

BAB III. PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT HYBRID DIESEL GENERATOR-PV MICROGRID INTERAKTIF (Kajian *Smart Hybrid*)

**Said Sunardiyo¹, Agus Suryanto¹, Yohanes Primadiyono¹,
Edi Sarwono¹, Asriningati¹**

¹Program Studi Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang
saidelektro@mail.unnes.ac.id
agusku2@mail.unnes.ac.id
DOI: <https://doi.org/10.15294/ik.v1i1.62>

Abstrak

Pemanfaatan sumber energi terbarukan dalam bentuk sistem pembangkit *hybrid* saat ini menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Sistem interaktif grid yang memanfaatkan *photovoltaic array* dan *diesel generator* sebagai sumber energi dapat diaplikasikan di Indonesia dimana saat ini masih mengandalkan sumber energi fosil. Perangkat lunak yang digunakan dalam pemodelan sistem ini yaitu *software Electric Transient and Analysis Program (ETAP)*. Tujuan dari pemodelan sistem ini yaitu mempermudah analisa sistem pembangkit hybrid *photovoltaic (PV)* dan *diesel generator* agar performanya sesuai dengan yang diinginkan. Pemodelan dan simulasi tersebut dapat digunakan sebagai alat bantu dalam merancang, membangun dan menganalisis sistem pembangkit energi hybrid *photovoltaic (PV)* dan *diesel generator*. Sistem interaktif grid ini merupakan penggabungan antara *photovoltaic array*, *diesel generator* dan juga jaringan listrik PLN. Tegangan keluaran dari *photovoltaic (PV)* diubah dari DC menjadi AC dengan menggunakan inverter. Ketika *photovoltaic (PV)* belum bisa menyuplai beban sepenuhnya maka jaringan listrik PLN dan *diesel generator* masuk untuk membantu menyuplai beban. Desain sistem hybrid dengan memanfaatkan sumber energi matahari dapat dijadikan opsi yang lebih baik dari sistem sebelumnya.

Kata Kunci: *Pembangkit Hybrid, Photovoltaic Array, Diesel Generator, Interaktif Grid.*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu energi utama untuk menunjang berbagai kegiatan masyarakat baik dalam lingkup rumah tangga, kelembagaan, perkantoran ataupun industri. Setiap bangunan di dunia memanfaatkan energi listrik. Tidak hanya untuk pencahayaan, melainkan digunakan juga untuk menggerakkan alat-alat elektronik. Seiring berkembangnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, banyak alat-alat elektronik sederhana yang diciptakan untuk mempermudah pekerjaan manusia. Selain karena mudah dalam penyaluran dan pemanfaatannya, energi listrik juga dapat dengan mudah dikonversi ke dalam bentuk energi lain. Oleh karena itu, energi listrik menjadi kebutuhan pokok masyarakat di era modern ini.

Ketersediaan tenaga listrik dituntut dapat mencukupi kebutuhan sarana dan prasarana yang mendukung laju pertumbuhan pembangunan. Kebutuhan listrik rumah tangga, kelembagaan maupun industri yang semakin hari kian pesat baik tegangan rendah ataupun tegangan menengah. Menurut Kementerian ESDM, (2017) pembangkit listrik milik negara yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) menggunakan lebih banyak energi tidak terbarukan (93,8%) daripada energi terbarukan (6,2%) untuk mensuplai kebutuhan pengguna listrik di Indonesia.

Pembangkit listrik dengan energi tidak terbarukan menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Mengingat ketersediaan energi fosil semakin hari semakin menipis bahkan lama kelamaan mengalami kepunahan (Harmini & Nurhayati, 2018). Selain persediaannya yang terbatas penggunaan bahan bakar fosil juga menimbulkan banyak masalah. Beberapa diantaranya yaitu dampak lingkungan, juga kestabilan harga dan pasar yang menyebabkan bahan bakar fosil di pusat pergeseran ekonomi karbon menjadi rendah (Aprillia et al., 2019). Emisi gas yang dihasilkan dari bahan bakar fosil dan dibuang ke lingkungan menjadi salah satu penyebab adanya pemanasan global dan hujan asam.

Melihat kondisi tersebut, maka perlu adanya sumber energi alternatif. Banyak negara di belahan dunia saat ini mengembangkan sumber daya energi baru terbarukan karena selain ramah lingkungan, ketersediaannya di alam juga melimpah dan mudah didapatkan. Sumber daya energi terbarukan memiliki banyak jenis diantaranya surya, angin, pasang surut, panas bumi, dll. Sumber daya energi terbarukan yang dinilai cukup efisien dan menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia yaitu tenaga surya (Abdillah, 2018).

PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN

Istilah energi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *energia* yang berarti aktivitas (*energós* yang berarti aktif). Energi merupakan sumber daya yang mampu memberikan daya (kekuatan) dalam berbagai proses kegiatan diantaranya bahan bakar, listrik, energi mekanik dan panas (Azhar & Satriawan, 2018). Sumber energi dapat diperoleh dengan cara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi.

Pada saat ini energi listrik menjadi salah satu energi yang tidak dapat dilepaskan dari kehidupan sehari-hari. Namun terdapat beberapa masalah dalam penyediaan energi listrik tersebut. Kebutuhan energi listrik di Indonesia diproyeksikan meningkat sebesar 8,65% tiap tahunnya (Setiawan et al., 2014). Sedangkan sumber energi fosil seperti minyak bumi, saat ini menyumbang 87,7% dari total kebutuhan energi dunia (Hasyim & Jatmiko, 2012). Dimana ketersediaan energi fosil semakin menipis dan lama kelamaan mengalami kepunahan. Dalam mengatasi kebutuhan energi listrik yang pesat tersebut pemerintah menerbitkan beberapa regulasi, seperti penerapan pemanfaatan sumber energi terbarukan (Setiawan et al., 2014).

