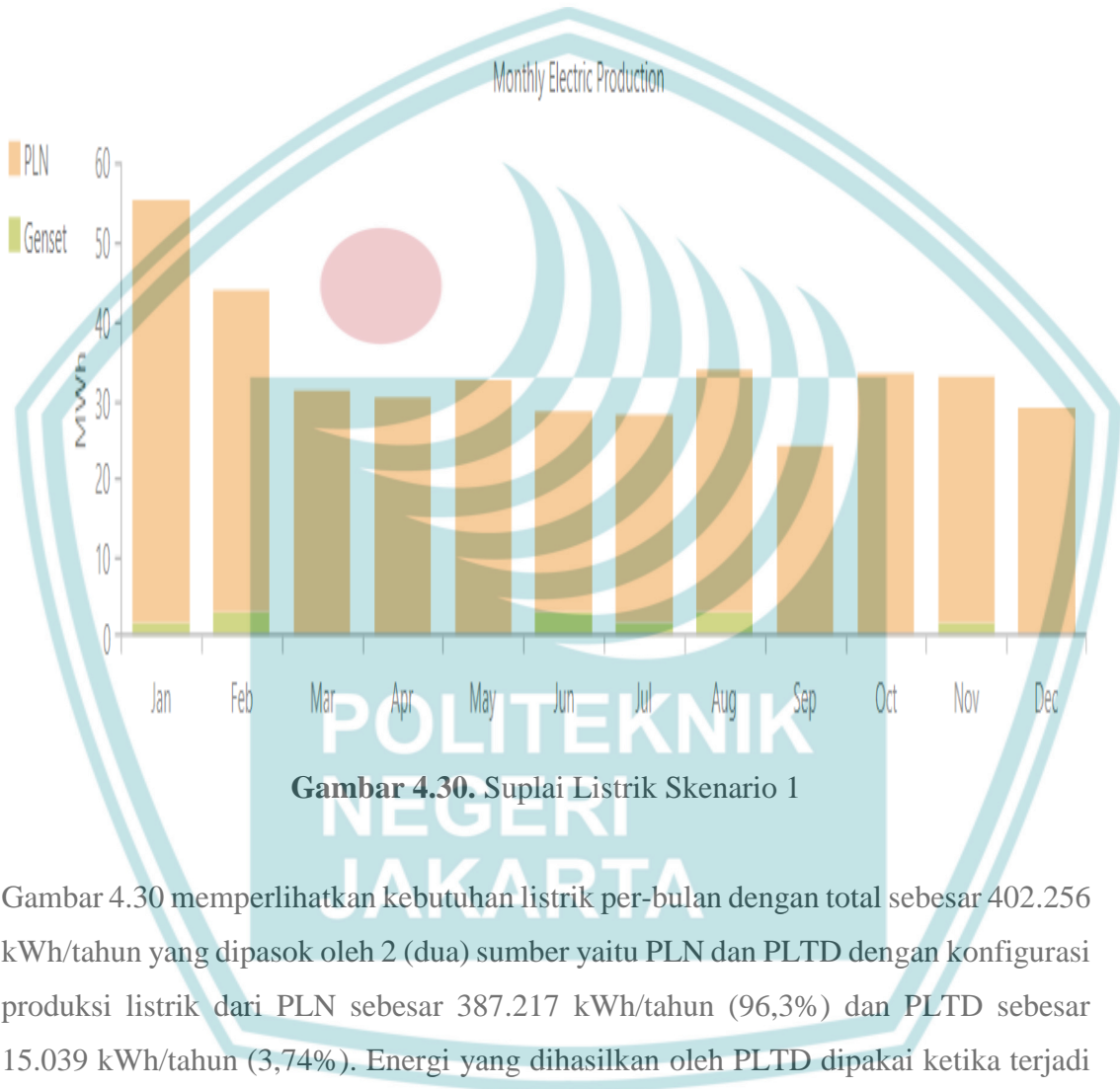
Gambar 4.29. Biaya keseluruhan pada Skenario 1

Dari gambar 4.29 tersebut terlihat bahwa biaya pemakaian energi dari PLN sebesar Rp. 7.231.817.235,88, sedangkan untuk PLTD biaya yang dibutuhkan untuk bahan bakar Rp. 535.766.327,54 dan pemeliharaan sebesar Rp. 163.791.634,67.

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.30 memperlihatkan pemenuhan kebutuhan listrik Kawasan Perkantoran Gubernur Bali Gedung 1,3 dan 5:

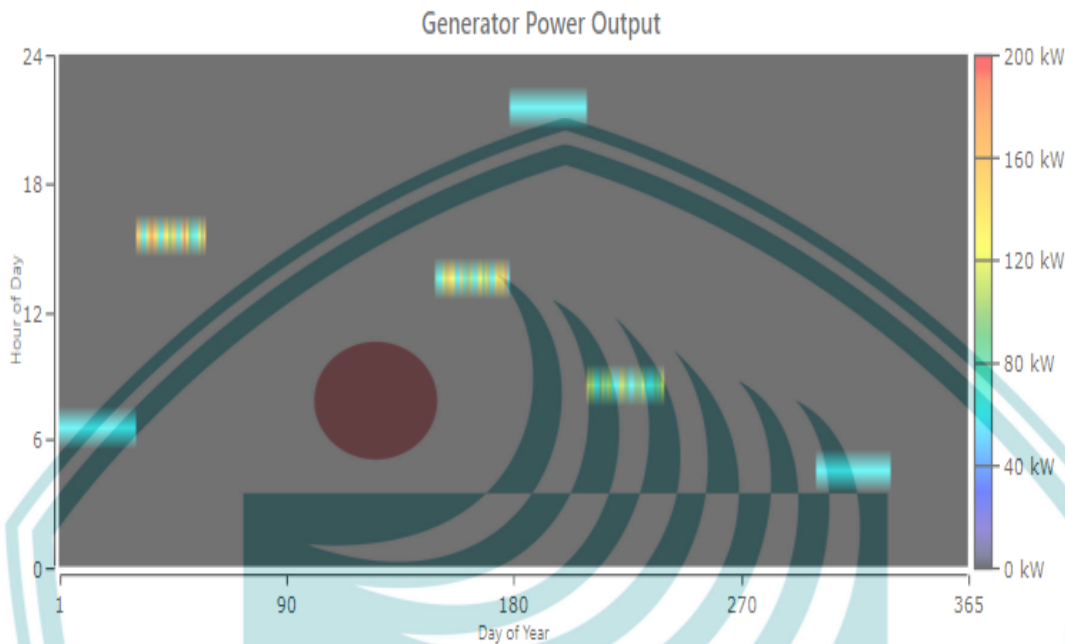


Gambar 4.30. Suplai Listrik Skenario 1

Gambar 4.30 memperlihatkan kebutuhan listrik per-bulan dengan total sebesar 402.256 kWh/tahun yang dipasok oleh 2 (dua) sumber yaitu PLN dan PLTD dengan konfigurasi produksi listrik dari PLN sebesar 387.217 kWh/tahun (96,3%) dan PLTD sebesar 15.039 kWh/tahun (3,74%). Energi yang dihasilkan oleh PLTD dipakai ketika terjadi pemadaman listrik.

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 4.31. Daya Keluaran PLTD

Gambar 4.31 memperlihatkan daya keluaran PLTD selama terjadi pemadaman yaitu bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November dengan total sebesar 15.039 kWh/tahun, dimana PLTD beroperasi total selama 181 jam/tahun dengan *capacity factor* 0.687%, biaya Rp. 168.127/jam atau Rp 1.670/kWh. Konsumsi bahan bakar selama setahun operasi adalah 4.363 liter, dengan SFC 0,290 liter/kWh.

2. Skenario 2

Skenario 2 adalah Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali setelah diterapkan *microgrid*, yang terdiri dari listrik PLN sebesar 555 kVA, PLTD sebesar 250 kW, PLTB kapasitas 10 x 1 kW, PLTS kapasitas 158 kWp dan baterai sebanyak 216 unit spesifikasi 2 Volt 500 Ah, yang dilakukan simulasi dengan HOMER didapatkan NPC Rp. 16.615.000.000 dan LCOE Rp. 2.833,75/kWh. Biaya awal pembangunan *Microgrid* sebesar Rp. 11.281.197.538 dengan rincian sebagaimana tabel 4.3

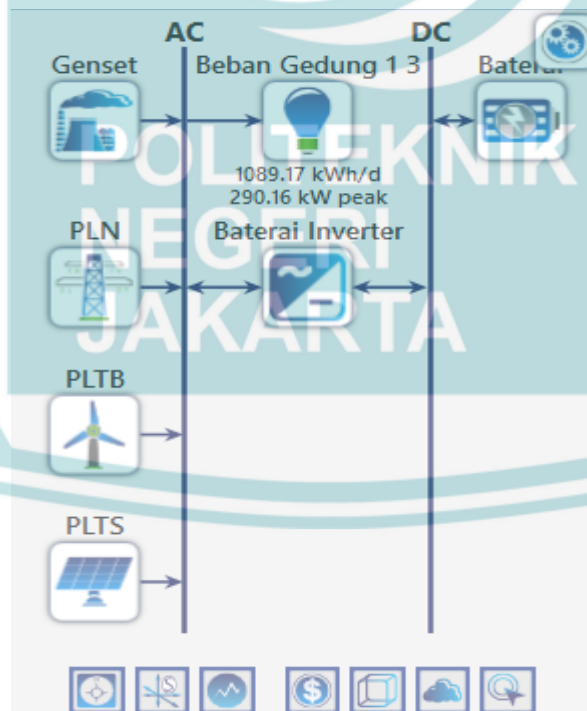
Hak Cipta :

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

Tabel 4.3. Rincian Komponen *Microgrid* Skenario 2

Komponen	Biaya (Rupiah)
Baterai	619.999.920
Baterai Inverter	1.660.639.752
PLTD	473.581.414
<i>Microgrid Controller</i>	3.855.000.000
PLTB	600.000.000
PLTS	3.291.976.452
PLTS <i>Dedicated Converter</i>	780.000.000

Skenario 2 sebagaimana terlihat di gambar 4.19

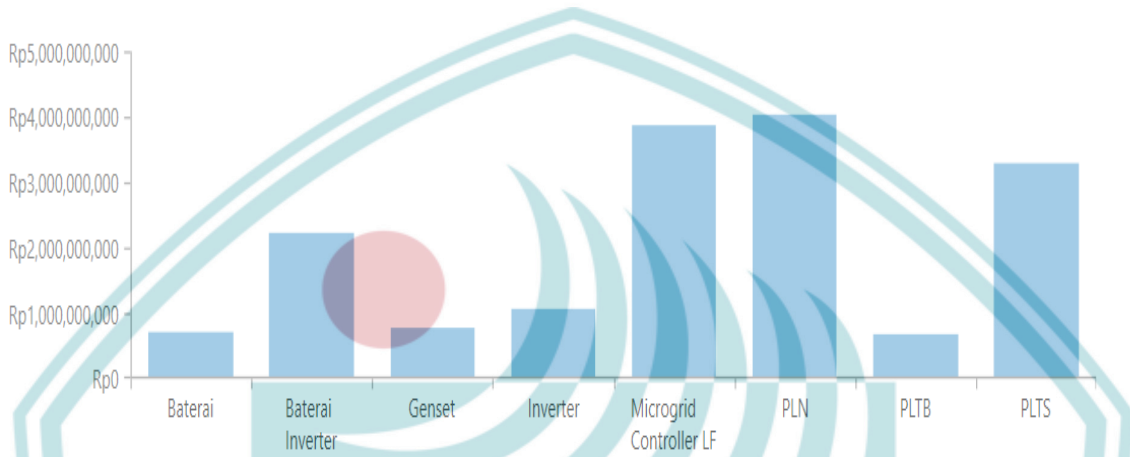


Gambar 4.32. Konfigurasi skenario 2

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dari skenario 2 ini didapatkan informasi biaya secara keseluruhan seperti diperlihatkan gambar 4.33 di bawah ini:



