BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Kerja *Closed Cycle Vapor Turbogenerator (CCVT)*

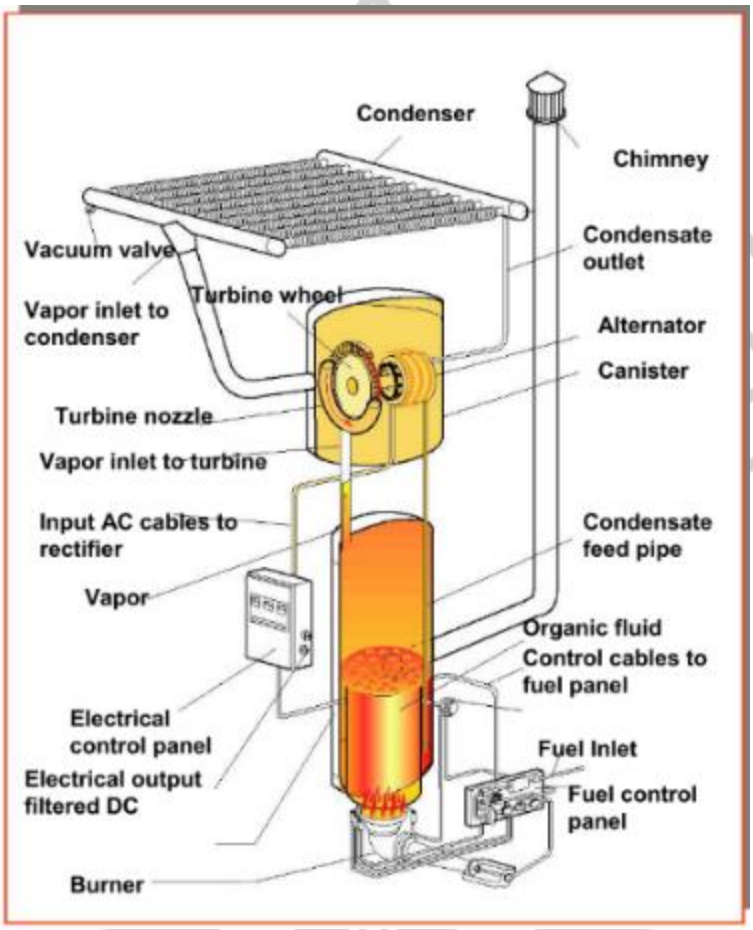
CCVT terdiri dari sistem pembakaran, generator uap, turboalternator, kondensor berpendingin udara, dan penyearah. Gambar 1 menunjukkan penampang CCVT. CCVT menggunakan genset siklus Rankine yang disegel secara hermetis yang hanya berisi satu bagian yang berputar dengan halus, yaitu poros, tempat roda turbin dan rotor alternator tanpa sikat dipasang (Gropper, 2014).

Poros turboalternator ditopang oleh pelumas bantalan "film fluida kerja", yang menghilangkan kontak logam-ke-logam, sehingga memberikan pengoperasian bebas perawatan dan bebas masalah selama bertahun-tahun. Siklus fluida tertutup dan hanya membutuhkan aplikasi panas eksternal untuk produksi daya yang berkelanjutan. Gas alam yang disalurkan melalui pipa merupakan bahan bakar ideal untuk CCVT. Karena kemurniannya, gas minyak cair sering dipilih sebagai bahan bakar yang diinginkan untuk aplikasikan.

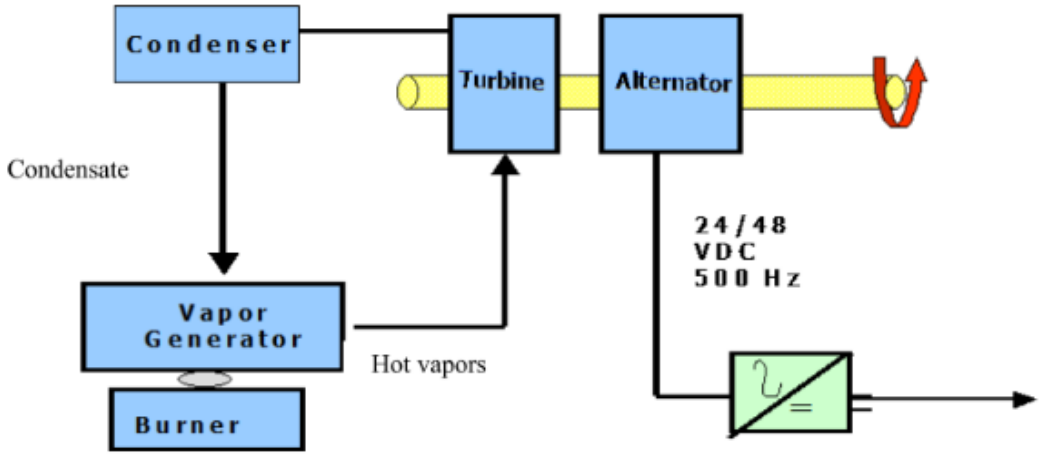
CCVT adalah sistem daya terintegrasi dan teruji sepenuhnya yang dapat menyediakan daya DC (arus searah) terfilter dari 400 W hingga 4.000 W secara terus menerus selama 30 tahun atau lebih, dengan perawatan minimal. Sistem ini mencakup paket daya mandiri, bersama dengan modul alarm dan kontrol, yang ditempatkan di dalam tempat penampungan. CCVT beroperasi sebagai berikut seperti di tunjukkan pada Gambar 2.1. Pembakar memanaskan cairan organik di generator uap di mana sebagian darinya menguap dan mengembang melalui roda turbin untuk menghasilkan daya poros untuk menggerakkan alternator.

Uap kemudian masuk ke kondensor di mana ia didinginkan dan dikondensasikan kembali menjadi keadaan cair. Cairan tersebut kembali ke generator uap, mendinginkan alternator dalam perjalanannya dan melumasi bantalan. Siklus berlanjut selama panas diterapkan pada generator uap. Karena wadah baja tahan karat cairan/uap disegel, tidak ada cairan organik yang hilang dalam proses tersebut. Selain itu, cairan kerja sepenuhnya kebal terhadap kondisi iklim di luar wadah yang disegel. Turboalternator menghasilkan daya AC tiga fasa (arus bolak-balik), yang kemudian diperbaiki dan disaring. Output standarnya adalah 24, 48, atau 110 volt DC. Tegangan DC lainnya dan AC tambahan dapat disediakan melalui penggunaan konverter dan inverter yang sesuai dalam sistem. Unit kontrol turbin digital mengontrol sistem CCVT seperti di tunjukkan pada Gambar 2.2.

Kontrol keselamatan melindungi dari setiap kelainan dan malfungsi, termasuk panas berlebih. Karena tekanan dan suhu operasi sistem yang rendah, keselamatan personel terjamin.