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari alam di sekitar kita, seperti contohnya adalah angin, air, geotermal, biomasa dan matahari. Berbeda dengan energi fosil yang memerlukan waktu bertahun-tahun agar terbentuk energi lagi, energi ini dapat diperbaharui dalam kurun waktu yang singkat sehingga disebut energi terbarukan (Haryanto, 2018).

Permasalahan lingkungan dan ekonomi menjadi salah satu faktor pendorong yang cepat dalam pemanfaatan energi terbarukan di seluruh dunia (Juwito et al., 2012). Banyak negara di belahan dunia saat ini mengembangkan sumber daya energi baru terbarukan karena selain ramah lingkungan, ketersediaannya di alam juga melimpah dan mudah didapatkan.

Beberapa kebijakan mengenai energi terbarukan diantaranya:

1. *Konservasi Energi*

Konservasi energi merupakan upaya pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi pemakaian energi yang dibutuhkan (Lubis, 2007). Upaya ini dapat dilakukan dengan cara mengganti peralatan yang tidak efisien, mengatur waktu pemakaian peralatan listrik dan mengurangi pemakaian listrik yang hanya bersifat keindahan.

2. *Diversifikasi Energi*

Diversifikasi energi dilakukan dengan cara pengembangan energi baru terbarukan dalam jumlah besar (Nabila, 2016). Pada diversifikasi energi, penggunaan *non-renewable energy* diubah ke *renewable energy*. Contohnya upaya mengganti BBM dengan Biodiesel, mengurangi peran pembangkit BBM lalu menggantikannya dengan pembangkit non-BBM dan pembangunan PLTS.

3. *Intensifikasi Energi*

Intensifikasi energi merupakan upaya pencarian sumber energi baru dalam rangka meningkatkan cadangan energi yang nantinya digunakan untuk menghasilkan energi listrik (Lubis, 2007).

ENERGI SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang tidak dapat habis secara alamiah, sehingga dapat menjadi energi alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Energi terbarukan didapat dari elemen-elemen alam yang tersedia di bumi (Artiningrum et al., 2019). Potensi energi terbarukan, seperti biomassa, panas bumi energi surya, energi air, energi angin, energi

samudra, hidro power pada saat ini masih belum banyak dimanfaatkan, padahal energi terbarukan ini memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan khususnya di Indonesia (Widayana, 2012).

Dari banyaknya sumber energi terbarukan yang ada, salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu sumber energi dengan pemanfaatan energi surya. Energi surya merupakan sumber energi alternatif yang cukup potensial untuk dikembangkan. Potensi energi matahari di Indonesia cukup tinggi dengan radiasi rata-rata (*insolasi*) sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Salman, 2013). Hal ini menjadikan sumber daya energi terbarukan dengan tenaga surya dinilai cukup efisien dan menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia (Abdillah, 2018). Hal ini karena Indonesia terletak pada garis khatulistiwa sehingga memungkinkan sinar matahari tersebar di seluruh wilayah Indonesia sepanjang tahun. Iradiasi cahaya matahari di Indonesia relatif konstan pertahunnya dikarenakan hanya terdapat dua musim, dibandingkan negara-negara dengan empat musim dimana pada musim-musim tertentu energi radiasi yang diterima akan berkurang (Artiningrum et al., 2019).

Energi surya merupakan energi yang dikumpulkan secara langsung dari cahaya matahari. Energi surya diperoleh langsung dari matahari yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Dalam pemanfaatan energi surya terdapat 2 macam teknologi yang sudah diterapkan diantaranya, energi surya fotovoltaik dan energi surya termal (Julisman et al., 2017).

1. Surya Termal

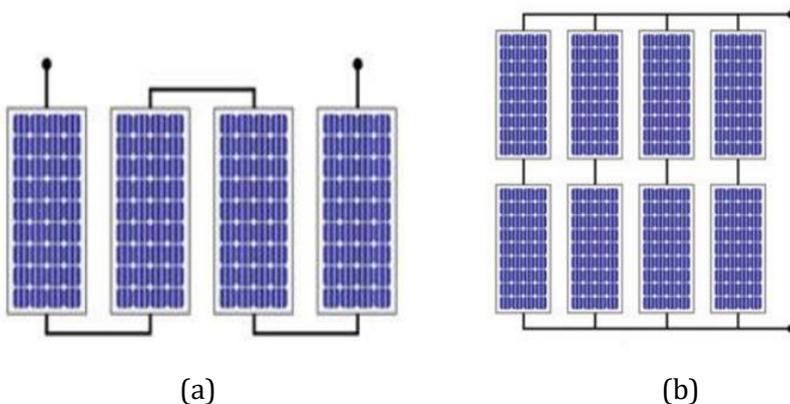
Surya termal memanfaatkan panas (termal) dari sinar matahari sebagai sumber energi. Secara komersial energi surya termal banyak dimanfaatkan sebagai penyedia air panas rumah tangga, khususnya di kawasan perkotaan. Di sisi non-komersial dan tradisional, energi surya termal digunakan dalam proses pengeringan berbagai komoditas pertanian, perikanan, perkebunan dan industri kecil (Lubis, 2007). Dalam pengembangan energi surya termal di Indonesia, dapat digunakan beberapa strategi berikut :

- a. Mengarahkan pemanfaatan energi surya termal untuk kegiatan produktif, khususnya untuk kegiatan agro industri,
- b. Mendorong keterlibatan swasta dalam pengembangan teknologi surya termal,
- c. Mendorong terciptanya sistem dan pola pendanaan yang efektif.