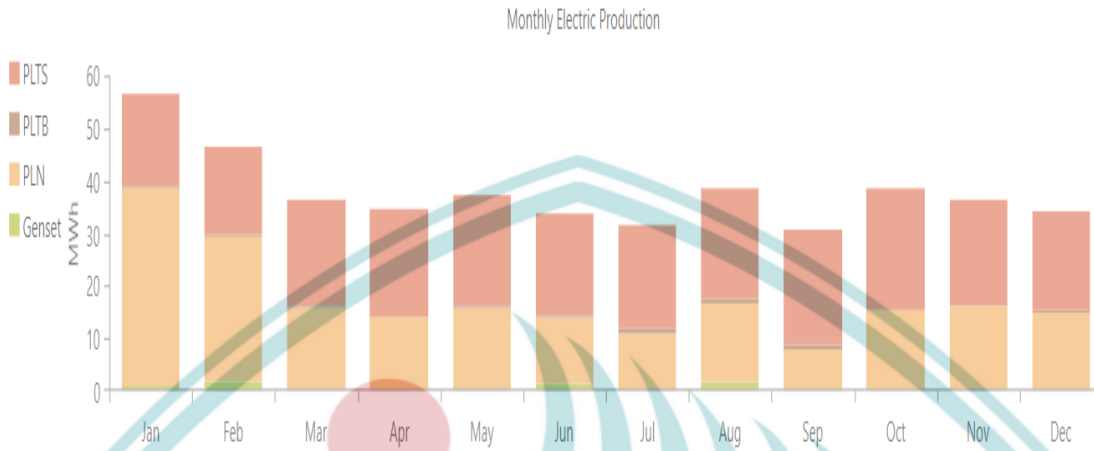
Gambar 4.33. Biaya masing-masing komponen pada Skenario 2

Pada skenario 2, biaya pemakaian energi dari PLN sebesar Rp. 4.036.361.203 sedangkan untuk PLTD biaya yang dibutuhkan untuk bahan bakar Rp. 318.546.544,77 dan pemeliharaan sebesar Rp. 77.901.512.

Gambar 4.34 di bawah ini menggambarkan pemenuhan kebutuhan listrik Kawasan Perkantoran Gubernur Bali Gedung 1,3 dan 5 dan juga memperlihatkan produksi listrik dari PLN, PLTS dan PLTD sepanjang tahun. Terlihat bahwa PLTD beroperasi di Bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November di saat terjadi pemadaman terencana listrik PLN.

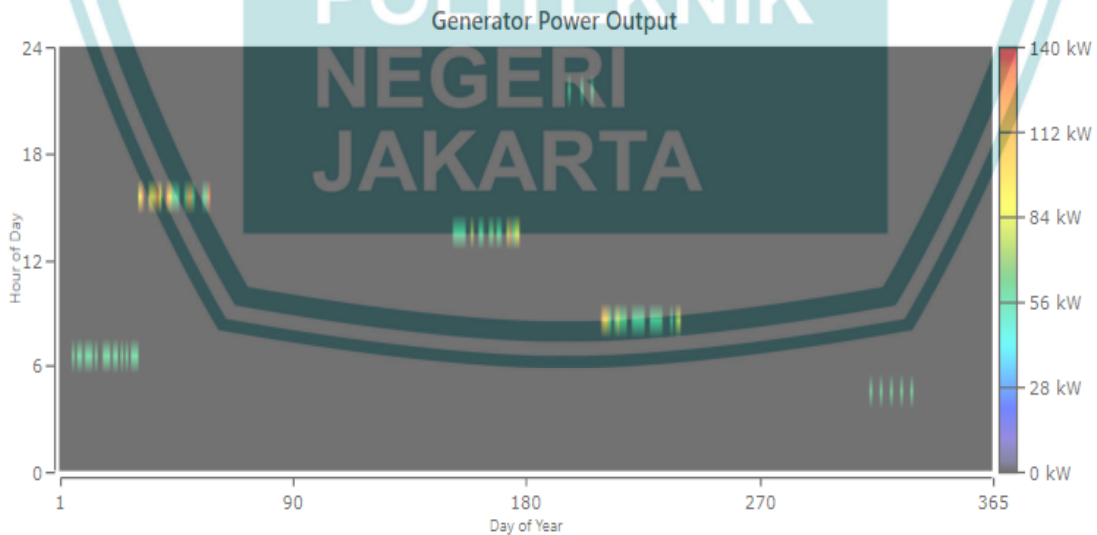
Hak Cipta :

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.34. Suplai listrik Skenario 2

Pada skenario 2, kebutuhan listrik sebesar 402.256 kWh/tahun yang dipasok oleh 4 (empat) sumber yaitu PLTS sebesar 240.781 kWh/tahun (52,9%), PLTD 6.201 kWh/tahun (1,36%), PLTB sebesar 4.629 kWh/tahun (1,02%) dan PLN sebesar 203.437 kWh/tahun (44,7%). Energi yang dihasilkan oleh PLTD dipakai ketika terjadi pemadaman listrik pada bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November.



Gambar 4.35. Daya keluaran PLTD pada Skenario 2

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.35 memperlihatkan daya keluaran PLTD selama terjadi pemadaman yaitu bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November dengan total jumlah konsumsi bahan bakar PLTD sebesar 1.878 liter/tahun, produksi 6.201 kWh/tahun yang beroperasi selama 83 jam/tahun, *capacity factor* 0,283%, biaya Rp. 1.670 /kWh dengan SFC 0,303 liter/kWh.

3. Skenario 3

Skenario 3 adalah Gedung 1, 3 dan 5 Kawasan Perkantoran Gubernur Bali setelah diterapkan *microgrid*, yang terdiri dari listrik dari PLN sebesar 555 kVA, PLTD sebesar 250 kW, PLTB kapasitas 3x 1 kW, PLTS kapasitas 224 kWp yang dioptimasi untuk menentukan konfigurasi yang optimal sehingga didapatkan NPC sebesar Rp. 11.873.530.000, LCOE sebesar Rp. 1.813,09/kWh dan biaya pengoperasian sebesar Rp. 141.954.600. Investasi awal pembangunan *microgrid* sebesar Rp. 10.038.405.706,58 dengan rincian sebagaimana terlihat pada tabel 4.4

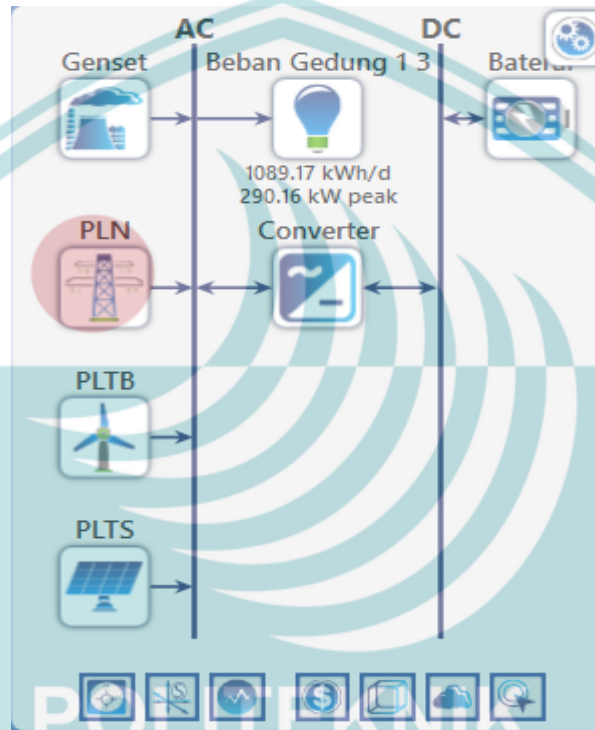
Tabel 4.4. Rincian Komponen *Microgrid* Skenario 3

Komponen	Biaya (Rupiah)
Baterai	68.888.880
Baterai Inverter	8.729.250,24
PLTD	473.581.414
<i>Microgrid Controller</i>	3.855.000.000
PLTB	180.000.000
PLTS	4.672.206.162,34
PLTS <i>Dedicated Converter</i>	780.000.000

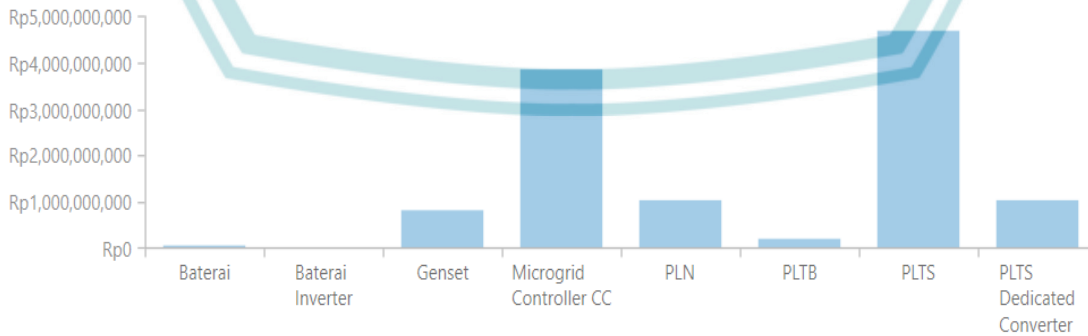
Hak Cipta :

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Skenario 3 ditunjukkan oleh gambar 4.36



Gambar 4.36. Konfigurasi skenario 3

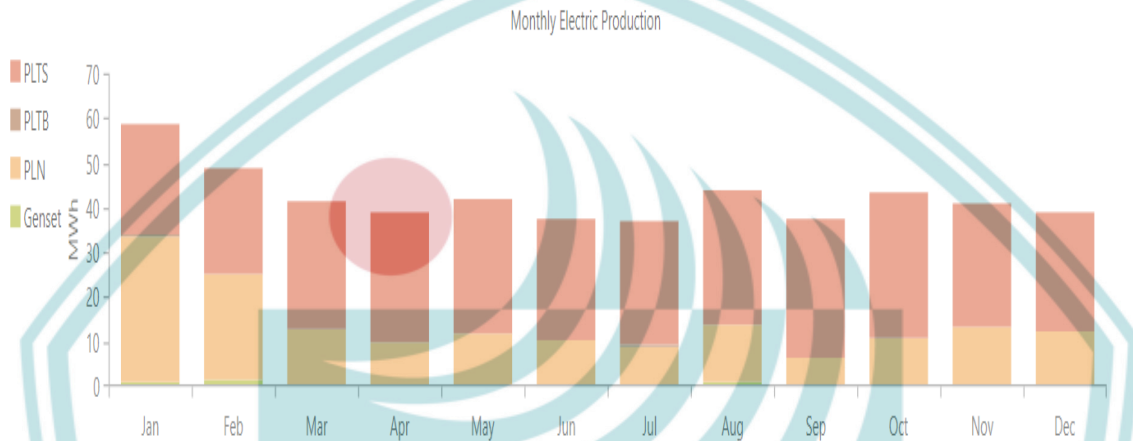


Gambar 4.37. Biaya masing-masing komponen pada skenario 3

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

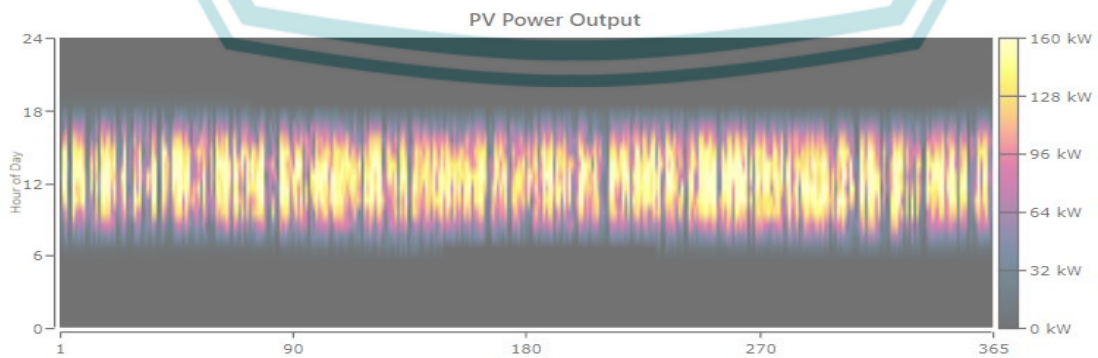
Dari gambar 4.38 tersebut terlihat bahwa biaya pemakaian energi dari PLN sebesar Rp. 1.031.703.998,42 sedangkan untuk PLTD biaya yang dibutuhkan untuk bahan bakar Rp. 300.366.520 dan pemeliharaan sebesar Rp. 155.647.299,24.