Gambar 2.1. Tampilan dari unit CCVT
Source: (Journal of Energy and Power Engineering 8 (2014) 2065-2073)



Gambar 2.2. Blok diagram CCVT
Source: (Journal of Energy and Power Engineering 8 (2014) 2065-2073)

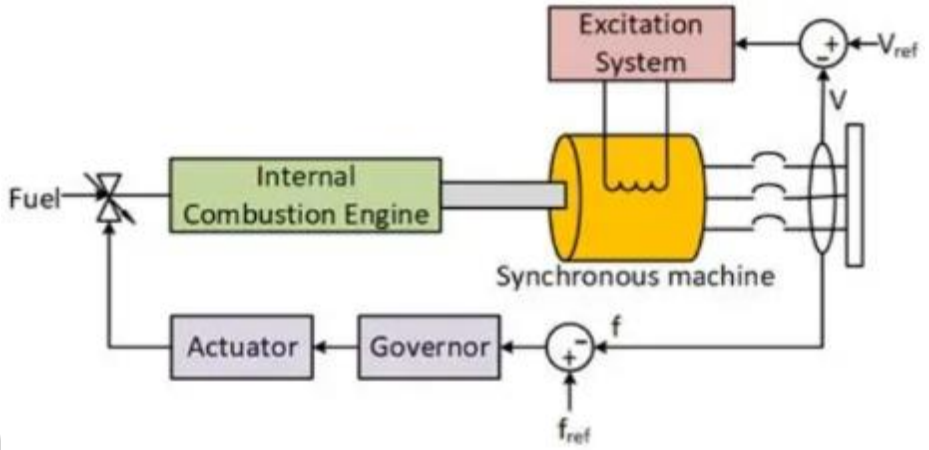
Tegangan keluaran diatur dengan mengontrol jumlah bahan bakar yang mengalir ke pembakar. Hal ini dicapai dengan sirkuit penginderaan tegangan atas dan bawah yang telah diatur sebelumnya, yang memantau tegangan DC keluaran dan, pada gilirannya, menutup atau membuka katup bahan bakar.

Beberapa kelemahan dari CCVT adalah:

a. Kapasitas terbatas
b. Konsumsi Gas Alam *(Natural Gas)* 8.8 m3/day
c. Butuh biaya perancah *(scaffolding)* saat perawatan
d. Butuh biaya pengangkatan *(lifting/crane)*
e. Membutuhkan banyak personnel untuk pengoperasiannya
f. Sudah using *(obsolete)*

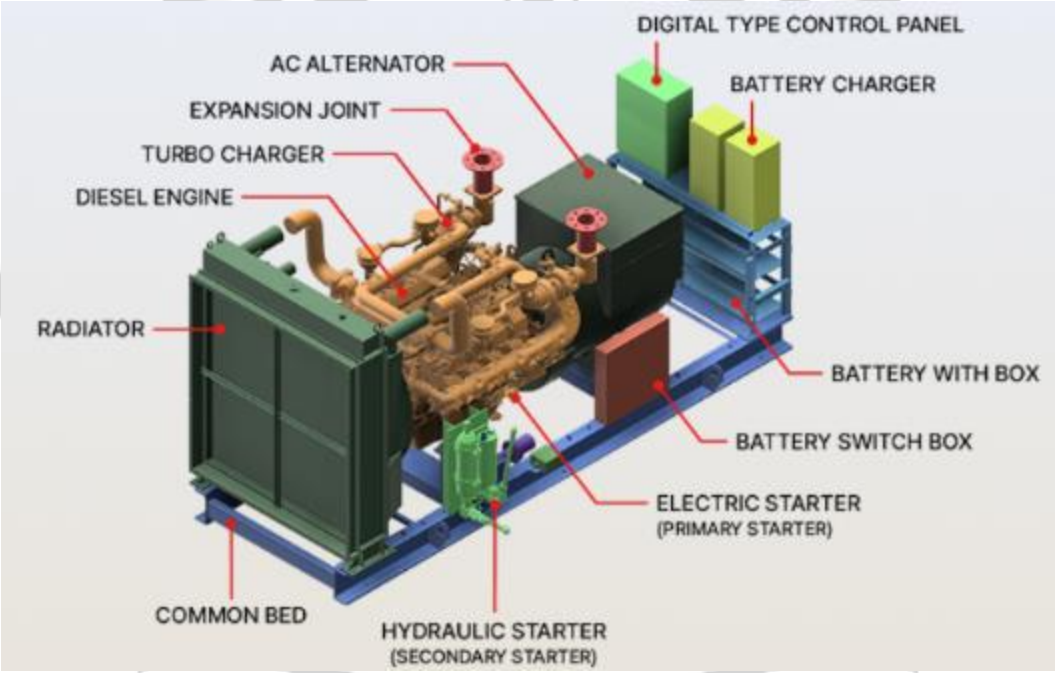
2.2. Prinsip Kerja Generator Diesel

Untuk menghasilkan energi listrik, generator sinkron (*synchronous generation*) harus di gerakkan oleh penggerak (*prime over*) seperti misalnya mesin diesel, yaitu mesin yang berbahan bakar minyak diesel. Penggerak generator memiliki kecepatan putar yang diatur oleh aktuator, dimana aktuator berfungsi membuka dan menutup aliran bahan bakar yang menuju ke internal combustion engine, melalui perintah governoor seperti Gambar 2.3. Sedangkan *governoor* berfungsi untuk mengontrol frekuensi (Hz) melalui kecepatan putaran mesin dan *Automatic Voltage Regulator* (AVR), yang berfungsi meningkatkan arus ekstitasi (*excitation system*), yang mengakibatkan medan magnet rotor akan bertambah semakin besar, sehingga fluks magnet akan meningkat dan tegangan generator akan naik menyesuaikan beban generator.



Gambar 2.3. Blok diagram DEG
(https://www.gpckorea.com/eng/product/emergency_generators.html)

Kompresi udara yang dipadukan dengan penyuntikan bahan bakar selanjutnya akan menghasilkan panas yang memicu terjadinya pembakaran. Melalui proses ini, generator diesel memulai menghasilkan energi listrik yang diperlukan untuk distribusikan sesuai kebutuhan (beban) yang terhubung pada generator diesel. Diagram. Pada Gambar 2.3 diatas, ditunjukkan contoh diagram generator diesel.