2. Photovoltaic (PV)

Pada teknologi ini menggunakan sel surya untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik (Bello, 2017). Sumber energi ini memanfaatkan sinar matahari dengan mengubah radiasi sinar tersebut menjadi energi listrik melalui *solar cells*.

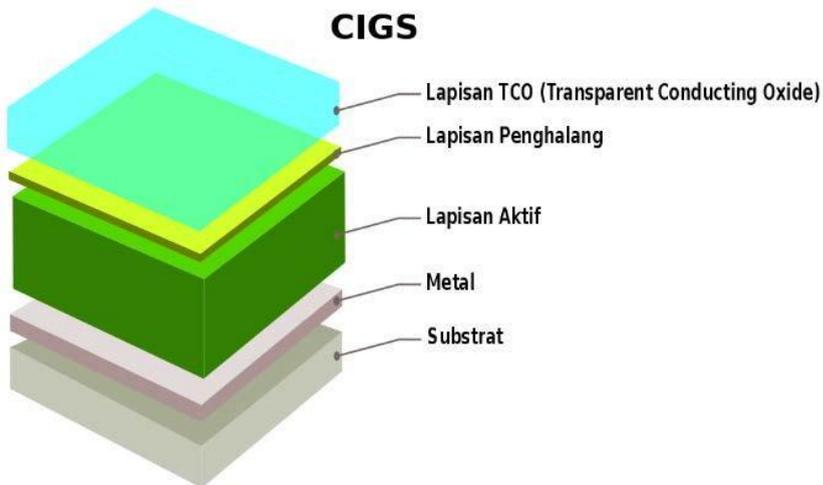
Karena tegangan listrik yang dihasilkan oleh sel surya sangat kecil, photovoltaic (PV) biasanya tersusun dari rangkaian seri atau paralel beberapa sel surya dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Susunan Panel Surya Secara (a) Seri dan (b) Paralel (Stapleton & Neill, 2012)

Pada umumnya sebuah sel surya hanya menghasilkan tegangan yang tidak terlalu besar. Modul surya yang sering dicari adalah modul dengan tegangan keluaran $>12\text{VDC}$ (tegangan $48\text{ V} - 120\text{ VDC}$). Setiap jenis sel PV mempunyai keunikan dan karakteristik yang berbeda. Meskipun karakteristik tiap sel PV berbeda, namun sel PV terbuat dari bahan utama yang sama yaitu

material semikonduktor. Secara umum struktur penyusun material panel surya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Struktur Penyusun Panel Surya
(Halme, 2002)

a. Substrat

Substrat merupakan bahan yang menopang seluruh komponen panel surya. Material ini berfungsi sebagai kontak termal positif panel surya, sehingga komponen ini harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik. Pada umumnya material yang digunakan merupakan jenis metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya pada panel surya organik dan panel surya dye-sensitized (DSSC).

b. Lapisan Antireflektif

Material anti-refleksi merupakan lapisan tipis material dengan besar indeks reaktif optik antara semikonduktor dan udara. Hal ini menyebabkan cahaya belok ke arah semikonduktor sehingga meminimalisir cahaya yang dipantulkan kembali.

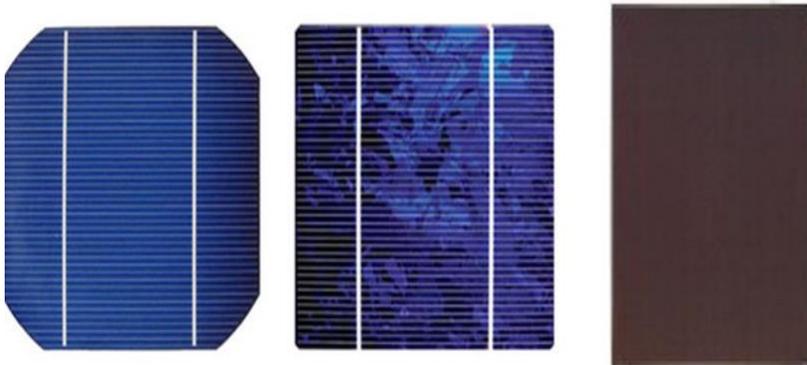
c. Enkapsulasi

Enkapsulasi adalah bagian yang berfungsi sebagai pelindung modul surya dari hujan atau kotoran. Struktur inilah yang menjadikan panel surya menjadi mudah untuk dibersihkan dan tidak memerlukan perawatan oleh ahli khusus.

d. Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor adalah bagian inti dari panel surya. Semikonduktor merupakan material yang menghantarkan listrik pada kondisi tertentu dimana bahan ini tidak termasuk ke dalam isolator atau konduktor. Fungsi dari material ini yaitu untuk menyerap cahaya dan sinar matahari. Bahan semikonduktor tersusun dari gabungan dua material semikonduktor (junction) yaitu semikonduktor tipe-p (+) dan tipe-n (-) yang membentuk p-n junction.