Gambar 4.38. Suplai listrik pada skenario 3

Pada skenario 3, kebutuhan listrik sebesar 508.736 kWh/tahun yang dipasok oleh 4 (empat) sumber yaitu PLTS sebesar 338.457 kWh/tahun (66,5%), PLTD 4.620 kWh/tahun (0,908%), PLTB sebesar 1,389 kWh/tahun (0,273%) dan PLN sebesar 164.271 kWh/tahun (32,2%). Energi yang dihasilkan oleh PLTD dipakai ketika terjadi pemadaman listrik.

Hasil simulasi optimasi untuk PLTS diperlihatkan pada gambar 4.39



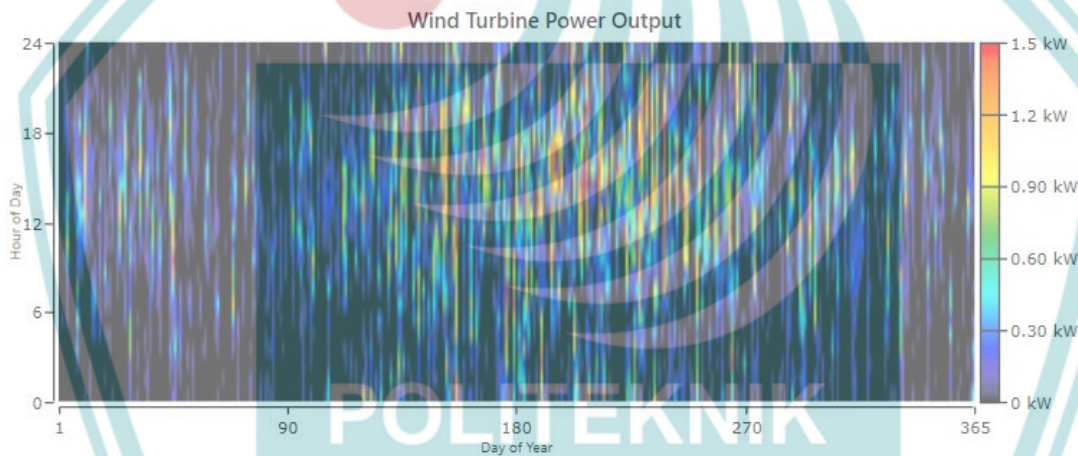
Gambar 4.39 Optimasi PLTS pada skenario 3

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 4.39 memperlihatkan keluaran PLTS per hari selama setahun. Degradasi warna semakin cerah pada sumbu vertikal kanan memperlihatkan semakin besar keluaran dari PLTS. Pada skenario 3, untuk PLTS kapasitas 224 kW maksimal keluaran daya sebesar 160 kW, penetrasi PLTS 85,1%, beroperasi 4.386 jam/tahun dengan *levelized cost* sebesar Rp. 1.308/kWh, *capacity factor* 17,2% dengan total produksi 338.457 kWh/tahun.

Hasil simulasi optimasi untuk PLTB diperlihatkan pada gambar 4.40



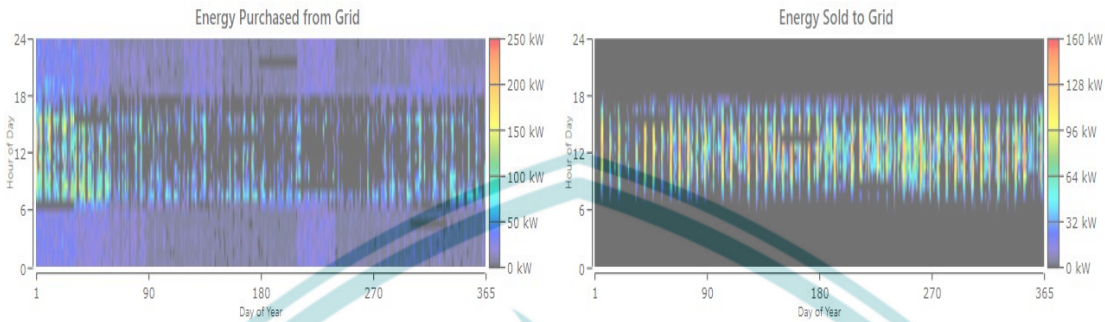
Gambar 4.40 Optimasi PLTB pada skenario 3

Gambar 4.40 memperlihatkan keluaran PLTB per hari selama setahun. Degradasi warna semakin cerah pada sumbu vertikal kanan memperlihatkan semakin besar keluaran dari PLTB. Pada skenario 3, untuk PLTB kapasitas 3 kW maksimal keluaran daya sebesar 1,50 kW, penetrasi PLTB 0,349%, beroperasi 6.290 jam/tahun dengan *levelized cost* sebesar Rp. 11.422/kWh, *capacity factor* 5,28% dengan total produksi 1.389 kWh/tahun.

Hasil simulasi optimasi pemakaian listrik PLN diperlihatkan pada gambar 4.41

Hak Cipta :

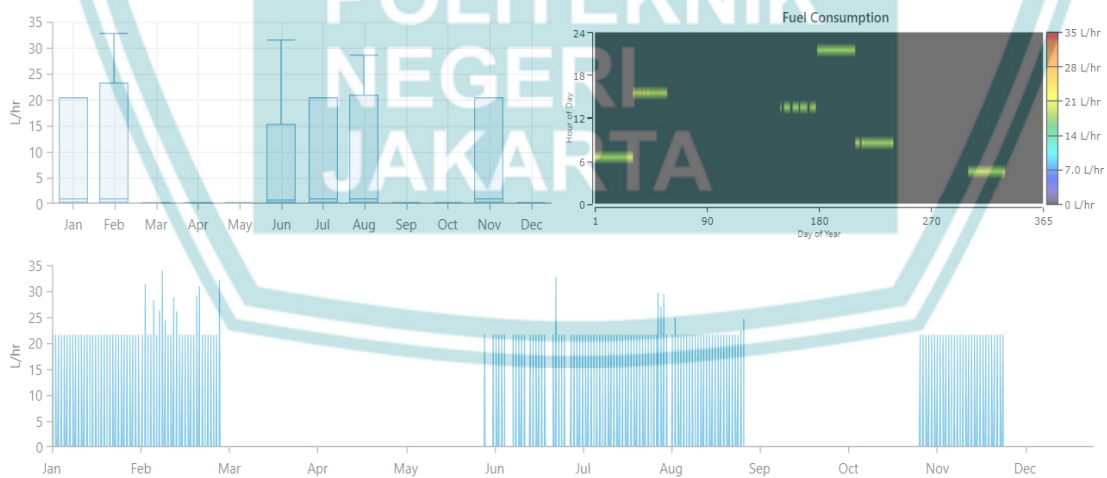
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 4.41 Optimasi Pemakaian listrik PLN pada skenario 3

Gambar 4.41 memperlihatkan energi yang diserap dari PLN dan energi yang berpotensi masuk ke jaringan PLN. Sumbu vertikal kiri adalah pemakaian daya listrik dalam satuan jam/hari. Sumbu vertikal kiri adalah degradasi warna jumlah daya listrik yang terpakai. Pada skenario 3, energi dari PLN sebesar 164.271 kWh/tahun, suplai dari *microgrid* sebesar 109.030 kWh/tahun, sehingga energi yang diserap dari PLN hanya sebesar 55.241 kWh/tahun, dengan beban puncak 239 kW.

Hasil simulasi optimasi untuk PLTD diperlihatkan pada gambar 4.42



Gambar 4.42 Optimasi PLTD pada skenario 3

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.42 memperlihatkan daya keluaran PLTD selama terjadi pemadaman yaitu bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November dengan total jumlah konsumsi bahan bakar PLTD sebesar 2.446 liter/tahun, produksi 4620 kWh/tahun yang beroperasi selama 172 jam/tahun, *capacity factor* 0,211%, biaya Rp. 1.670 /kWh dengan SFC 0,529 liter/kWh.

4. Skenario 4

Skenario 4 adalah seluruh Gedung (Gedung 1 sampai dengan 6) pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali diterapkan *microgrid*, yang terdiri dari listrik dari PLN sebesar 555 kVA, PLTD sebesar 2 x 250 kW, PLTB kapasitas 10 x 1 kW, PLTS kapasitas 158 kWp sehingga didapatkan NPC sebesar Rp. 35.094.130.000, LCOE sebesar Rp. 1.893,23/kWh dan biaya pengoperasian sebesar Rp. 1.805.401.000. Investasi awal pembangunan *microgrid* sebesar Rp. 11.754.778.952, dengan rincian sebagaimana terlihat pada tabel 4.5

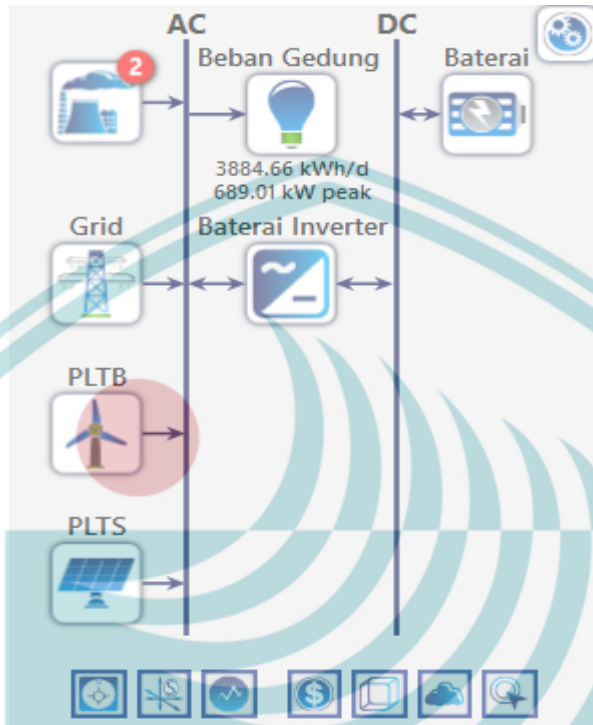
Tabel 4.5. Rincian Komponen *Microgrid* Skenario 4

Komponen	Biaya (Rupiah)
Baterai	619.999.920
Baterai Inverter	1.660.639.752
PLTD 1	473.581.414
PLTD 2	473.581.414
<i>Microgrid Controller</i>	3.855.000.000
PLTB	600.000.000
PLTS	3.291.976.452
PLTS <i>Dedicated Converter</i>	780.000.000

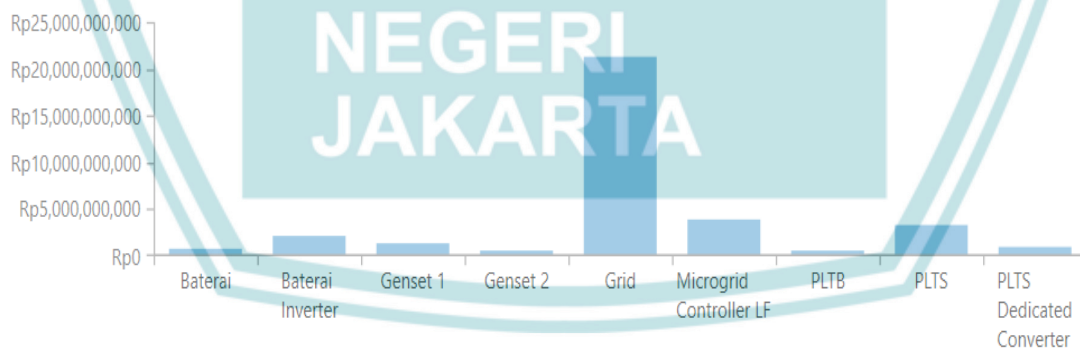
Konfigurasi skenario 4 ditunjukkan oleh gambar 4.43

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 4.43 Konfigurasi skenario 4