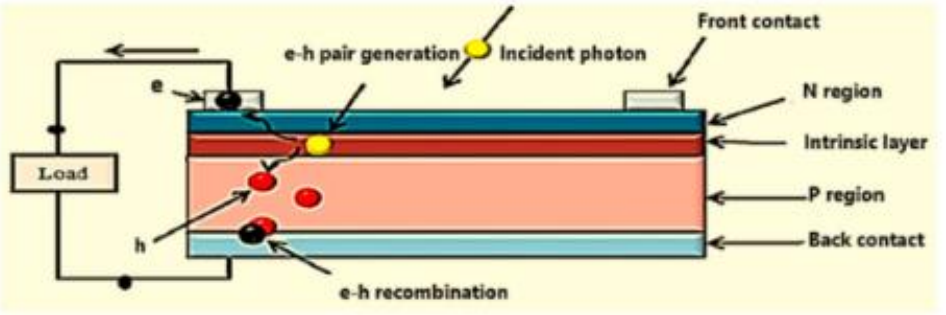
Gambar 2.4. Diesel Engine Generator (DEG)
(https://www.gpckorea.com/eng/product/emergency_generators.html)

Beberapa kelemahan dari diesel engine generator (DEG) adalah:

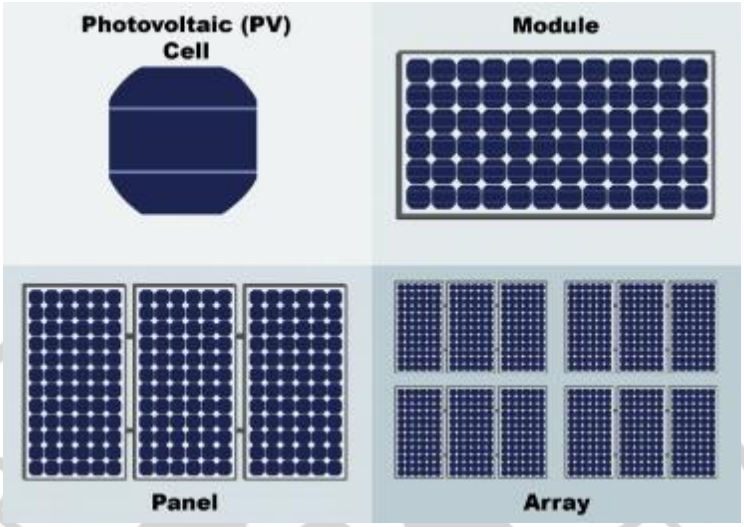
a. Kapasitas DEG pada platform pada umumnya melebihi dari yang dibutuhkan
b. Konsumsi *fuel*/bahan bakar minyak (BBM) 3.8 Liter/day
c. Membutuhkan biaya transportasi darat & laut untuk personnel, material dan fuelnya
d. Membutuhkan biaya pengangkatan *(lifting/crane)*
e. Membutuhkan banyak personnel untuk *operation and maintenance (O&M)*

2.3. Prinsip Kerja Surya Panel

Prinsip kerja sel surya adalah mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek fotovoltaik pada sambungan p-n didalam semikonduktor. Foton yang diserap didaerah sambungan Membangkitakan pasangan hole, medan listrik internal di daerah deplesi memisahkan keduanya sehingga muncul beda potensial dan arus listrik mengalir ketika rangkaian tertutup melalui beban sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.5. dibawah ini.



Gambar 2.5. Sel fotovoltaik (PV) dengan sambungan p-n.
(Al-ezzi, 2022).



Gambar 2.6. Sel, Modul, Panel dan Array
(https://energyresearch.ucf.edu/)

Sel surya disambungkan secara listrik konfigurasi rangkaian seri dan/ atau paralel untuk memperoleh tegangan, arus, serta daya yang lebih tinggi. Modul fotovoltaik tersusun atas rangkaian sel PV yang disegel dalam laminasi, dilengkapi pelindung terhadap lingkungan, serta merupakan komponen blok dasar dalam sistem fotovoltaik. Panel fotovoltaik terdiri atas satau atau lebih modul PV yang dirakit sebagai satu unit, telah dilengkapi pemasangan kabel, dan siap dipasang dilapangan. Susunan fotovoltaik adalah sebuah unit pembangkit listrik lengkap, dan terdiri dari sejumlah modul dan panel PV, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Tingginya kebutuhan energi listrik di seluruh dunia menyebabkan peningkatan ketergantungan pada pembangkit listrik semakin besar sebagai pemasok dan distribusi listrik sampai ke konsumen. Namun, pembangkit listrik yang masih mengandalkan bahan bakar fosil untuk menghasilkan listrik menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat dari pembakarannya dan memicu penurunan gas rumah kaca (GRK). Solusinya adalah peralihan ke sistem pembangkitan energi terbarukan yang lebih bersih seperti teknologi surya dan angin (Kenu E. Sarah, 2020).

Teknologi PV surya menjadi pilihan sebagai energi terbarukan yang lebih bersih, stabil, dapat di kembangkan dan hemat biaya perawatannya selama bertahun-tahun kedepan, umum dan mempunyai kapasitas untuk menyediakan listrik.

Sel surya merupakan perangkat yang memiliki fungsi utamanya mengonversi energi cahaya matahari secara langsung menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Karakteristik listrik sel surya meliputi arus, tegangan, atau resistansi, memiliki perbedaan dengan paparan energi cahaya dari sumber manapun, baik secara alami maupun buatan.

Sel surya dibentuk menjadi modul fotovoltaik. Sel surya terbagi dalam beberapa aplikasi. Dalam industri PV, sel surya digunakan sebagai blok penyusun modul surya seperti detektor foto sebagai penyalaan lampu jalan automatis, perangkat peralatan peka jalan lainnya seperti detektor inframerah, dan sebagai sensor cahaya untuk penelitian di bidang ilmiah.
Ada beberapa jenis panel surya yang umum digunakan, antara lain:

2.3.1. Sel Surya *Monocrystalline*

Sel surya monokristalin ditunjukkan pada Gambar 2.7., terbuat dari kristal tunggal silicon (Si). Sel monokristalin memiliki efisiensi 16%, tetapi efisiensi yang lebih tinggi sebesar 19,8% diperoleh dari sel surya silikon multikristalin yang disempurnakan, serta peningkatan 24,4% untuk sel monokristalin. Peningkatan sel multikristalin berasal dari permukaannya yang dilapisi dengan oksida yang terbentuk dengan sistem termal sehingga dapat membatasi proses elektronik yang merugikan dan dari etsa isotropik, menghasilkan tekstur permukaan "sarang lebah" simetris heksagonal.



Gambar 2.7. Panel Surya *Monocrystalline*
(*Understand the monocrystalline solar panel and benefits – TYCORUN*)

2.3.2. Sel Surya *Polycrystalline*

Sel surya Silikon Polikristalin (Poli-SI atau Mc-Si) bentuk modul fotovoltaik polikristalin seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8., yang dibentuk dari berbagai kristal, kemudian disatukan dalam bentuk sel satuan.

Biaya untuk prosedur pembentukannya hemat, yang melibatkan cetakan grafit untuk pendinginannya yang terdiri dari silikon cair. Ketika sudah mengeras, menghasilkan struktur kristal dengan berbeda ukuran yang mengalami cacat tepi.



Gambar 2.8. Panel surya *polycrystalline*
(Len 230P *Polycrystalline* - PT Len Industri (Persero))

Cacat ini akan mengurangi tingkat efisiensi dengan efisiensi laboratorium sebesar 18% hingga 23%, dan produksinya dalam kisaran 14% hingga 17%. Sel surya jenis poliskristalin Si ini merupakan sel yang paling umum dibandingkan yang lain, dengan kontribusi sebesar 48% dari total yang diproduksi.