Pada permukaan material semikonduktor biasanya dilapisi oleh contact grid yaitu material metal transparan sebagai kontak termal negatif panel surya. Salah satu bahan semikonduktor yang sering digunakan dan banyak dijumpai dalam produksi sel PV adalah silikon. Beberapa jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan sel PV diantaranya:



(a) Monocrystalline

(b) Multicrystalline

(c) Thin film

Gambar 3.3. Jenis-jenis Sel PV

(<http://suryautamaputra.co.id/blog/2016/04/20/mengenal-kelebihan-dan-kelemahan-penggunaan-panel-surya/>)

1) Monocrystalline silicon

Monocrystallin silicon berasal dari kristal biji silikon tunggal yang diletakan dalam wadah silikon cair kemudian ditarik keluar secara perlahan sambil di putar. Jenis ini merupakan silikon yang paling efisien dan umumnya paling mahal. Efisiensi tertinggi untuk sel PV monocrystal silicon mencapai 25%.

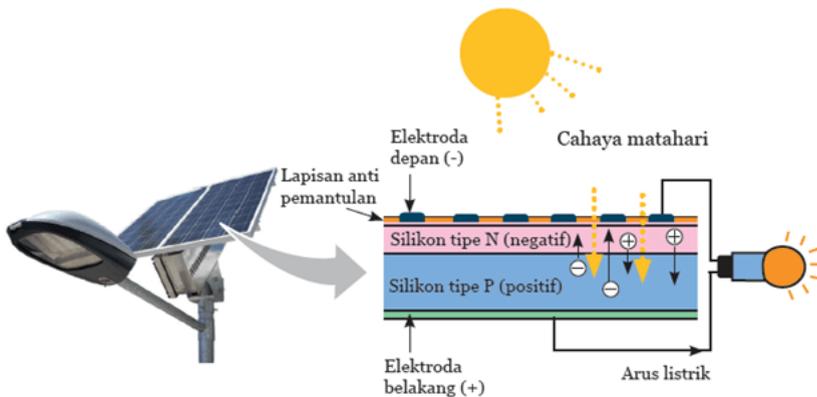
2) *Multicrystalline/ polycrystalline silicon*

Jenis silikon ini diproduksi dengan pembentukan blok silikon cair, sehingga terdiri dari beberapa kristal kecil yang tumbuh dalam orientasi acak saat bahan cair mengeras. Bahan ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan bahan dari sel monocrystalline.

3) Thin film solar cells

Thin film solar cells terbuat dari bahan yang cocok untuk area pengendapan yang lebih luas. Dinamakan thin film karena jenis ini hanya memerlukan ketebalan 1 mikron. *Thin film* memiliki harga yang lebih terjangkau jika dibandingkan dengan *monocrystal* ataupun *multicrystalline*. Efisiensi sel surya jenis ini mencapai 20,1%.

Panel surya bekerja pada saat radiasi sinar matahari mengenai sel surya, foton menghantam bahan semikonduktor dan menyebabkan pergerakan elektron di sisi tipe-n dan lubang di sisi tipe-p (Bello, 2017). Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya merupakan listrik *Direct Current (DC)*, aka harus diubah menjadi listrik *Alternating Current (AC)* melalui inverter agar dapat dengan mudah digunakan ke beban.



Gambar 3.4. Penambahan Elektron di Tipe-N dan Lubang di Tipe-P (<https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>)

Daya yang akan dibutuhkan untuk mengoperasikan peralatan elektronik (Wh) dilakukan dihitung dengan cara mengalikan Watt (AC atau DC) dengan waktu (jam). Kilowatt-hours (kWh) biasanya digunakan untuk menggambarkan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV. Daya diukur dalam Watt (W) atau joule/sekon (J/s). Daya adalah hasil kali dari arus (I) dan tegangan (V).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Salah satu cara penyediaan energi listrik alternatif yang siap untuk diterapkan secara masal pada saat ini adalah menggunakan suatu sistem teknologi yang diperkenalkan sebagai Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) atau secara umum dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) (Widayana, 2012).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi. PLTS terdiri dari berbagai perangkat yang di dalam kinerjanya dipengaruhi oleh kondisi sumber energi matahari/radiasi matahari (Artiningrum et al., 2019). Sistem PLTS dapat dibagi berdasarkan aplikasi dan konfigurasi. Secara umum PLTS dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (on-grid PV system) dan sistem PLTS

yang tidak terhubung dengan jaringan (off-grid PV system) atau PLTS yang berdiri sendiri (Pangaribuan et al., 2020).

Sistem *On Grid* (disebut juga *Grid Tie/ Grid Interactive*), menggunakan solar panel untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Sesuai namanya, rangkaian sistem ini tetap terhubung dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi semaksimal mungkin.

Off Grid atau disebut juga *stand alone PV (photovoltaic)* system pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan (Putri et al., 2020).

PLTS merupakan perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, bersih dan memberikan keuntungan jangka panjang, sehingga banyak yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi alternatif (Harahap, 2019). Pemanfaatan energi surya sebagai penyediaan tenaga listrik, dapat dilakukan melalui 3 cara alternatif yaitu:

- Penyediaan listrik individual per rumah (Solar Home System)
- Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hybrid dengan pembangkit listrik lainnya (angin dll.) dan
- PLTS terintegrasi dengan jaringan listrik PLN yang ada.

Dengan adanya pembangkit listrik tenaga surya, cukup banyak keuntungan yang bisa diperoleh. Keuntungan-keuntungan pembangkit dengan surya photovoltaic (PV), antara lain :

- a. Energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara gratis.
- b. Perawatannya murah dan sederhana.
- c. Tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetulan pada pelumasan.
- d. Peralatan bekerja tanpa suara dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.
- e. Dapat bekerja secara otomatis.