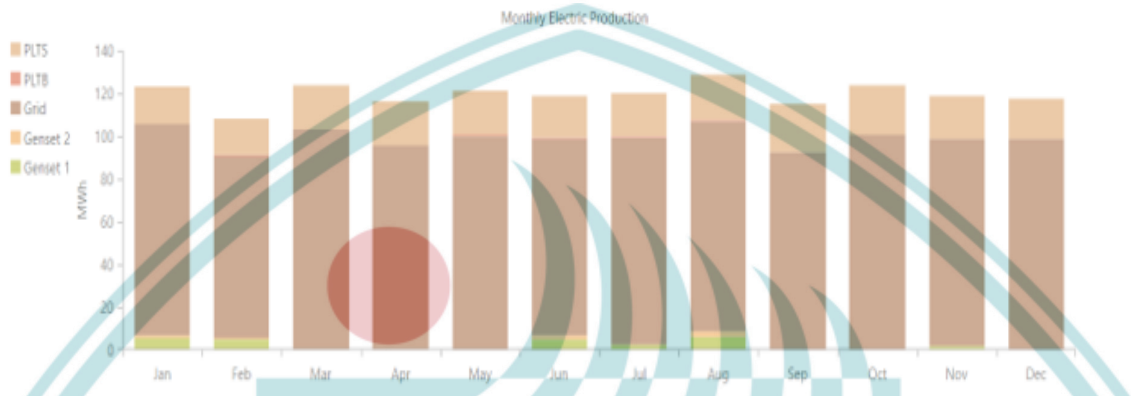
Gambar 4.44. Biaya masing-masing komponen pada skenario 4

Dari gambar 4.44 tersebut terlihat bahwa biaya pemakaian energi dari PLN sebesar Rp. 21.299.683.732,14 sedangkan untuk 2 (dua) PLTD masing-masing biaya yang

Hak Cipta :

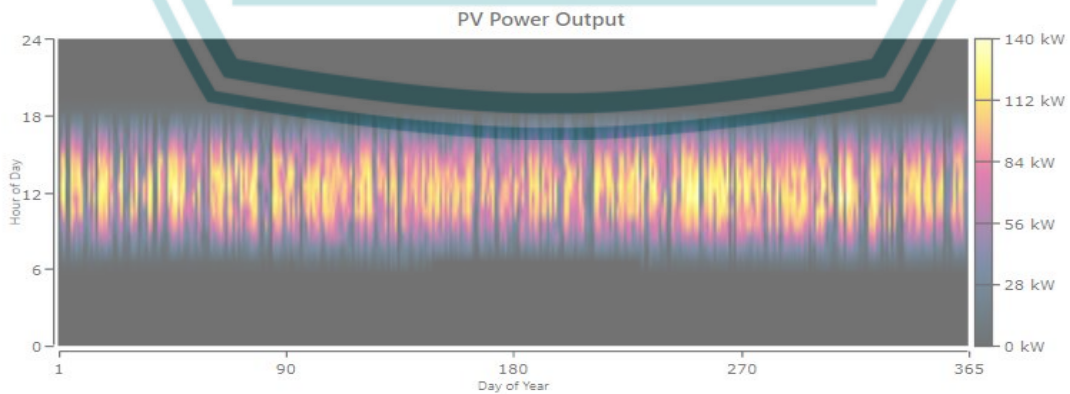
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

dibutuhkan untuk bahan bakar Rp. 796.950.869,35 dan Rp. 219.399.911,47 sedangkan biaya pemeliharaan masing-masing sebesar Rp. 171.935.970,09 dan Rp 57.915.274,14.



Gambar 4.45. Suplai listrik pada skenario 4

Gambar 4.45 memperlihatkan suplai listrik per bulan dari masing-masing jenis pembangkit. Pada skenario 4, kebutuhan listrik sebesar 1.435.121 kWh/tahun yang dipasok oleh 5 (empat) sumber yaitu PLTS sebesar 240,781 kWh/tahun (16,8%), PLTD 1 sebesar 26,652 kWh/tahun (1,86%), PLTD 2 sebesar 6,613 kWh/tahun (0,461%), PLTB sebesar 4,629 kWh/tahun (0,323%) dan PLN sebesar 1.156.447 kWh/tahun (80,6%). Energi yang dihasilkan oleh PLTD dipakai ketika terjadi pemadaman listrik. Hasil simulasi untuk PLTS pada skenario 4 diperlihatkan pada gambar 4.46



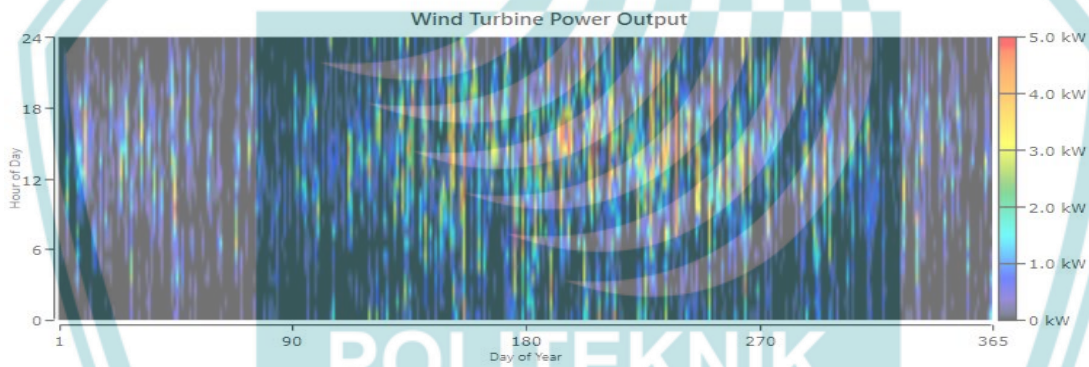
Gambar 4.46. PLTS pada skenario 4

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.46 memperlihatkan keluaran PLTS per hari selama setahun. Degradasi warna semakin cerah pada sumbu vertikal kanan memperlihatkan semakin besar keluaran dari PLTS. Pada skenario 4, untuk PLTS kapasitas 158 kW maksimal keluaran daya sebesar 27,5 kW, penetrasi PLTB 17%, beroperasi 4.386 jam/tahun dengan *levelized cost* sebesar Rp. 1.394/kWh, *capacity factor* 17,4% dengan total produksi 240.781 kWh/tahun.

Hasil simulasi PLTB pada skenario 4 diperlihatkan pada gambar 4.47



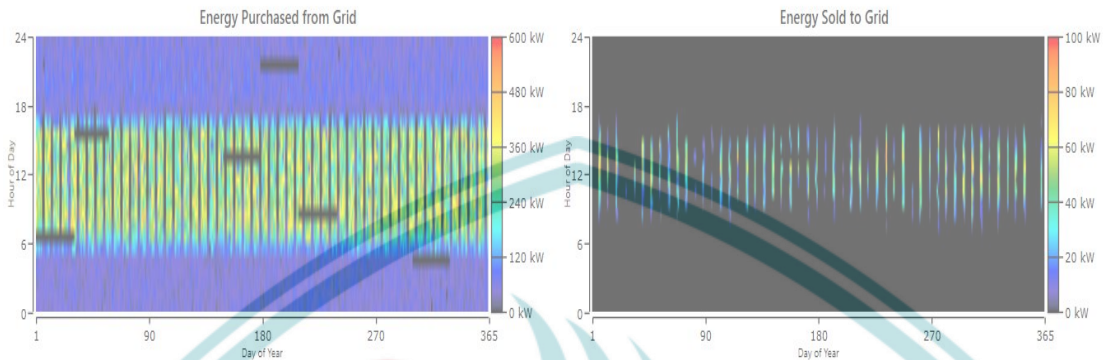
Gambar 4.47. PLTB pada skenario 4

Gambar 4.47 memperlihatkan keluaran PLTB per hari selama setahun. Degradasi warna semakin cerah pada sumbu vertikal kanan memperlihatkan semakin besar keluaran dari PLTB. Pada skenario 4, untuk PLTB kapasitas 10 kW maksimal keluaran daya sebesar 5 kW, penetrasi PLTB 0,326 %, beroperasi 6.290 jam/tahun dengan *levelized cost* sebesar Rp. 11.422/kWh, *capacity factor* 5,28% dengan total produksi 4.629 kWh/tahun.

Hasil simulasi pemakaian listrik PLN pada skenario 4 diperlihatkan pada gambar 4.48

Hak Cipta :

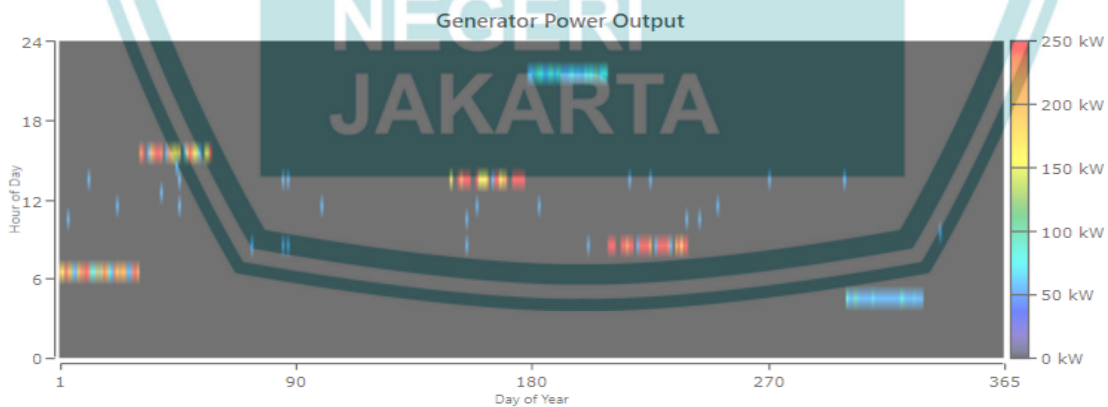
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 4.48. Pemakaian listrik PLN pada skenario 4

Gambar 4.48 memperlihatkan energi yang diserap dari PLN dan energi yang berpotensi masuk ke jaringan PLN. Sumbu vertikal kiri adalah pemakaian daya listrik dalam satuan jam/hari. Sumbu vertikal kiri adalah degradasi warna jumlah daya listrik yang terpakai. Pada skenario 4, energi dari PLN sebesar 1.156.447 kWh/tahun, suplai dari *microgrid* sebesar 15.986 kWh/tahun, sehingga energi yang diserap dari PLN hanya sebesar 1.140.461 kWh/tahun, dengan beban puncak 540 kW.

Hasil simulasi untuk PLTD 1 diperlihatkan pada gambar 4.49



Gambar 4.49 Pemakaian PLTD 1 pada skenario 4

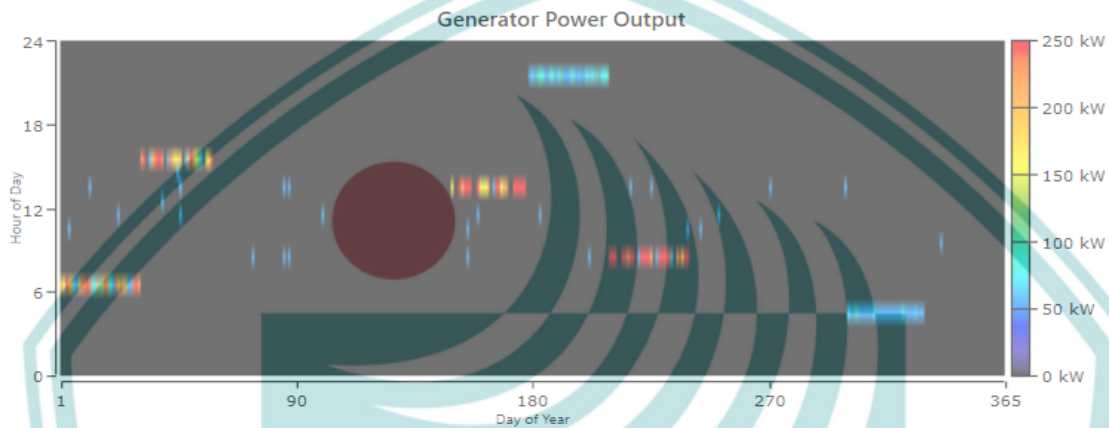
Gambar 4.49 memperlihatkan daya keluaran PLTD 1 selama terjadi pemadaman yaitu bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November dengan total jumlah konsumsi bahan bakar PLTD sebesar 6.489 liter/tahun, produksi 26.652 kWh/tahun

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

yang beroperasi selama 190 jam/tahun, *capacity factor* 1,22%, biaya Rp. 1.670 /kWh dengan SFC 0,243l liter/kWh.