2.3.3. Teknologi *Thin Film*

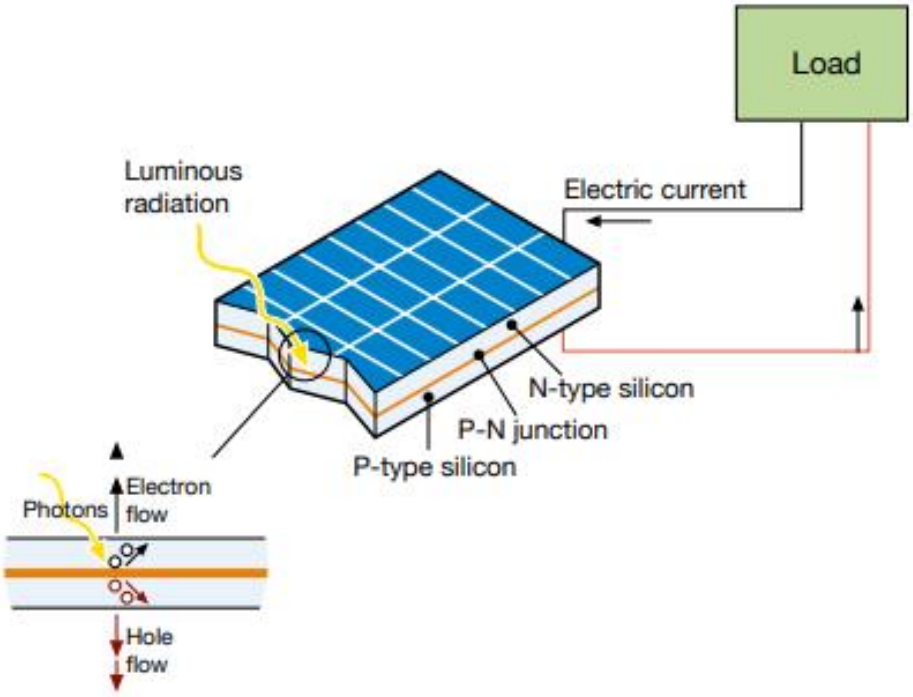
Sel surya ini merupakan sel surya generasi yang kedua dan merupakan sel silicon amorf, Kadmium Tellurida (CdTe) dan Tembaga Indium Galium diselenida (CIGS). Sel-sel ini di dapatkan secara komersial dan dipergunakan secara luas pembangkit Listrik tenaga surya skala

utilitas, karena thin film memiliki kinerja yang lebih baik dalam kondisi cuaca berawan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Panel surya *thin film*
(*https://jmhpower.com /everything-you-need-to-know-about-thin-film-solar-panels*)

Proses fotovoltaik terjadi ketika foton, partikel cahaya matahari, menyentuh permukaan panel surya yang mengandung material semikonduktor seperti silikon. Foton ini memiliki energi yang cukup untuk melepaskan elektron dalam material tersebut (Al-Ezzi & Ansari, 2022). Ketika elektron-elektron ini bergerak bebas, mereka menghasilkan arus listrik. Secara keseluruhan, panel surya dan teknologi fotovoltaik adalah solusi inovatif yang memanfaatkan energi terbarukan dengan dampak lingkungan minimal. Agar lebih jelas, silahkan lihat Gambar 2.10 dibawah ini untuk proses fotovoltaik.



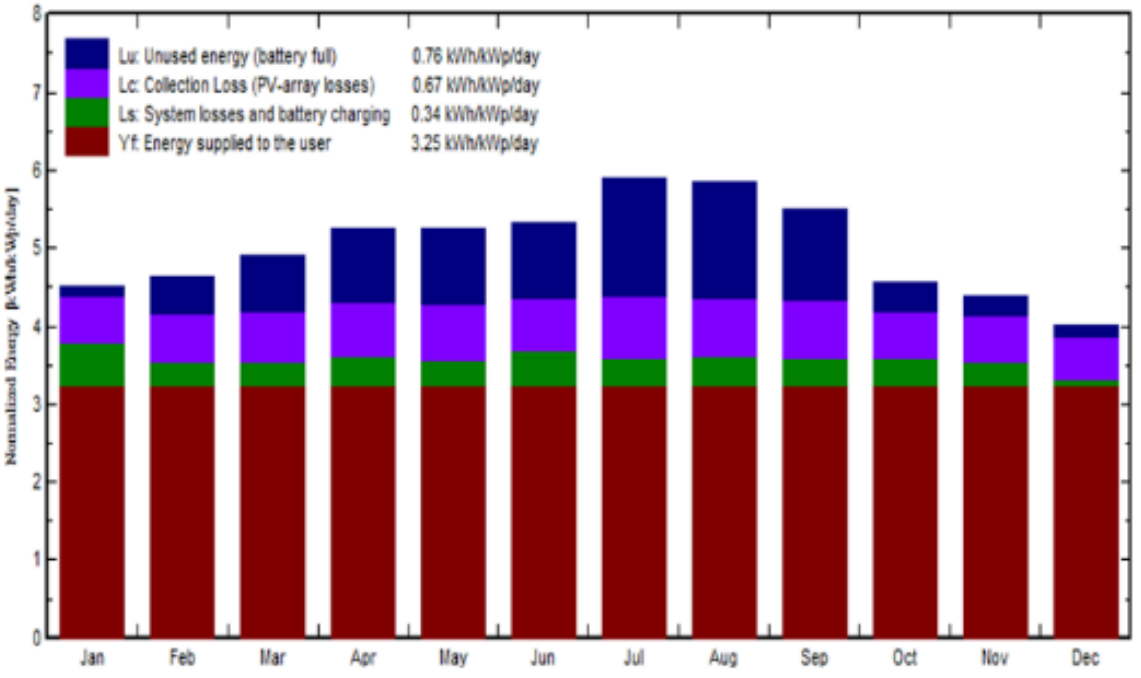
Gambar 2.10. Proses fotovoltaik
(*Technical Application Papers No.10 Photovoltaic Plants*, n.d.)

Efek fotovoltaik terjadi ketika sebuah elektron dipita valensi suatu material (umumnya semikonduktor) dipromosikan ke pita konduksi karena penyerapan satu foton (kuantum radiasi) elektromagnetik) yang cukup energik yang mengenai material tersebut. Faktanya pada material semikonduktor, seperti halnya material isolator, electron valensi tidak dapat bergerak bebas, tetapi jika dibandingkan dengan material isolator, celah energi antara pita valensi dan pita konduksi (khas material konduktor) kecil, sehingga electron dapat dengan mudah berpindah ke pita konduksi ketika menerima energi yang cukup dari luar. Energi tersebut dapat disuplai oleh radiasi Cahaya, sehingga terjadilah efek fotovoltaik.

Kinerja sistem dinilai berdasarkan beberapa poin kunci, yaitu energi yang dihasilkan per unit daya terpasang, yang mengukur seberapa efisien sistem PV memanfaatkan kapasitas terpasangnya untuk menghasilkan listrik. Selain itu, energi yang dihasilkan berdasarkan rasio kinerja (PR) juga dievaluasi, di mana PR menggambarkan rasio antara energi yang dihasilkan secara aktual dan potensi energi idealnya, memberikan gambaran tentang seberapa efektif sistem bekerja dalam kondisi nyata.

Kondisi SOC (State of Charge) dari baterai sepanjang tahun juga menjadi metrik kunci, yang menunjukkan tingkat pengisian dan pengosongan baterai selama operasi, mencerminkan kemampuan sistem untuk menyimpan dan menyediakan energi dengan andal (Shamarova et al., 2022).