SISTEM PEMBANGKIT HYBRID DIESEL GENERATOR-PV MICROGRID INTERAKTIF

Solar cell menghasilkan energi dalam jumlah yang tidak terlalu besar. Minimnya listrik yang dapat disediakan Solar Photovoltaic (PV) System memungkinkan PLTS yang menggunakan modul surya lebih dari 100Wp (output energi >400Wh) dan menggunakan system Alternating Current (AC). Listrik yang dapat digunakan setelah dikurangi losses dan *self consumption inverter* masih memadai termasuk kategori PLTS skala menengah-besar. PLTS pada skala ini umumnya tidak menggunakan sistem desentralisasi, tetapi menggunakan sistem sentralisasi dan dikombinasikan dengan sistem hybrid (Dzulfikar & Broto, 2016).

Pembangkit hybrid adalah suatu sistem pembangkit yang menggunakan lebih dari satu jenis sumber energi untuk mensuplai satu beban yang sama. Pembangkit listrik hybrid dalam sistem penggabungan sumber pembangkit listrik mempunyai model penggabungan sumber pembangkit. Model pembangkit listrik hybrid dengan kombinasi sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) dengan yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) (Ansori et al., 2019). Salah satu persyaratan utama untuk sistem hybrid adalah untuk memastikan aliran daya yang berkelanjutan dengan menyimpan kelebihan energi dari sumber energi terbarukan (Hendrayana, 2017).

Pada umumnya sistem pembangkit hybrid yang ada pada saat ini yaitu PLTS-mikrohydro, PLTS-genset dan PLTS-tenaga angin. Tujuan utama pengembangan sistem pembangkit hybrid yaitu untuk menjamin suplai energi primer pada pembangkit sehingga produksi listrik tetap terjamin untuk memenuhi kebutuhan konsumen (Hendrayana, 2017). Selain itu adanya pembangkit hybrid juga mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk mengkondisikan situasi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan (Kurniawan, 2021). Tipe pembebanan adalah

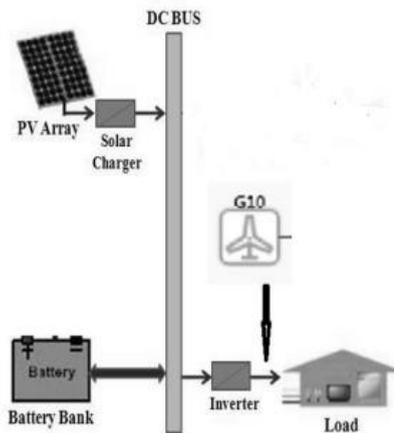
keyword penting dalam sistem hibrid, dimana untuk setiap load profile yang berbeda, akan diperlukan sistem hibrid dengan komposisi tertentu, supaya

dapat dicapai sistem yang optimum (Mansyur, 2017).

Konfigurasi sistem pembangkit hibrid terbagi menjadi 3 yaitu :

Sistem Hybrid Seri

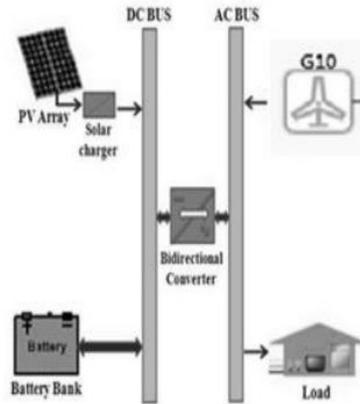
Pembangkit Hybrid dengan sistem ini mensuplai daya DC ke baterai, setiap komponen dilengkapi dengan charger controller agar dapat menjamin operasi sistem yang handal (Fikri & Yasri, 2017). Diesel generator dan inverter didesain untuk dapat memenuhi beban puncak. Daya dari PV menuju ke baterai dan inverter melalui DC bus kemudian disalurkan ke beban, sedangkan daya dari diesel generator langsung menuju ke beban, seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.5. Pembangkit Hybrid Sistem Seri
(Mulyadi, 2018)

Sistem Hybrid Switch

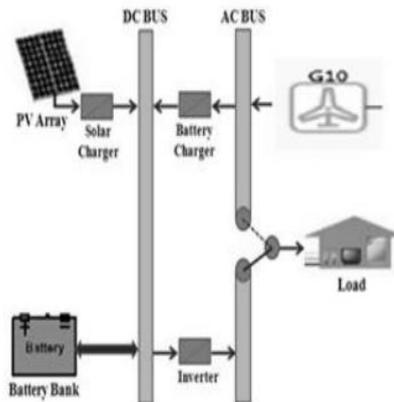
Pada sistem ini, diesel generator dan inverter dapat beroperasi sebagai sumber AC seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7. Sistem switch ini memungkinkan beban mendapat suplai langsung dari diesel generator, sehingga mampu meningkatkan efisiensi total. Kelebihan daya dari diesel generator dapat digunakan untuk mengisi baterai.



Gambar 3.6. Pembangkit Hybrid Sistem *Switch*
(Mulyadi, 2018)

Sistem Hybrid Paralel

Pada sistem hybrid paralel, beban dapat disuplai dari diesel generator ataupun inverter secara paralel. *Bidirectional inverter* (BDI) digunakan untuk menjembatani baterai dan sumber AC. BDI mampu mengisi baterai dari diesel generator (*AC – DC converter*) maupun sumber energi terbarukan. Selain itu BDI juga dapat beraksi sebagai *DC – AC converter*.