Hasil simulasi untuk PLTD 2 diperlihatkan pada gambar 4.50



Gambar 4.50 Pemakaian PLTD 2 pada skenario 4

Gambar 4.50 memperlihatkan daya keluaran PLTD 2 selama terjadi pemadaman yaitu bulan Januari, Februari, Juni, Juli, Agustus dan November dengan total jumlah konsumsi bahan bakar PLTD sebesar 1.770 liter/tahun, produksi 6.613 kWh/tahun yang beroperasi selama 64 jam/tahun, *capacity factor* 0,302%, biaya Rp. 1.670 /kWh dengan SFC 0,268 liter/kWh.

4.1 Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi terhadap 4 skenario kondisi pemenuhan kebutuhan listrik di Kawasan Perkantoran Gubernur Bali, maka dilakukan analisa perbandingan terhadap skenario-skenario tersebut, yaitu:

1. Perbandingan skenario 1 dan 2 untuk melihat kelebihan dan kekurangan konsep penerapan *microgrid* terhadap listrik eksisting (tanpa *microgrid*);
2. Perbandingan scenario 2 dan 3 untuk melihat konfigurasi *microgrid* yang lebih optimal dibandingkan dengan *microgrid* yang terpasang. Kondisi optimal dengan memperhatikan nilai investasi, nilai NPC, nilai LCOE,

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

pemakaian BBM dan pemakaian listrik dari PLN serta komposisi EBT dalam sistem;

3. Perbandingan skenario 2 dan 4 untuk melihat apabila semua Gedung (Gedung 1 sampai dengan 6) pada Kawasan Perkantoran Gubernur Bali diterapkan *microgrid* akan lebih optimal dengan memperhatikan nilai investasi, nilai NPC, nilai LCOE dan pemakaian listrik dari PLN serta komposisi EBT dalam sistem dibandingkan dengan *microgrid* hanya pada sebagian Gedung (Gedung 1, 3 dan 5).

Di bawah ini akan dibahas perbandingan masing-masing skenario dengan analisa terhadap investasi awal, NPC, LCOE dan prosentase EBT pada sistem.

4.2.1. Perbandingan skenario 1 dan 2

Skenario 2 (kondisi dengan *microgrid* eksisting) dibandingkan dengan skenario 1 (kondisi tanpa *microgrid*) untuk Gedung 1,3 dan 5).

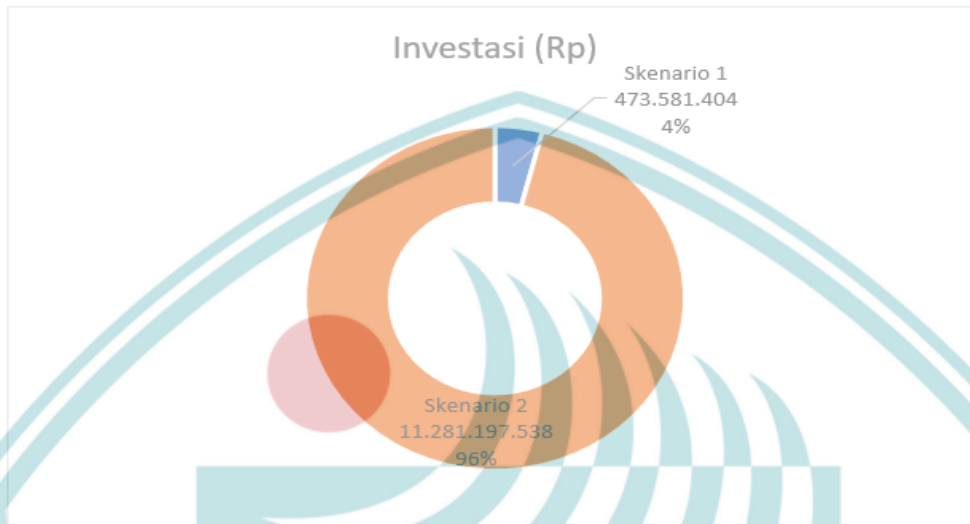
Tabel 4.6. Perbandingan Skenario 1 dan 2

SKENARIO	TEKNOLOGI
1 (Gedung. 1, 3, dan 5 tanpa <i>Microgrid</i>)	PLN PLTD 250 kW
2 (Gedung 1, 3 dan 5 dengan <i>Microgrid</i>)	PLN 555 kVA PLTD 250 kW PLTB 10x1 kW PLTS 158 kWp 216 unit baterai

Hak Cipta :

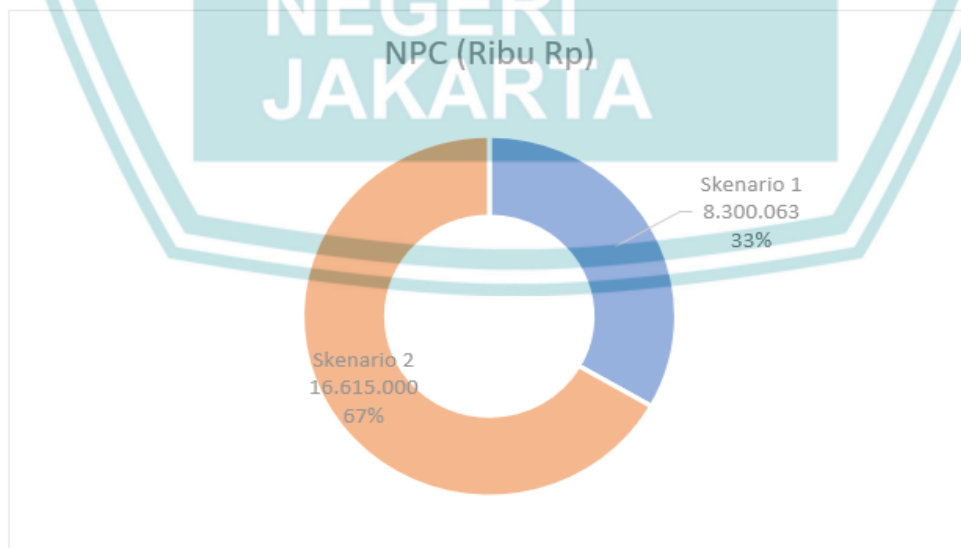
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Perbandingan biaya investasi awal skenario 1 dan 2:



Gambar 4.51 Perbandingan biaya investasi awal pada skenario 1 dan 2

Dari gambar 4.51 di atas dapat dilihat bahwa skenario 1 biaya investasi awal jauh lebih murah dibanding skenario 2. Hal ini dikarenakan pada skenario 2 ada biaya investasi awal untuk membangun *microgrid*, yang terdiri dari biaya PLTS, PLTB, Inverter, baterai dan lain-lain.

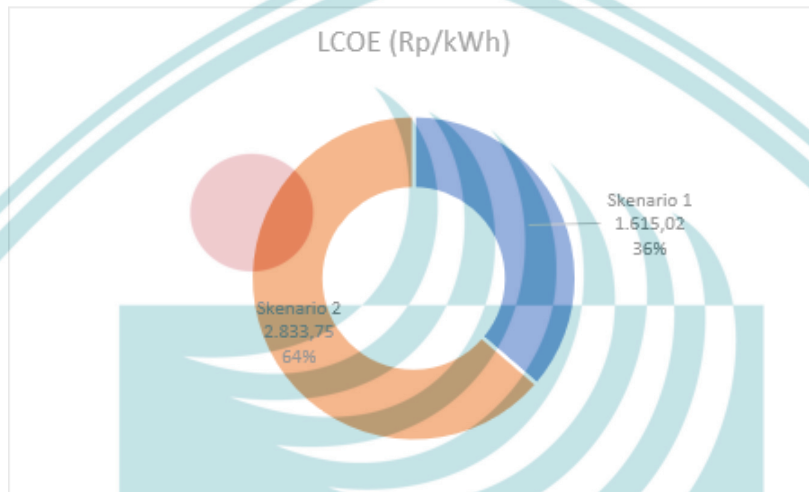


Gambar 4.52 Perbandingan NPC pada skenario 1 dan 2

Hak Cipta :

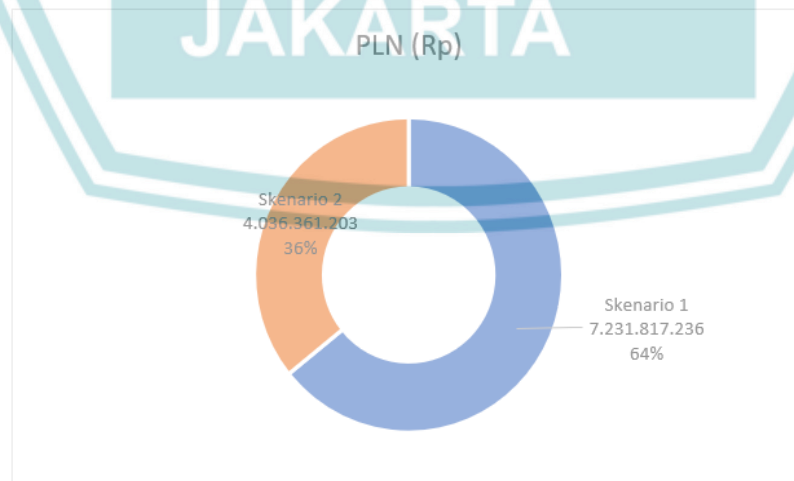
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Dari gambar 4.52 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 1 NPC lebih murah dibanding skenario 2. Hal ini dikarenakan pada skenario 2 sudah diterapkan *microgrid* yang membutuhkan biaya untuk membangun sistemnya dengan konfigurasi penambahan pembangkit EBT.



Gambar 4.53 Perbandingan LCOE pada skenario 1 dan 2

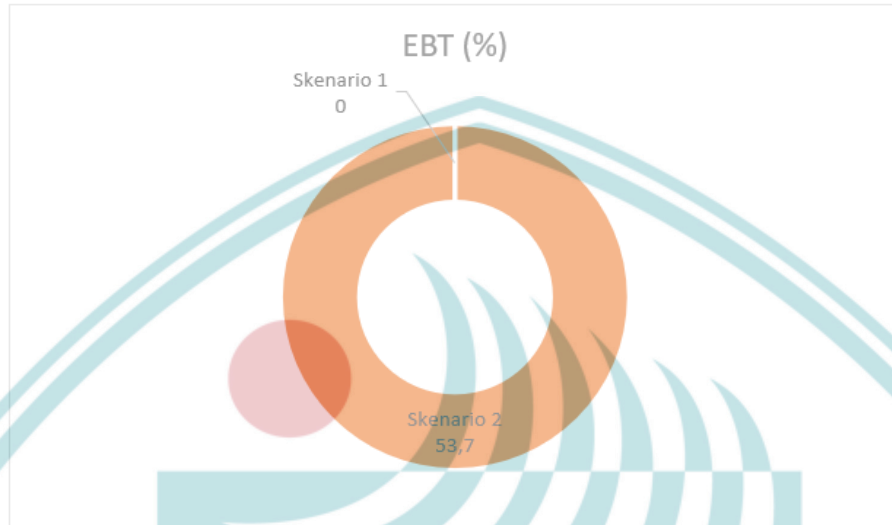
Dari gambar 4.53 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 1 LCOE lebih murah dibanding skenario 2. Tetapi di lain sisi ada biaya lain yang cukup besar dari skenario 1 ini yaitu biaya pemakaian listrik dari PLN seperti terlihat pada gambar 4.55



Gambar 4.54 Perbandingan pemakaian listrik pada PLN skenario 1 dan 2

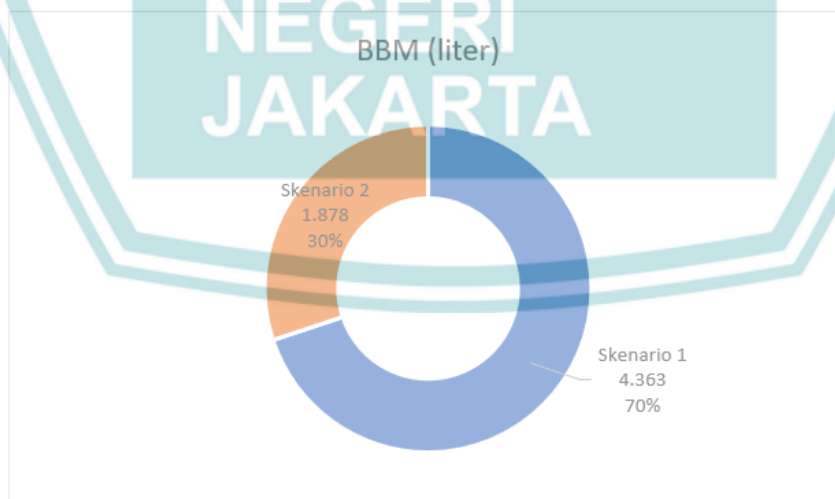
Hak Cipta :

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 4.55 Perbandingan prosentasi pembangkit EBT pada skenario 1 dan 2

Dari gambar 4.55 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 1 penetrasi EBT tidak ada karena pada skenario 1 hanya menggunakan listrik dari PLN dan PLTD. Skenario 2 jauh lebih baik dengan penetrasi EBT sebesar 53,7%



Gambar 4.56 Perbandingan pemakaian BBM pada skenario 1 dan 2



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

Dari gambar 4.56 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 1 pemakaian BBM jauh lebih besar dibandingkan pada skenario 2. Hal ini dikarenakan pada saat pemadaman listrik PLN, Gedung 1,3, dan 5 akan mengoperasikan PLTD secara penuh.