Evaluasi terhadap ketiga metrik ini memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai kinerja keseluruhan sistem energi terbarukan. Poin-poin ini divisualisasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan 2.12 berikut.



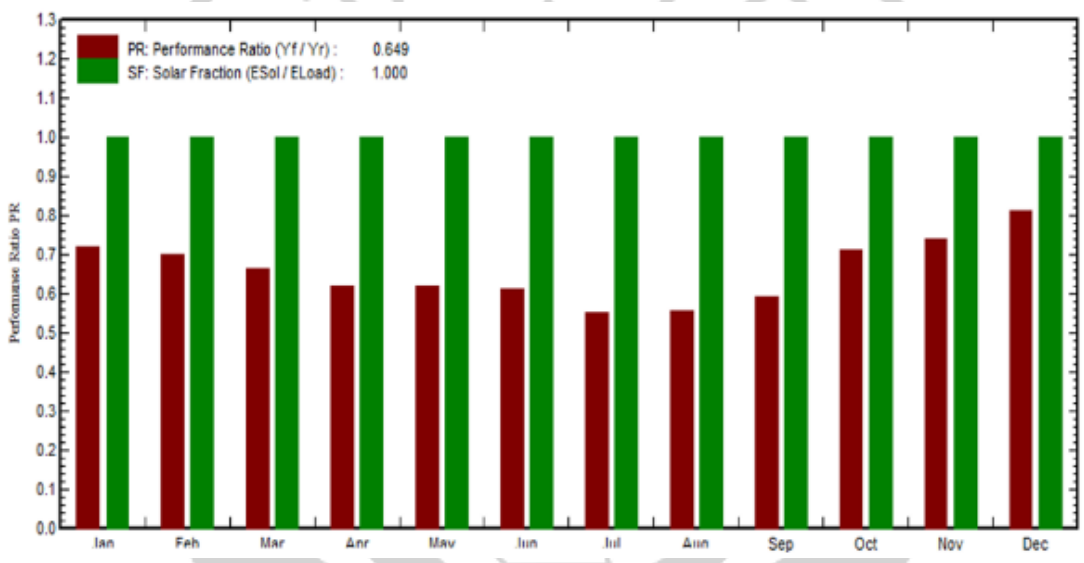
Gambar 2.11. Energi yang dihasilkan per unit kapasitas terpasang oleh PVsyst

Pada Gambar 2.11 di atas, energi yang dihasilkan dalam satu hari ditunjukkan dalam bentuk diagram batang yang menampilkan energi yang dihasilkan dan kerugian selama 12 bulan. **Lu** (energi yang tidak terpakai) adalah energi yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik (PV) tetapi tidak dapat disimpan di dalam baterai karena kapasitasnya sudah penuh. Energi ini tidak dapat dimanfaatkan ketika permintaan listrik dari beban tidak mencukupi.

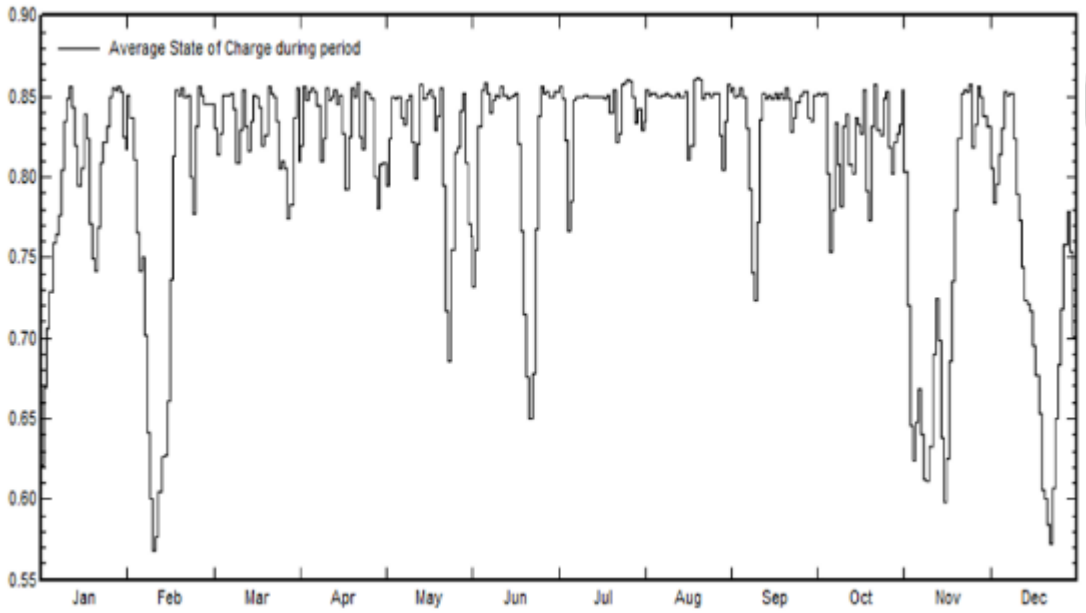
Lc (*collection loss*) mencakup kerugian yang terjadi pada array PV, seperti kerugian termal, kerugian kabel, dan faktor lainnya. Selanjutnya, **Ls** (kerugian sistem dan pengisian baterai)

mencakup kerugian dari inverter, di mana tidak semua energi yang dikirim ke baterai dapat disimpan karena adanya ketidakefisienan.

Efisiensi pengisian baterai dipengaruhi oleh kualitas dan teknologi baterai. **Yf** (energi yang disuplai ke pengguna) adalah energi yang dikirimkan ke pengguna dalam satu hari, yang mencapai 3,25 kWh/kWp/hari. Selain itu, parameter **Lu** penting untuk diperhatikan karena menunjukkan bahwa PV dapat menyediakan energi ke baterai hingga mencapai kondisi penuh.



Gambar 2.12. *Performance Ratio by PVsyst*



Gambar 2.13. *Battery SOC (State of Charge) condition over the year by PVsyst*

Gambar 2.13 menjelaskan tingkat energi yang tersimpan dalam baterai dibandingkan kapasitas maksimalnya. Variabel yang mempengarushi SOC meliputi:

1. SOC awal baterai
2. Energi atau arus pengisian
3. Energi atau arus pelepasan
4. Kapasitas baterai
5. Efisiensi charge atau discharge
6. Lamanya waktu operasi
7. Kebutuhan beban
8. Produksi energi dari PV
9. Batas SOC minimum dan maksimum
10. Temperatur serta degradasi baterai