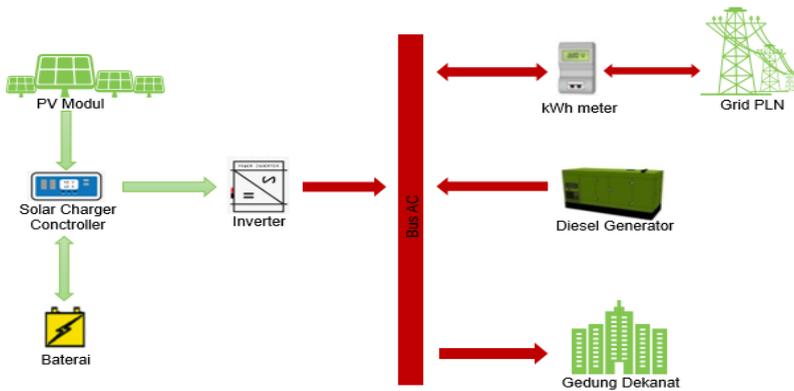


Gambar 3.7. Pembangkit Hybrid Sistem Paralel

Cara kerja dari pembangkit listrik sistem hibrid ini secara umum dan berurutan mulai dari semua energi yang dihasilkan oleh semua sumber pembangkit yang digunakan dapat berasal dari energi matahari dan dikombinasikan dengan diesel generator kemudian disalurkan kedalam unit kontrol (Tharo & Andriana, 2019). Diesel Generator, diperlukan sebagai kombinasi energi untuk dapat menyuplai daya pada pelayanan beban, terutama pada saat beban puncak atau jika kondisi energi yang disimpan di baterai sudah pada level bawah (Susilo et al., 2014).

Generator merupakan suatu peralatan yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, kebanyakan generator digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Diesel generator merupakan suatu pembangkit yang terdiri dari kombinasi mesin diesel dan juga generator listrik (alternator) yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik (Purnama & Nazir, 2015). Energi mekanik yang diperoleh dari generator dapat berasal dari motor bakar diesel. Prinsip kerja generator adalah dengan menggunakan rotor untuk memotong medan magnet yang dihasilkan oleh besi feromagnetik yang dialiri listrik. Untuk membuat besi feromagnetik menjadi magnet, dibutuhkan arus eksitasi atau arus pembangkit atau dapat dikatakan rotor diputar maka belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub-kutub magnetnya sehingga menimbulkan perbedaan tegangan dan menghasilkan arus listrik.

Pembangkit hybrid yang menggabungkan diesel generator dan PV sebagai sumber energi pembangkit listrik dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya yaitu sistem interaktif grid.



Gambar 3.8. Skema Sistem Interaktif Grid

Gambar 3.8. menunjukkan sistem interaktif grid yang menggabungkan sistem photovoltaic dengan jaringan distribusi listrik (PLN). Ketika sumber energi listrik dari sistem PV telah mencukupi maka PV akan menyuplai semua peralatan, jaringan listrik dari PLN akan masuk ketika PV tidak mampu menyuplai beban (Azzahra et al., 2019).

Prinsip kerja pada sistem pembangkit hybrid diesel generator-PV interaktif grid adalah sebagai berikut:

- Pbeban < PPV Array + Baterai → PV Array + Baterai
- Pbeban puncak > PPV Array + Baterai → PV Array + Grid PLN
- Pbeban puncak > PPV Array + Baterai + (PLN Off) → PV Array + Diesel Generator

Pada kasus pertama, saat daya terpakai beban tidak melebihi daya yang dihasilkan PV dan baterai maka PV akan dibantu oleh baterai untuk menyuplai energi ke beban. Kasus kedua, pada beban puncak apabila daya dari PV dan baterai tidak mencukupi untuk menyuplai beban, jaringan listrik PLN akan masuk untuk memenuhi suplai beban yang dibutuhkan. Kasus ketiga, pada kondisi ini ketika jaringan listrik dari PLN padam dan daya dari PV belum mencukupi untuk menyuplai beban maka suplai beban akan dibantu oleh diesel generator.

DESAIN SIMULASI SISTEM PEMBANGKIT HYBRID

Dalam pemanfaatan sistem pembangkit hybrid, pemanfaatan melalui pemodelan desain menggunakan perangkat lunak menjadi pilihan yang dapat mempermudah analisis sistem yang diinginkan (Purnama & Nazir, 2015). Desain sistem adalah proses menentukan desain peralatan yang akan dipakai agar dapat dicapai tujuan yang telah ditetapkan, agar peralatan satu dengan lainnya dapat berinteraksi dengan baik (Mansyur, 2017). Salah satu cara yang dapat dilakukan dalam desain sistem yaitu simulasi. Simulasi digunakan untuk melakukan pemodelan dalam mengevaluasi desain sistem pembangkit listrik tenaga hybrid yang memungkinkan. Simulasi pada umumnya membutuhkan perangkat lunak sebagai alat bantu untuk mengevaluasi sistem yang dirancang. Perangkat lunak akan melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan pakai.