Berdasarkan analisa di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 1 yang menggunakan PLN dan PLTD, investasi awal diperlukan untuk pengadaan PLTD 250 kW sebesar Rp. 473.581.404, dengan NPC Rp. 8.300.063.000, LCOE Rp 2.833,75. Pada skenario 2 dengan konfigurasi PLN, PLTD, PLTB, PLTS dan baterai yang di-*microgrid*-kan, investasi awal Rp. 11.281.197.538, NPC Rp. 16.615.000.000 dan LCOE Rp. 2.833,75. Apabila dilihat dari gambar-gambar di atas NPC pada skenario 1 lebih rendah dari skenario 2, tetapi pemakaian listrik dari PLN lebih besar dari skenario 2 begitupun halnya dengan pemakaian BBM dan tidak ada penetrasi EBT pada skenario 1.

4.2.2. Perbandingan skenario 2 dan 3

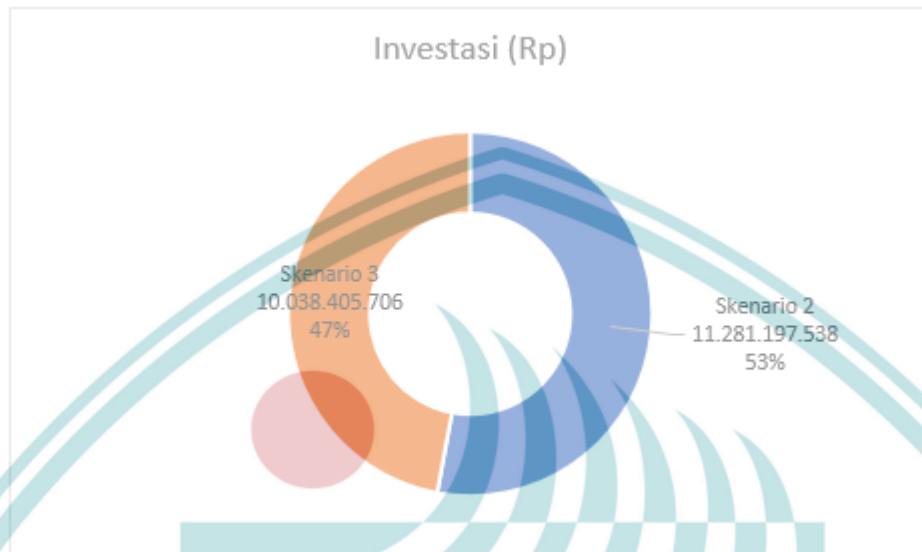
Tabel 4.7 Perbandingan skenario 2 dan 3

SKENARIO	TEKNOLOGI
2 (Gd. 1 3 5 dengan Microgrid)	PLN 555 kVA PLTD 250 kW PLTB 10x1 kW PLTS 158 kWp 216 unit baterai
3 (Gd. 1 3 5 dengan Microgrid dan dioptimasi)	PLN 555 kVA PLTD 250 kW PLTB 3x1 kW PLTS 224 kWp 24 unit baterai

Perbandingan biaya investasi awal skenario 2 dan 3:

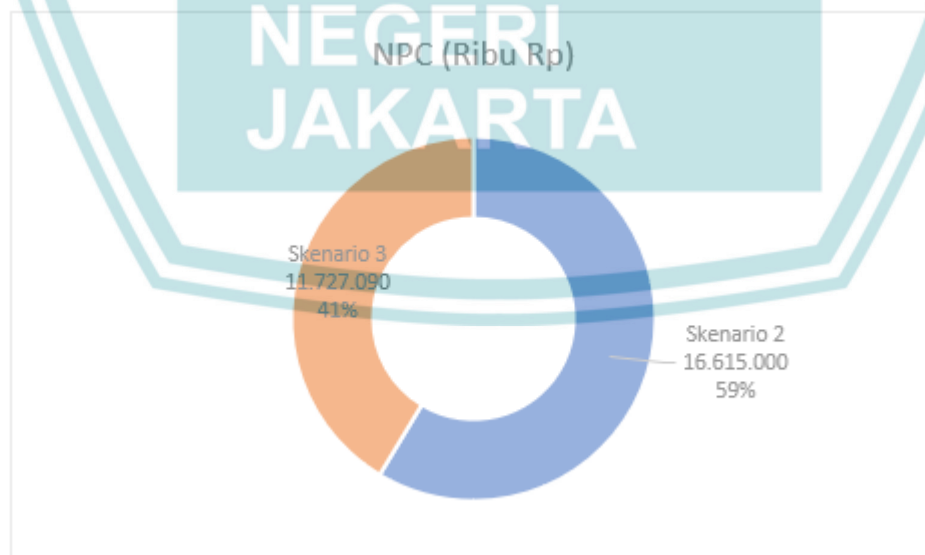
Hak Cipta :

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 4.57 Perbandingan biaya investasi awal pada skenario 2 dan 3

Dari gambar 4.57 di atas dapat dilihat bahwa skenario 3 biaya investasi awal lebih murah dibanding skenario 2. Hal ini dikarenakan pada skenario 3 jumlah baterai lebih sedikit di banding skenario 2. Dengan baterai sebanyak 24 unit sudah mampu menjaga sistem tetap nyala.

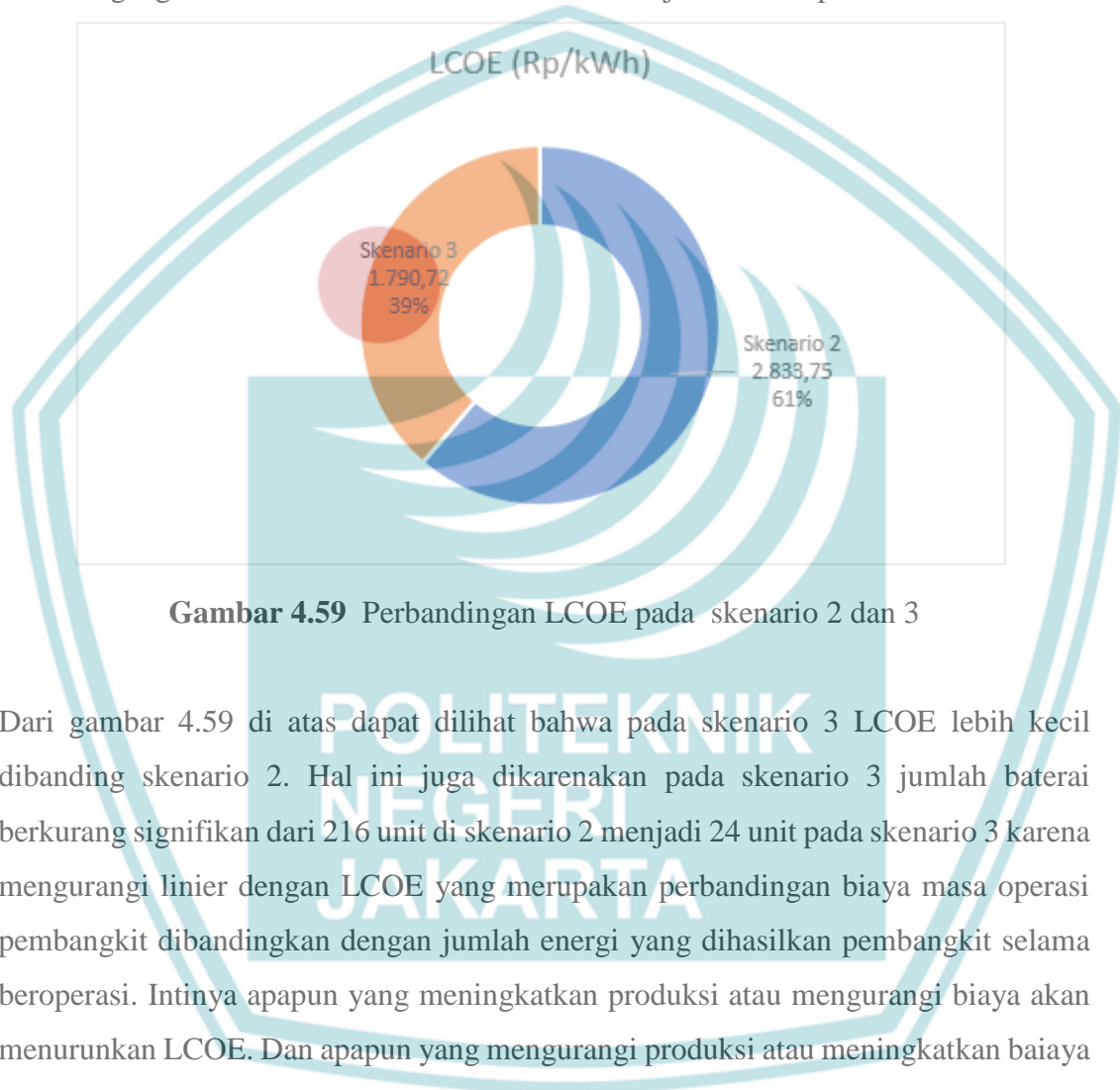


Gambar 4.58 Perbandingan NPC pada skenario 2 dan 3

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

Dari gambar 4.58 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 3 NPC lebih kecil dibanding skenario 2. Hal ini juga dikarenakan pada skenario 3 jumlah baterai berkurang signifikan dari 216 unit di skenario 2 menjadi 24 unit pada skenario 3.

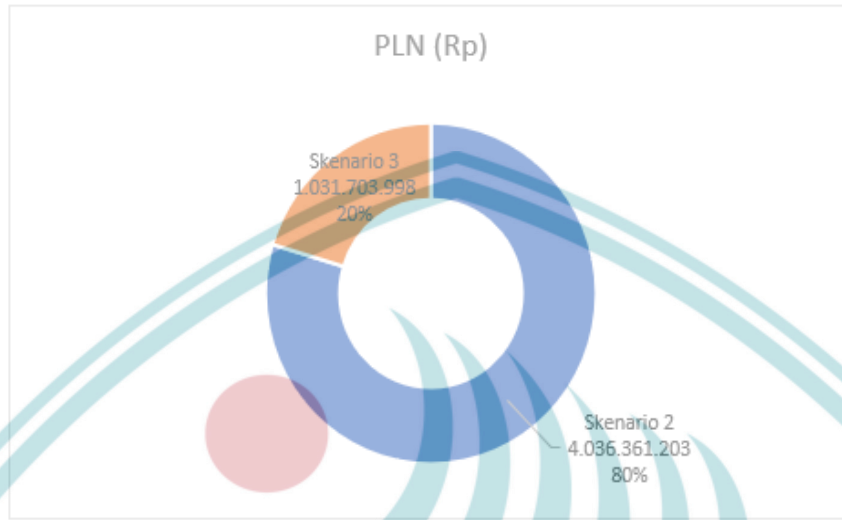


Gambar 4.59 Perbandingan LCOE pada skenario 2 dan 3

Dari gambar 4.59 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 3 LCOE lebih kecil dibanding skenario 2. Hal ini juga dikarenakan pada skenario 3 jumlah baterai berkurang signifikan dari 216 unit di skenario 2 menjadi 24 unit pada skenario 3 karena mengurangi linier dengan LCOE yang merupakan perbandingan biaya masa operasi pembangkit dibandingkan dengan jumlah energi yang dihasilkan pembangkit selama beroperasi. Intinya apapun yang meningkatkan produksi atau mengurangi biaya akan menurunkan LCOE. Dan apapun yang mengurangi produksi atau meningkatkan biaya akan meningkatkan LCOE.