Mengenai penyimpanan baterai dalam sistem Hybrid ini, grafik pada Gambar 2.13 menunjukkan kondisi pengisian baterai selama setahun dalam satuan bulan. Kurva yang mengarah ke atas menunjukkan kondisi di mana baterai sedang diisi oleh panel fotovoltaik (PV). Sementara itu, kurva yang mengarah ke bawah menunjukkan kondisi di mana baterai digunakan oleh beban akibat penurunan produksi PV (kondisi malam atau tidak ada sinar matahari). Hal yang perlu dicatat adalah bahwa kondisi SOC (State of Charge) baterai tidak mencapai batas bawah yang ditentukan, yaitu 20%. Terlihat bahwa batas bawah pada kurva berada di atas 55%. Panel PV juga mampu mengisi baterai hingga tingkat SOC sebesar 85%. Secara sederhana, Rasio Kinerja (PR) pada Gambar 8 adalah perbandingan antara energi akhir yang dihasilkan oleh sistem PV (Final Yield) dan energi referensi yang tersedia berdasarkan radiasi matahari (*Reference Yield*). Nilai PR dinyatakan dalam persentase (%), dan biasanya berada dalam rentang 0% hingga 100%, meskipun umumnya berada antara 70% hingga 90% pada sistem PV yang berfungsi dengan baik.

$$\boldsymbol{PR = \frac{Yf}{Yr}} \tag{2.1}$$

Dimana:

PR: Performance Ratio

Yf: Final Yield

Yr: Reference Yield

$$\boldsymbol{PR = \frac{Yf}{(Lu + Lc + Ls + Yf)}} \quad (2.2)$$

Dimana:

Lu: Unused energy loss

Lc: Collection/capture loss

Ls: System loss

Rasio Kinerja atau *Performance Ratio (PR)* menggambarkan seberapa efisien sebuah sistem PV beroperasi. PR sebesar 100% menunjukkan bahwa sistem bekerja tanpa kerugian, namun ini adalah kondisi ideal yang secara praktis tidak dapat dicapai karena berbagai kerugian yang terjadi pada sistem PV. PR antara 70% hingga 90% merupakan rentang umum untuk sistem PV yang berfungsi dengan baik, di mana kerugian yang dapat terjadi mencakup ketidakefisienan inverter, suhu tinggi, kerugian kabel, dan kerugian radiasi akibat kotoran. Sebuah sistem mungkin tidak berfungsi secara optimal jika PR kurang dari 70%. Hal ini dapat disebabkan oleh penempatan panel yang tidak tepat, ketidakefisienan perangkat keras, bayangan, atau manajemen energi yang tidak efisien. Sementara itu, Solar Fraction adalah perbandingan antara energi yang disuplai oleh sistem PV dan total kebutuhan energi, yang biasanya dinyatakan dalam persentase (%).

$$\boldsymbol{SF = \frac{E\ User}{E\ Load}} \quad (2.3)$$

Dimana:

SF: Solar Fraction

E user: energi dari sistem PLTS yang benar benar digunakan untuk memenuhi kebutuhan pengguna atau beban (kWh).

E load: total kebutuhan energi listrik beban selama periode pengamatan (kWh).

Solar Fraction (SF) pada Gambar 2.11 menggambarkan persentase kebutuhan energi yang dipenuhi oleh sistem PV. Jika Solar Fraction adalah 100%, berarti sistem PV sepenuhnya memenuhi semua kebutuhan energi dari beban. Namun, jika Solar Fraction kurang dari 100%, hanya sebagian dari kebutuhan energi yang dipenuhi oleh PV, sementara sisanya harus dipenuhi

oleh sumber energi lain seperti baterai atau generator. Dalam studi ini, perhitungan *State of Charge* (SOC) dilakukan menggunakan Metode Berbasis Tegangan, yang bergantung pada hubungan antara tegangan baterai dan SOC. Metode ini melibatkan tiga parameter utama, yaitu **Vbatt** adalah tegangan baterai saat ini, sedangkan **Vmin** adalah tegangan minimum yang dianggap sebagai State Of Charge 0%, dan **Vmax** adalah tegangan maksimum yang dianggap sebagai State Of Charge 100%.

$$\boldsymbol{SOC = \frac{Vbatt - Vmin}{V\,\mathrm{max} - Vmin}\ x\ 100\%} \tag{2.4}$$

Dimana:

SOC: Tingkat pengisian baterai (%)

Vbatt: tegangan baterai saat diukur (V)

Vmin: tegangan minimum baterai yang ditetapkan sebagai kondisi kosong atau SOC = 0% (V)

Vmax: tegangan maksimum baterai yang ditetapkan sebagai kondisi penuh atau SOC = 100%

Setelah melakukan perhitungan dan analisis sistem, penting untuk memahami bagaimana metode yang diterapkan dalam menentukan ukuran komponen sistem Hybrid ini berkontribusi terhadap kinerja keseluruhan. Metode perhitungan yang digunakan, termasuk analisis ukuran Stirling Engine Generator (SEG), panel fotovoltaik (PV), dan baterai, memberikan dasar yang kuat untuk mengevaluasi hasil yang diperoleh.

2.4. Stirling Engine Generator (SEG)

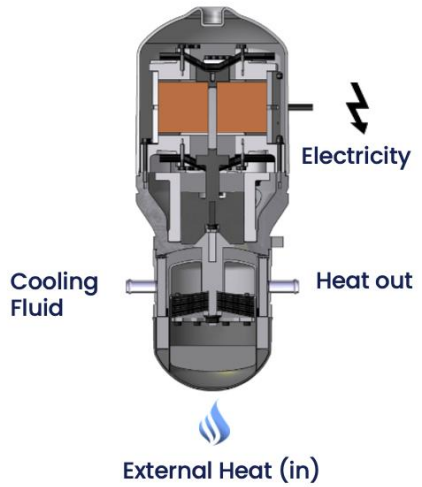
Mesin Stirling bekerja dengan semua jenis sumber panas berkat pasokan panas eksternal. Mesin ini memiliki banyak keunggulan dibandingkan mesin pembakaran internal, terutama dalam hal emisi kebisingan dan emisi polutan. Sejak mesin Stirling pertama ditemukan oleh Robert Stirling, pengembangan terus berlanjut. Mengingat masalah yang disebabkan oleh bahan bakar fosil, mesin Stirling menjanjikan dalam pemulihan energi surya, energi panas bumi, dan panas limbah (Arslan & Kocakulak, 2023).

Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut. Stirling engine generator terdiri dari beberapa main part, yang pertama adalah stirling engine itu sendiri, pada bagian bawahnya terdapat ruangan yang diisi oleh gas helium, dimana ruangan yang berisi gas helium ini dipanaskan oleh tungku *(burner)* yang menggunakan gas alam *(natural gas)*, pembakaran tersebut terjadi tepat di bagian bawah stirling engine.

Bagian bawahnya di panaskan sedangkan bagian atasnya itu didinginkan oleh cairan pendingin (*cooling fluid),* jadi dengan adanya perbedaan temperature ini, gas heliumnya menjadi terkompressi dan dekompressi, sehingga dapat menggerakkan free piston naik dan turun, dimana pada bagian shaftnya yang atas terdapat permanen magnet, jika shaft atau *free piston* digerakkan naik dan turun diantara belitan generator (*generator winding)* berwarna coklat di gambar ini, maka akan timbul ggl, sehingga terbangkitkan listrik AC. Dikarenakan pada anjungan minyak (*platform)* membutuhkan listrik DC, maka listrik AC 120V yang dihasilkan oleh stirling akan di searahkan menjadi listrik DC 24V menggunakan konverter yang telah disesuaikan dengan kebutuhan load pada *platform*.