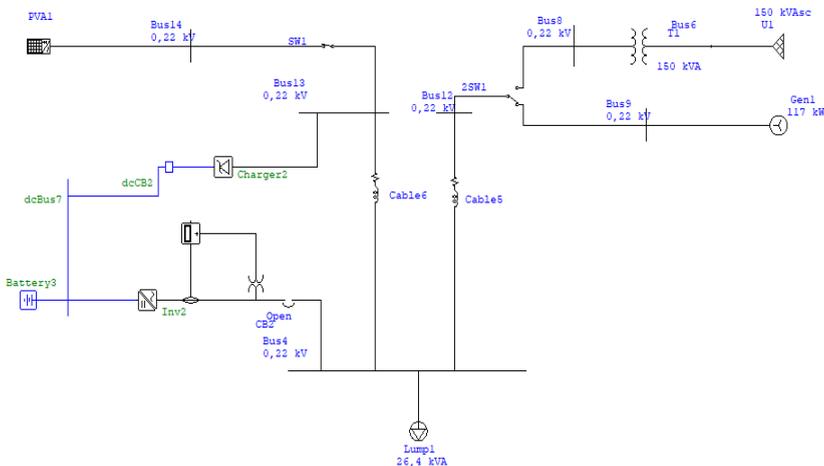
Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mendesain sistem pembangkit hibrid adalah *software* ETAP. ETAP merupakan salah satu software aplikasi yang biasa digunakan untuk membantu proses simulasi sistem tenaga listrik (Multa & Aridani, 2013). Terdapat berbagai macam fitur yang dapat digunakan di ETAP, antara lain fitur untuk pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi dan juga sistem distribusi. Beberapa analisis juga dapat dilakukan dengan menggunakan software ini misalnya, analisis aliran daya, analisa hubung singkat, analisis kestabilan transient dan lain sebagainya. Pada desain sistem pembangkit hybrid software ETAP dapat digunakan untuk melakukan 2 hal utama yaitu :

1. Simulasi

Perangkat lunak ini dapat mensimulasikan operasi sistem dengan membuat suatu rangkaian diagram saluran tunggal (*single line diagram*) dari sebuah sistem tenaga listrik. Simulasi ini merepresentasikan rangkaian sistem tenaga listrik yang mendapat suplai dari 3 sumber yaitu PV, *diesel generator* dan grid PLN. Elemen-elemen elektrik yang dibutuhkan pada sistem pembangkit

hybrid seperti PV, baterai, inverter, *diesel generator*, power grid maupun komponen lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandarisasi untuk diagram saluran tunggal. Kapasitas komponen-komponen disesuaikan dengan kebutuhan dalam perancangan sistem agar simulasi dapat dijalankan. Langkah-langkah yang dilakukan pada simulasi pembangkit hybrid adalah :

1. Pada simulasi ini langkah awal adalah menentukan komponen-komponen pembangkit hybrid yang akan di gunakan.
2. Mengecek kelengkapan komponen-komponen pada pembangkit hybrid.
3. Menentukan parameter masukan masing-masing komponen.
4. Menjalankan proses simulasi dengan ETAP.
5. Mendapatkan hasil simulasi.

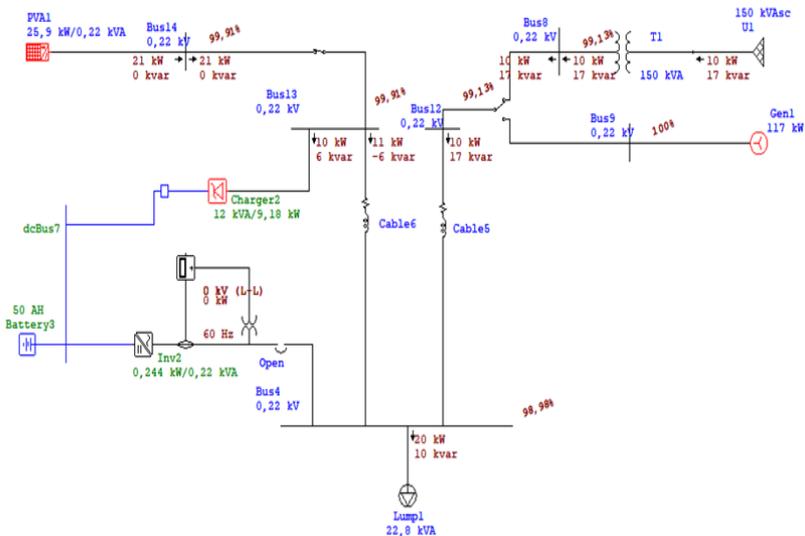


Gambar 3.9 . Single Line Diagram Pembangkit Hybrid

Simulasi akan berjalan dengan baik apabila elemen, parameter tiap komponen dan sambungan tiap elemen sudah sesuai. Ketika simulasi dijalankan, *single line diagram* akan merepresentasikan kinerja dari keseluruhan sistem yang telah didesain.

2. Analisis Aliran Daya

Percobaan load flow atau aliran daya bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban. Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima). Nilai daya keluaran dan arah arus yang mengalir di setiap komponen dapat terlihat pada saat percobaan *load flow*.



Gambar 3.10. Percobaan Load Flow atau Aliran Daya

Dengan adanya percobaan aliran daya, dapat diketahui seberapa besar daya yang dihasilkan oleh sumber energi khususnya PV sebagai penyuplai beban. Selain itu didapat juga besar daya yang mengalir ke beban dalam pemanfaatan sistem pembangkit hybrid.

SIMPULAN

Penggunaan energi fosil sebagai sumber energi utama menimbulkan beberapa dampak yang serius seperti adanya permasalahan lingkungan dan ekonomi. Perlu adanya energi alternatif untuk mengurangi dampak dari penggunaan energi fosil. Energi surya merupakan sumber energi alternatif yang cukup potensial untuk dikembangkan. Kombinasi energi surya dengan diesel generator dalam bentuk sistem pembangkit *hybrid* saat ini menjadi salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Sistem interaktif grid diterapkan agar sistem pembangkit *hybrid* dapat terkoneksi dengan jaringan listrik PLN sehingga mampu memenuhi kebutuhan daya beban. Salah satu upaya pemanfaatan sistem pembangkit *hybrid* dapat dilakukan melalui desain sistem. Pemanfaatan melalui pemodelan desain menggunakan perangkat lunak menjadi pilihan yang dapat mempermudah analisis sistem yang diinginkan. *Software* ETAP dapat dijadikan alat bantu dalam melakukan desain sistem pembangkit *hybrid* dengan cara simulasi yang dapat merepresentasikan daya keluaran dan aliran daya tiap komponen. Melalui ETAP komposisi suplai beban pada simulasi sistem pembangkit *hybrid* juga dapat dilihat. Desain sistem pembangkit *hybrid* dengan konsep Interaktif grid dapat dijadikan opsi dalam pemanfaatan sumber energi matahari yang dikombinasi dengan diesel generator untuk merancang sistem yang lebih baik dari sistem sebelumnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih peneliti sampaikan kepada Fakultas Teknik dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Negeri Semarang yang telah membiayai penelitian ini hingga selesai.

Daftar Pustaka

Abdillah, H., 2018. Pemanfaatan Sistem Pembangkit Hybrid Dengan Kendali Supply Beban. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*

- Elektro Terapan*, 2(1), pp.59–64.
- Ansori, A., Susila, I.W., Siregar, I.H., & Haryuda, S.I., 2019. Pembangkit Listrik Hybrid Solar Cell dan Turbin Angin di Pantai Tamban Kabupaten Malang. *Otopro*, 12(2), pp.74.
- Aprillia, B.S., Silalahi, D.K., Agung, M., & Rigoursyah, F., 2019. Desain Sistem Panel Surya On-Grid Untuk Skala Rumah Tangga Menggunakan Perangkat Lunak HOMER (On-Grid Photovoltaic Systems Design using HOMER Software for Residential Load). *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 1(3), pp.174–180.
- Artiningrum, T., Havianto, J., Lingkungan, S.T., Teknik, F., Mukti, U.W., Matahari, S., Listrik, P., & Surya, T., 2019. Meningkatkan Peran Energi Bersih Lewat Pemanfaatan Sinar Matahari (Improve The Role of Clean Energy Through The Utilization). *Geoplanart*, 2(2), pp.100–115.
- Azhar, M., & Satriawan, D.A., 2018. Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), pp.398–412.
- Fikri, M.J., & Yasri, I., 2017. Aspek Perancangan Sistem Listrik Hybrid. *Jom FTEKNIK*, 4.
- Harahap, P., 2019. Implementasi Karakteristik Arus Dan Tegangan Plts Terhadap Peralatan Trainer Energi Baru Terbarukan. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*, 2(1), pp.152–157.
- Harmini, H., & Nurhayati, T., 2018. Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Energi Solar Dan Angin. *Elektrika*, 10(2), pp.28.
- Hasyim, A., & Jatmiko, A.A., 2012. Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB). *Teknik Elektro*, 12(01), pp.59–67.
- Hendrayana, H., 2017. Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(1), pp.26–43.
- Juwito, A.F., Pramonohadi, S., & Haryono, T., 2012. Optimalisasi

- Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya (Renewable Energy Optimization of Electrical Power Generation toward the Energy Self-Sufficient Village in Margajaya). *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 15(1), pp.22–34.
- Kurniawan, A., 2021. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Photovoltaic-Mikrohidro) Menuju Desa Mandiri Energi*.
- Lubis, A., 2007. Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8(2), pp.156–163.
- Mansyur, I., 2017. Studi Komparatif 2 Model Pembangkit Listrik Sistem Hibrid PLTS dan PLN/Genset. *JTE Universitas Hasanudin*, pp.191–199.
- Multa, L., & Aridani, R.P., 2013. Modul Pelatihan ETAP. *Modul Pelatihan ETAP*, pp.58.
- Mulyadi, C.D., 2018. Mengoptimalkan Power Plants Tenaga Hybrid Turbin Angin - Photovoltaic Menggunakan Homer Grid (Studi Kasus: Ciburial Sukarame Pacet Jawa Barat). *Ensains Journal*, 1(2), pp.95–104.
- Nabila, F., 2016. Menjaga Kedaulatan Energi Dengan Reformasi Kebijakan Diversifikasi Sumber Daya Energi. *Jurnal Hukum & Pembangunan*, 45(1), pp.145.
- Pangaribuan, B.M., Ayu, I., Giriantari, D., & Sukerayasa, I.W., 2020. Desain Plts Atap Kampus Universitas Udayana: Gedung Rektorat. *Spektrum*, 7(2), pp.90–100.
- Purnama, S.D., & Nazir, R., 2015. Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator - Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 4(1), pp.1.
- Putri, R., Meliala, S., & Zuraida, Z., 2020. Penerapan Instalasi Panel Surya Off Grid Menuju Energi Mandiri Di Yayasan Pendidikan Islam Dayah Miftahul Jannah. *JET (Journal of Electrical ...)*, 1099, pp.117–120.
- Salman, R., 2013. Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Untuk Perumahan

- (Solar Home System). *Majalah Ilmiah Bina Teknik*, 1(1), pp.46–51.
- Setiawan, I.K.A., Kumara, S., & Sukerayasa, I.W., 2014. Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan DI. *Teknologi Elektro*, 13.
- Stapleton, G., & Neill, S., 2012. Grid-connected Solar Electric Systems: the Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation. *Grid-Connected Solar Electric Systems*, 235.
- Susilo, G.H., Hermawan., & Winardi, B., 2014. Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Diesel Dan Energi Terbarukan Di Pulau Enggano, Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak Homer. *Transient*, 3(2), pp.237--244.
- Tharo, Z., & Andriana, M., 2019. Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya Dan Angin Energi Fosil Di Sumatera. *Semnastek UISU*, 2(4), pp.141–144.
- Widayana, G., 2012. Pemanfaatan Energi Surya. *JPTK Undiksha*, 9, pp.37–46.