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 4.60 Perbandingan pemakaian listrik PLN skenario 2 dan 3

Dari gambar 4.60 di atas dapat dilihat bahwa tagihan listrik PLN lebih besar pada skenario 2 dibandingkan skenario 3. Hal ini disebabkan pemenuhan kebutuhan listrik pada skenario 3 dipenuhi dari pembangkit EBT dalam hal ini PLTS yang lebih besar di siang hari sehingga mengurangi pemakaian listrik dari PLN.



Gambar 4.61 Perbandingan prosentasi pembangkit EBT pada skenario 2 dan 3

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dari gambar 4.61 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 3 penetrasi EBT lebih besar dibandingkan pada skenario 2 yaitu sebesar 66,7%. Hal ini dikarenakan penggunaan PLTS yang lebih besar di siang hari.



Gambar 4.62 Perbandingan pemakaian BBM pada skenario 2 dan 3

Dari gambar 4.62 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 3 pemakaian BBM lebih besar dibandingkan pada skenario 2. Hal ini dikarenakan pada saat pemadaman listrik PLN, PLTD akan dioperasikan lebih lama karena unit baterai sedikit.

Berdasarkan analisa di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 2 yang menggunakan PLN, PLTD, PLTB, PLTS dan baterai yang di-*microgrid*-kan investasi awal sebesar Rp. 11.281.197.538 dengan NPC Rp. 16.615.000.000, LCOE Rp 2.833,75/kWh. Pada skenario 3 dengan konfigurasi PLN, PLTD, PLTB, PLTS dan baterai yang di-*microgrid*-kan, investasi awal Rp. 10.038.405.706, NPC Rp. 11.727.090.000, LCOE Rp. 1.790,72.

Apabila dilihat dari gambar-gambar di atas, pada skenario 3, investasi awal, NPC, LCOE, pemakaian listrik dari PLN lebih rendah dari skenario 2 dan penetrasi EBT

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

lebih besar dari skenario 2 tetapi pemakaian pemakaian BBM lebih besar dibanding skenario 2.

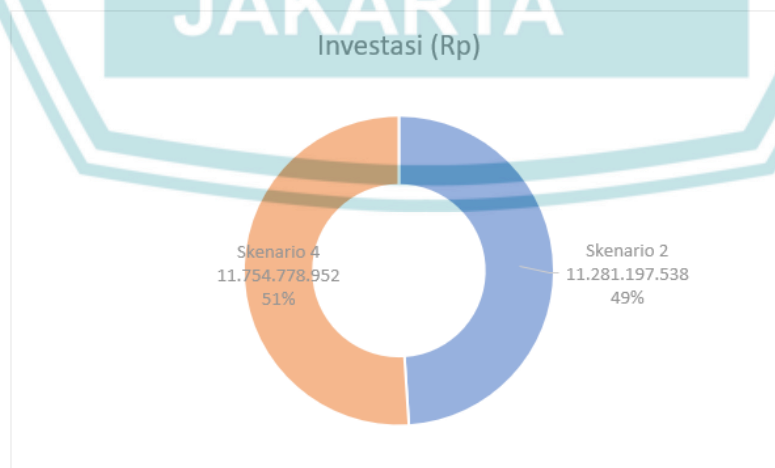
Dari perbandingan kedua skenario tersebut, dengan memperhatikan nilai investasi awal, NPC, LCOE dan penetrasi EBT, maka konfigurasi pada skenario 3 lebih optimal dari skenario 2.

4.2.3. Perbandingan skenario 2 dan 4

Tabel 4.8 Perbandingan skenario 2 dan 4

SKENARIO	TEKNOLOGI
2 (Gedung1, 3 dan 5 dengan <i>Microgrid</i>)	PLN 555 kVA PLTD 250 kW PLTB 10x1 kW PLTS 158 kWp 216 unit baterai
4 (Gedung 1 s.d. 6 dengan <i>Microgrid</i>)	PLN 555 kVA PLTD 2x250 kW PLTB 10x1 kW PLTS 158 kWp 216 unit baterai

Perbandingan biaya investasi awal skenario 2 dan 4:

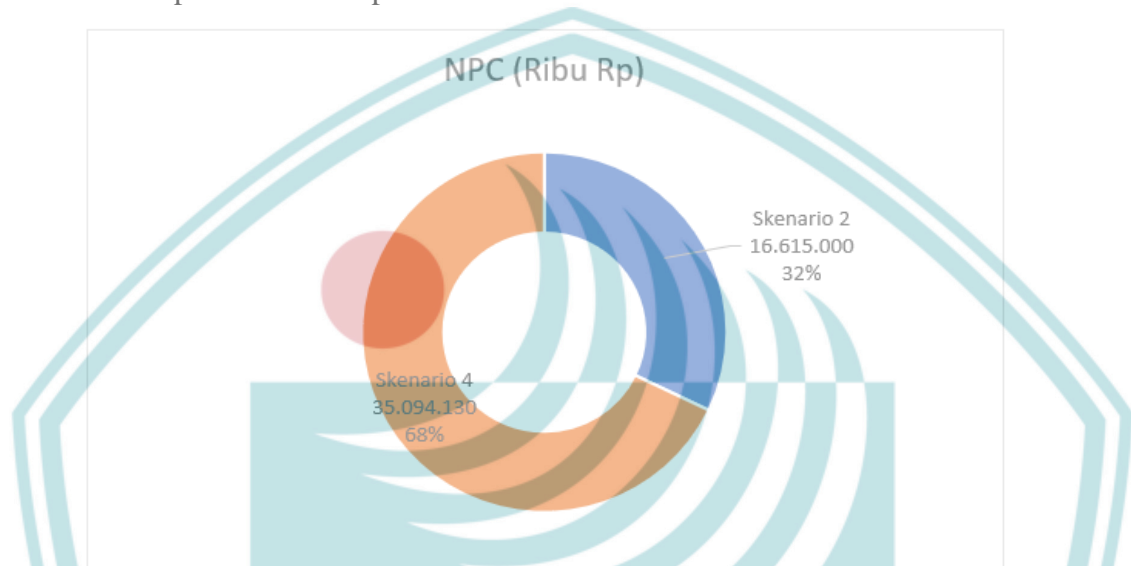


Gambar 4.63 Perbandingan biaya investasi awal pada skenario 2 dan 4

Hak Cipta :

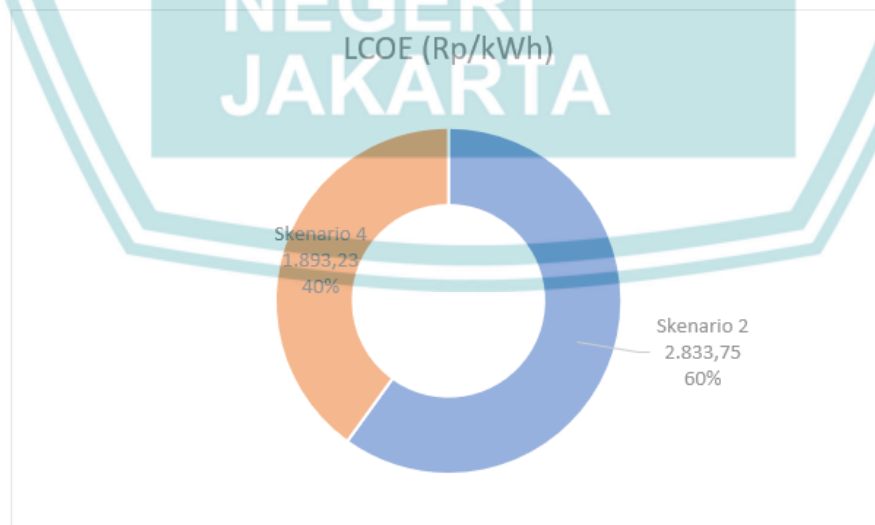
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Dari gambar 4.63 di atas dapat dilihat bahwa skenario 2 biaya investasi awal lebih murah dibanding skenario 4. Hal ini dikarenakan pada skenario 4 ada penambahan 1 unit PLTD kapasitas 250 kWp.



Gambar 4.64 Perbandingan NPC pada skenario 2 dan 4

Dari gambar 4.64 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 2 NPC lebih kecil dibanding skenario 4. Hal ini dikarenakan beban pada skenario 4 lebih besar dibanding skenario 2.

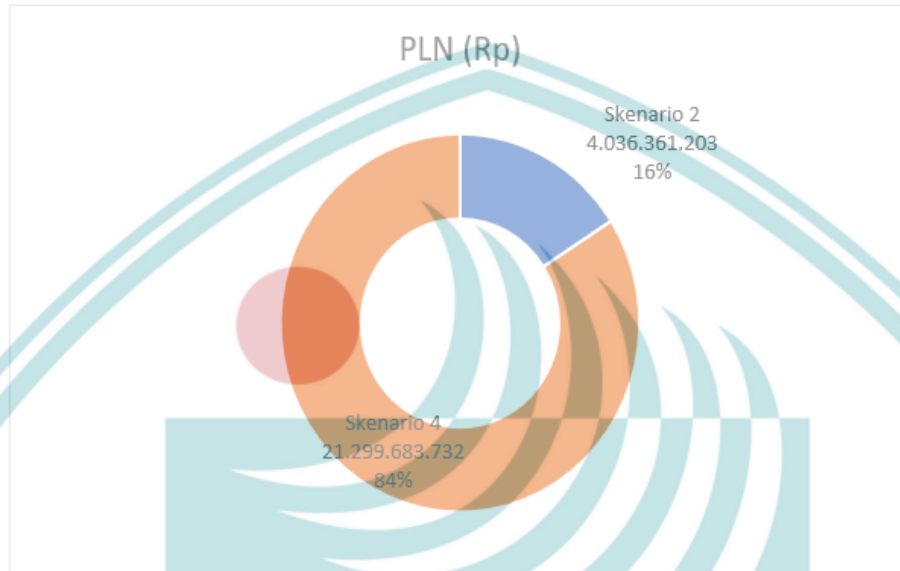


Gambar 4.65 Perbandingan LCOE pada skenario 2 dan 4

Hak Cipta :

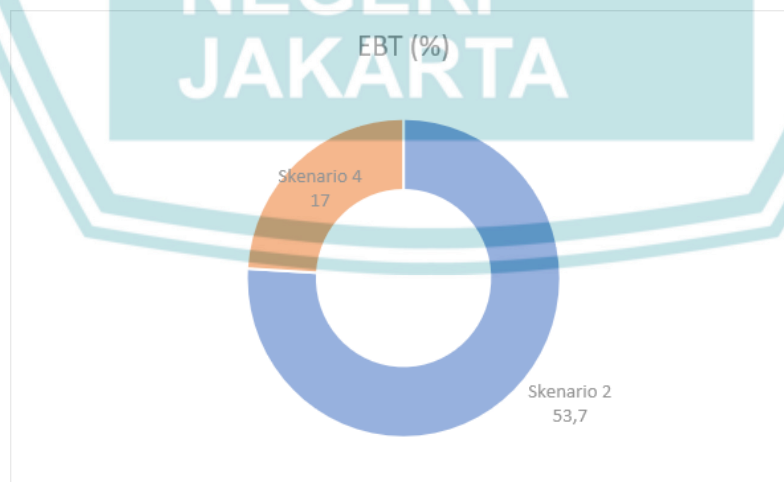
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Dari gambar 4.65 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 4 LCOE lebih kecil dibanding skenario 2.