Mesin Stirling juga memiliki karakteristik fleksibilitas bahan bakar. Segala bentuk sumber panas, termasuk energi matahari, bahan bakar fosil, biomassa, energi nuklir, dan lain-lain, selain itu, hal tersebut dapat diubah menjadi energi mekanik atau energi listrik melalui mesin stirling. Disamping itu, emisi mesin Stirling biasanya lebih bersih dari pada mesin pembakaran internal, *(Luo, 2024)*.

Stirling Engine Generator adalah generator yang memiliki tipe free-piston yang sangat andal untuk di operasikan di area terpencil, menggunakan bahan bakar gas alam yang irit dan menghasilkan emisi yang sangat rendah, sehingga dapat dipergunakan di area onshore maupun offshore dan mampu dioperasikan secara terus menerus, memiliki kinerja yang tahan lama, bebas perawatan, dan footprint kecil yang dapat menjadikannya ideal untuk digunakan sebagai sistem supplai energi di platform lepas pantai, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.14. *(www.qnergy.com)*.



Gambar 2.14. *Stirling Engine Generator* (SEG)
Source: www.qnergy.com

PowerGen adalah generator dalam ruang tertutup yang memakai prinsip keja mesin striling, menggerakan linier piston yang bergerak vertical naik dan turun dan memakai bantalan lentur (flexure bearing) dan linier generarotor sebagai pengganti fly wheel (roda pemutar). Output dari generator keluar tegangan AC, 120 atau 220 VAC. Proses pemanasan diberikan dengan membakar natural gas, External Heat Proses pendinginan memakai air yang dengan pendinginan radiator (Cooling Fluid dan Head out).

2.5. Gas Helium

Helium merupakan unsur ke-dua yang paling ringan setelah hidrogen, di alam semesta ini helium sangat berlimpah, tetapi di bumi helium jumlahnya terbatas. Helium biasanya dapat ditemukan dalam beberapa reservoir gas alam dan diperoleh melalui proses pemisahan serta pemurnian.

Fungsi helium pada stirling engine, helium digunakan sebagai gas kerja, bukan sebagai bahan bakar, artinya helium tidak dibakar dan idelanya tidak akan habis selama pengoperasian. Gas tersebut tetap berada dalam sistem tertutup. Siklusnya Adalah sebagai berikut:

a. Helium menerima panas dari tungku (burner).
b. Temperatur dan tekanan helium meningkat.
c. Helium mengembang dan mendorong free piston.
d. Helium mengalir melalui regenerator menuju sisi cooling fluid.
e. Helium melepaskan panas di cooler.

f. Helium di kompresi dan dikembalikan ke sisi panas.

Proses tersebut berlangsung secara terus menerus.

Helium memiliki beberapa keunggulan:

a. Aman dan tidak mudah terbakar, sangat sesuai digunakan pada instalasi minyak dan gas.
b. Perpindahhan panasnya cukup baik, mampu menerima dan melepaskan panas dengan cepat.
c. Ringan, hambatan aliran dan kerugian pemompaan relatif rendah.
d. Stabil dan tidak mudah bereaksi dengan piston, silinder maupun heat exchanger.
e. Sesuai digunakan pada tekanan tinggi, dapat meningkatkan massa gas dalam mesin dan kerapatan daya.

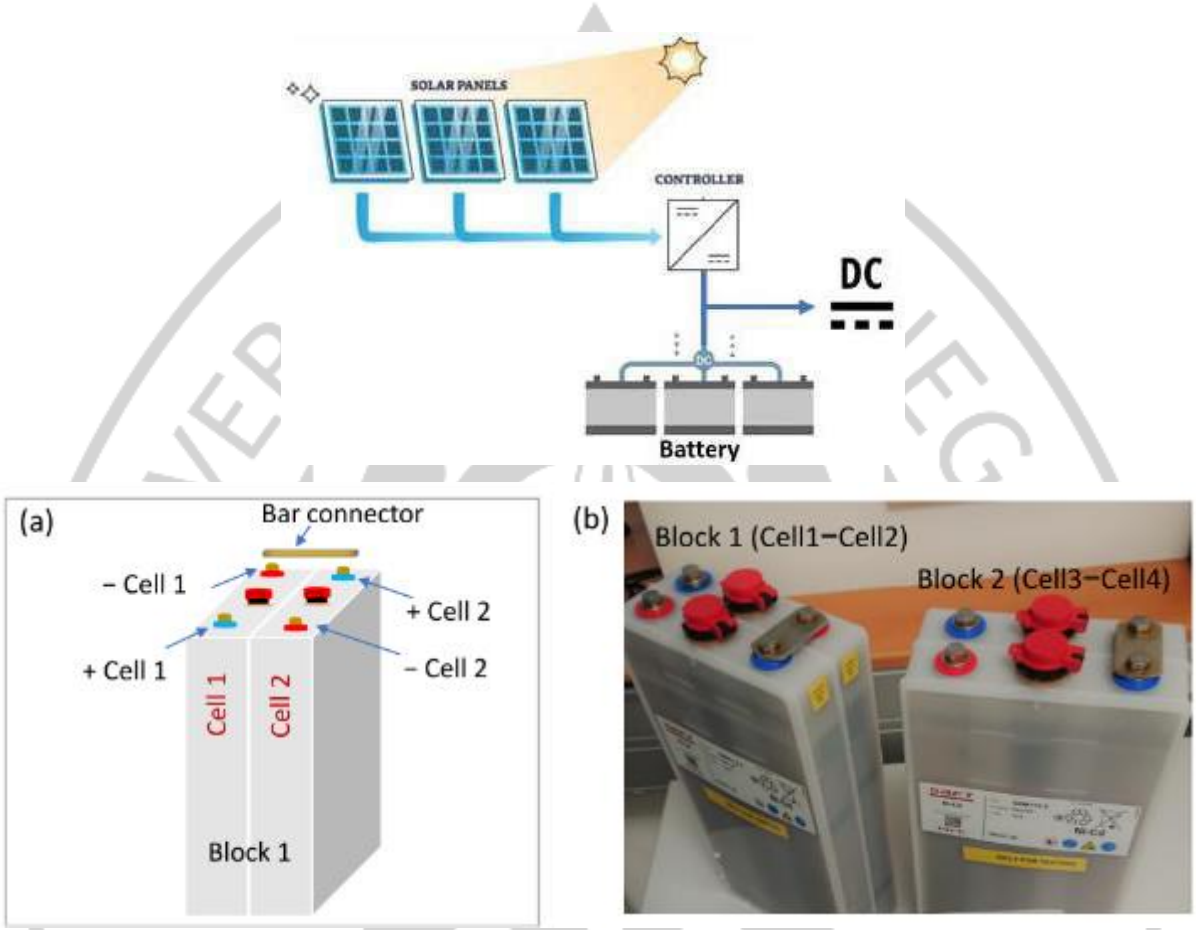
Ketika helium dipanaskan dalam sebuah sistem tertutup, temperaturnya akan meningkat, perubahan temperature dan volume kemudian menghasilkan perubahan tekanan yang digunakan untuk menggerakkan piston.