Gambar 4.66. Perbandingan pemakaian listrik PLN skenario 2 dan 4

Dari gambar 4.66 di atas dapat dilihat bahwa tagihan listrik PLN lebih besar pada skenario 4 dibandingkan skenario 2. Hal ini disebabkan beban listrik pada skenario 4 lebih besar dibandingkan skenario 2.

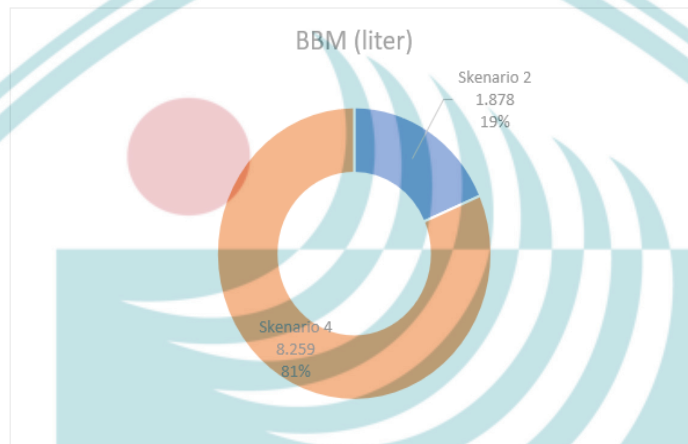


Gambar 4.67 Perbandingan pemakaian pembangkit EBT pada skenario 2 dan 4

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

Dari gambar 4.67 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 2 penetrasi EBT lebih besar dibandingkan pada skenario 4 yaitu sebesar 53,7%. Hal ini menyebabkan pada skenario 2 penggunaan EBT tidak sebanding dengan beban sehingga ada energi yang terbuang dan LCOE lebih tinggi pada skenario 2.



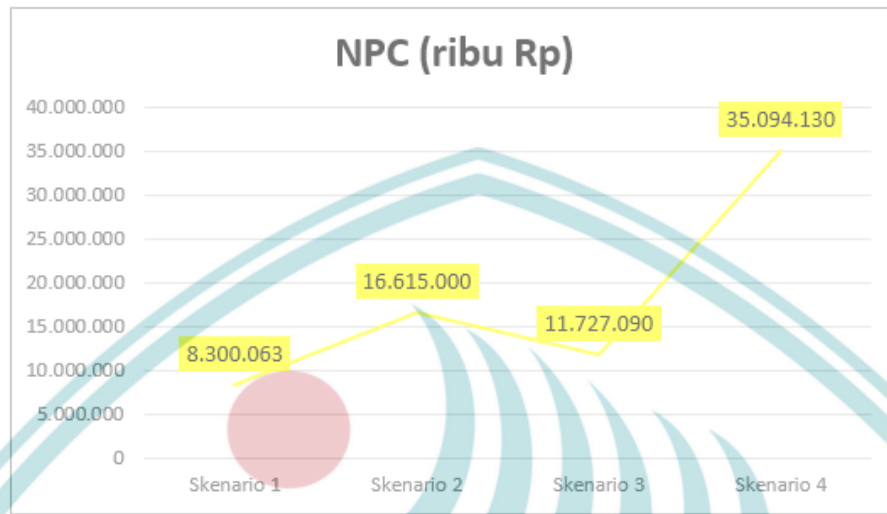
Gambar 4.68. Perbandingan pemakaian BBM pada skenario 2 dan 4

Dari gambar 4.69 di atas dapat dilihat bahwa pada skenario 4 pemakaian BBM jauh lebih besar dibandingkan pada skenario 2. Hal ini dikarenakan pada skenario 4 terdapat 2 unit PLTD masing-masing dengan kapasitas 250 kW.

Dari analisa terhadap 4 skenario tersebut didapatkan perbandingan NPC dan LCOE masing-masing skenario seperti terlihat pada gambar 4.70 dan 4.71 di bawah 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



Gambar 4.69 Perbandingan NPC pada seluruh skenario

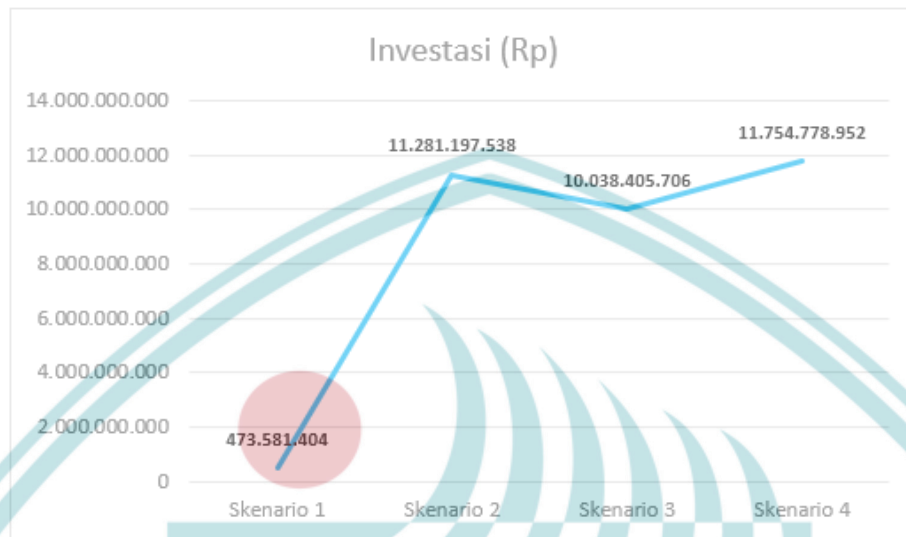


Gambar 4.70 Perbandingan LCOE pada seluruh skenario

Dari gambar 4.69 dan 4.70 di atas terlihat bahwa dari semua skenario selain skenario 1, skenario 3 (*microgrid* yang dioptimasi) paling bagus NPC dan LCOE-nya.

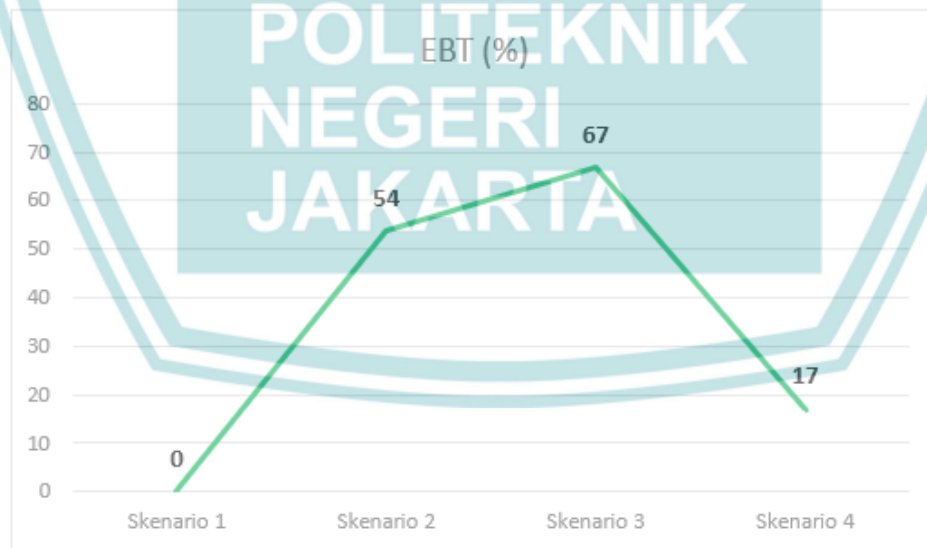
Hak Cipta :

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 4.71 Perbandingan biaya investasi pada seluruh skenario

Gambar 4.71 di atas memperlihatkan bahwa biaya investasi pada skenario 3 (*microgrid* yang dioptimasi) lebih kecil dibandingkan kondisi eksisting (skenario 2).



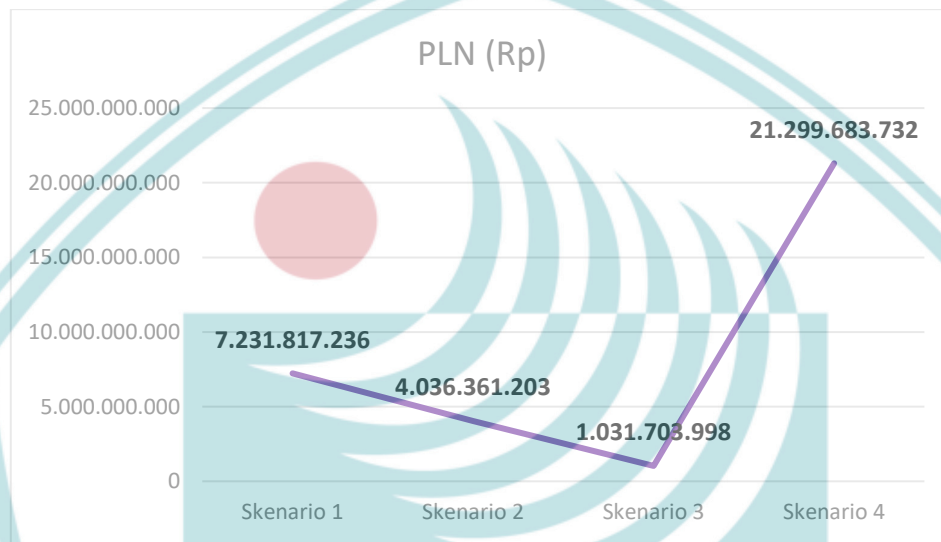
Gambar 4.72 Perbandingan prosentasi EBT pada seluruh skenario

Dari gambar 4.72 di atas terlihat bahwa prosentasi pembangkit EBT pada skenario 3 (*microgrid* yang dioptimasi) lebih besar dibandingkan kondisi eksisting (skenario 2).

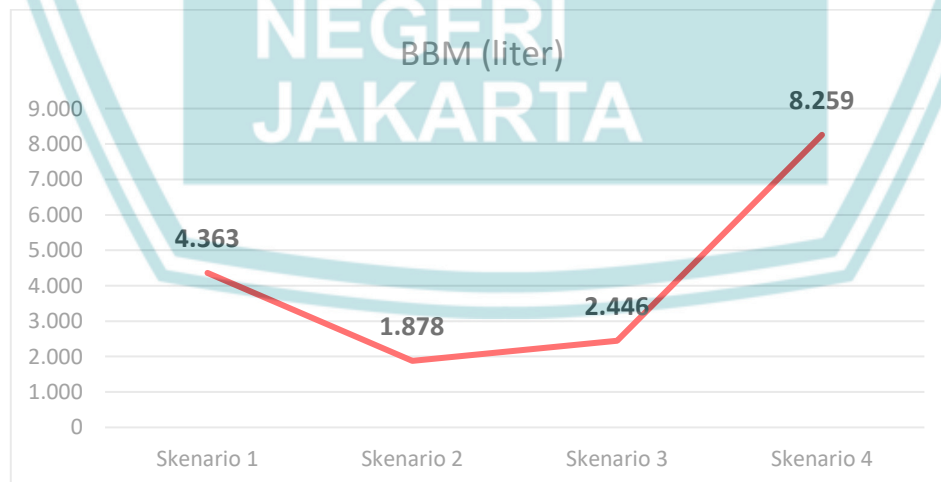
Hak Cipta :

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 4.73 dan 4.74 memperlihatkan pemakaian listrik dari PLN dan pemakaian BBM untuk seluruh skenario. Terlihat bahwa pada skenario 3 pemakaian listrik dari PLN lebih sedikit.



Gambar 4.73 Perbandingan pemakaian listrik dari PLN pada seluruh skenario



Gambar 4.74 Perbandingan pemakaian BBM pada seluruh skenario



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

Hasil pembahasan di atas menyatakan bahwa dari hasil optimasi dari keempat skenario di atas paling optimal pada skenario 3 dan dapat ditarik suatu fungsi sebagai berikut:

$$f \text{ optimasi} \sim \frac{EBT}{Biaya \text{ Investasi.NPC,LCOE.Grid}}$$