2.6. Penyimpanan Energi

Pada industri minyak dan gas lepas pantai, penggunaan baterai Nickel-Cadmium (NiCad) sering dipilih karena keandalan kinerjanya dalam kondisi ekstrem serta kemampuannya untuk bertahan dalam lingkungan yang menantang (R-Smith et al., 2022). Jika dibandingkan dengan baterai lain seperti lithium-ion atau lead acid, baterai NiCad memiliki beberapa kelebihan, antara lain ketahanan terhadap suhu ekstrem, dikarenakan baterai ini dapat beroperasi dengan baik dalam rentang suhu yang luas, baik suhu tinggi maupun rendah, ini sangat penting mengingat kondisi lingkungan yang sangat beragam. Baterai NiCad juga memiliki umur siklus yang lebih lama, mampu menjalani banyak siklus pengisian serta pengosongan tanpa kehilangan kapasitas yang signifikan, hal ini menjadikan pilihan yang ekonomis untuk jangka panjang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.15.

Salah satu keunggulannya adalah kemampuan pengisian yang cepat, memungkinkan energi yang disimpan segera tersedia setelah pengisian dan meningkatkan efisiensi operasional dalam situasi yang memerlukan respon cepat. Kinerja baterai ini dapat dipertahankan bahkan dibawah beban tinggi, Dimana daya yang konsisten sangat penting, serta kondisi terhadap overcharging

lebih toleran dan deep discharge, yang dapat mengurangi resiko keruskan pada pada penggunaan yang tidak teratur.



Gambar 2.15. Penyimpanan *Energy* menggunakan *NiCad Battery*
Source: (R-Smith et al., 2022)

Baterai NiCad memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, misalnya kelembaban yang tinggi dan terpapar zat-zat korosif, yang selalu terjadi di lokasi lepas pantai. Walaupun ada perhatian mengenai dampak lingkungan dari pemakaian cadmium, yang merupakan bahan beracun, manfaat ketahanan dan kinerja baterai NiCad sering kali dijadikan pilihan utama dalam konteks industry minyak dan gas lepas Pantai.

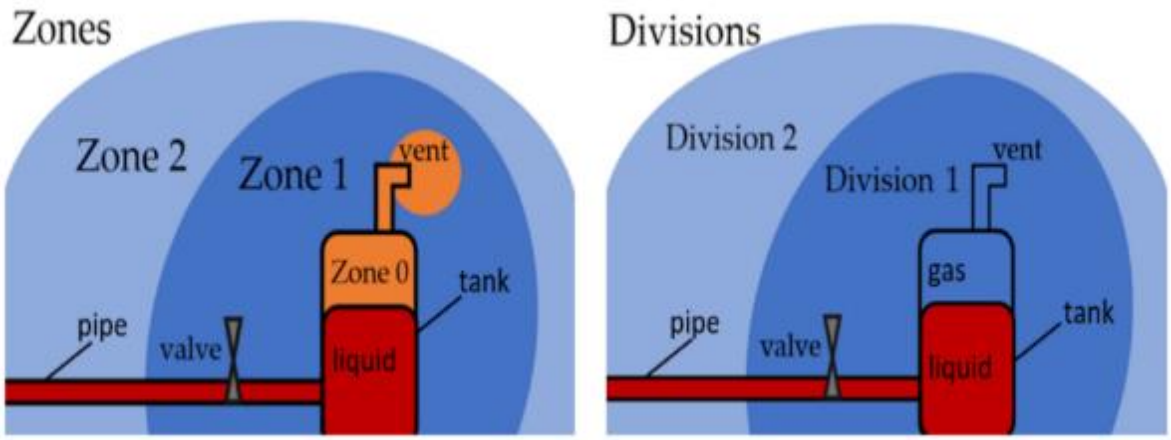
2.7. Area Berbahaya *(Hazardous Area)*

Selama perancangan dan pembangunan instalasi minyak dan gas, klasifikasi area berbahaya secara langsung mempengaruhi efektivitas pekerjaan pencegahan pengendalian kebakaran serta ledakan, hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Pendekatan

klasifikasi area berbahaya berdasarkan (pendekatan langsung, pendekatan titik sumber, dan pendekatan berbasis resiko), "Pedoman klasifikasi area berbahaya pada instalasi minyak dan gas" dapat membantu operator minyak dan gas untuk membuat manajemen resiko dan prosedur keselamatan yang konsisten pada tahap desain atau perbaikan agar dapat mengurangi kerugian jika terjadi kebakaran atau ledakan, serta saran tentang bagaimana memilih peralatan listrik dan mengatur /memasang sumber penyulutan *(ignition)* di area yang beresiko tinggi (Chí & Khí, 2018).

Penggunaan peralatan listrik pada instalasi area berbahaya *(hazardous area)* dengan ancaman atmosfer yang mempunyai potensi meledak, pemilihan peralatannya harus diperhatikan. Pilihan peralatan yang sesuai untuk di operasikan di atmosfer yang berpotensi meledak harus tentukan sejak awal desain instalasi dan diverifikasi pada saat pemasangan. Peralatan tersebut wajib memenuhi ketentuan ATEX Directive dan standar yang berlaku (Moldovan et al., 2022).

Zone 0, area dimana gas atau uap yang mudah meledak dapat muncul secara berulang atau bertahan dalam periode waktu yang lama.
Zone 1, yaitu area tempat gas berbahaya dapat muncul selama kondisi operasi normal.
Zone 2, yaitu area dimana gas berbahaya dapat muncul sesekali, dan dalam waktu yang singkat.



Gambar 2.16. *Hazardous Area Classification on (ATEX Zoning Example)*
Source: (Brkić & Stajić, 2021)

2.8. Perhitungan Keekonomian

Selain membahas aspek teknis, evaluasi dari sisi tekno-ekonomi juga dilakukan dalam penelitian ini untuk menilai sejauh mana konsep desain baru ini dapat memberikan dampak

ekonomi secara signifikan. Analisisnya termasuk perhitungan penghematan biaya operasional yang didapat dari peningkatan efisiensi energi terhadap system hybrid SEG-PV. Penilaian potensi penurunan konsumsi energi serta dampaknya terhadap biaya bahan bakar fosil serta pemeliharaan peralatan.

Berikut adalah persamaan untuk menghitung Pengembalian Investasi (ROI) dan Titik Impas (BEP), (Bakhshi & Sandborn, 2018).

$$ROI = \left\lfloor \frac{C\ save}{C\ inv} \right\rfloor x\ 100\% \quad (2.5)$$

$$ROI = \frac{Nilai\ deviasi\ \&\ energy\ saving\ antara\ hybrid\ \&\ 100\%\ SEG}{Nilai\ Investasi}\ x\ 100\% \quad (2.6)$$

Dimana:

ROI: *Return Of Investment*

C save; Keuntungan pertahun

Cinv: Nilai investasi awal

$$Payback\ time = \frac{Nilai\ investsi\ awal}{Keuntungan\ per\ tahun} \quad (2.7)$$

UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG