# Analisis Simulasi Perubahan Jumlah Baterai pada *Solar Cell* di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

**SKRIPSI**

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1




**Disusun oleh:**
**Okky Wahyu Safriani**
**16524073**

**Jurusan Teknik Elektro**
**Fakultas Teknologi Industri**
**Universitas Islam Indonesia**
**Yogyakarta**
**2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Simulasi Perubahan Jumlah Baterai pada *Solar Cell***

**di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh**
**Gelar Sarjana Teknik**
**pada Program Studi Teknik Elektro**
**Fakultas Teknologi Industri**
**Universitas Islam Indonesia**

**Disusun oleh:**

**Okky Wahyu Safriani**
**16524073**

**Yogyakarta, 24 Januari 2021**

**Menyetujui,**

**Pembimbing**



**Husein Mubarok, S.T., M.Eng**
**155241305**

# LEMBAR PENGESAHAN

## SKRIPSI

**Analisis Simulasi Perubahan Jumlah Baterai pada *Solar Cell***

**di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Okky Wahyu Safriani**
**16524073**

**Telah dipertahankan di depan dewan penguji**
**Pada tanggal: tanggal bulan tahun**
**Susunan dewan penguji**

**Ketua Penguji : Husein Mubarok, S.T., M.Eng,** _____

**Anggota Penguji 1: Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.** _____

**Anggota Penguji 2: Almira Budiyanto, S.Si, M.Eng.** _____

**Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan**
**untuk memperoleh gelar Sarjana**

**Tanggal: tanggal bulan tahun**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro**

**Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D.**

**045240101**

# PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 24 Januari 2021



Okky Wahyu Safriani

# KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,*

*Alhamdulillahirabbil'alamin,* segala puji dan syukur bagi Allah SWT Tuhan semesta alam, tidak lupa shalawat dan salam selalu dihaturkan kepada Rasulullah SAW. Berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul "Analisis Simulasi Perubahan Jumlah Baterai pada *Solar Cell* di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia" sehingga dapat selesai dengan baik sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

Penulis juga menyadari bahwa selama proses penelitian sampai selesainya laporan tugas akhir diperoleh dengan berbagai bantuan dan doa yang selalu diberikan dari berbagai pihak, ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis haturkan kepada:

1. Bapak Yusuf Aziz Amrullah S.T, M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Husein Mubarok, S.T, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan hingga skripsi ini terselesaikan.
3. Seluruh dosen dan karyawan Prodi Teknik Elektro FTI UII, yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama menempuh pendidikan hingga dapat menyelesaikan penelitian serta Laporan Skripsi.
4. Ayah, Bunda, dan seluruh keluarga yang tak henti-hentinya memberikan berbagai motivasi, dukungan dan doa hingga akhir penelitian serta Laporan Skripsi.
5. Teman-teman seperjuangan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro 2016 Universitas Islam Indonesia yang telah banyak berbagi informasi, motivasi, ide serta dukungan.
6. Seluruh pihak yang terlibat yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan Laporan Skripsi.

Penulis menyadari bahwa Laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna karena ada keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan baik. Semoga Laporan Skripsi ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang memerlukan.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.*

Yogyakarta, 3 Februari 2021



# ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

| | |
|---|---|
| PV | *Photovoltaic* |
| W | *Watt* |
| kW | *KiloWatt* |
| MW | *MegaWatt* |
| Wp | *WattPeak* |
| kWp | *KiloWattPeak* |
| kWh | *KiloWattHour* |
| kWh/yr | *KiloWattHour / Year* |
| ° | Derajat |
| % | Persen |
| Yr | *Year* |
| Hrs | *Hours* |
| D | *Day* |
| Rp | Rupiah |
| EBT | Energi Baru Terbarukan |
| PLT Biomassa | Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa |
| PLTP | Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi |
| PLTA | Pembangkit Listrik Tenaga Air |
| NPC | *Net Percent Cost* |
| TAC | *Total Annualized Cost* |
| CoE | *Cost of Energy* |
| FTI | Fakultas Teknik Industri |
| UII | Universitas Islam Indonesia |

# ABSTRAK

Konsumsi energi listrik selama ini didominasi oleh energi fosil yang jumlahnya terbatas, penggunaan energi terbarukan sebagai produksi energi listrik di Indonesia bukanlah hal baru. Selain mengurangi emisi karbon, penggunaan energi terbarukan khususnya *solar cell* dapat memanfaatkan sinar matahari yang jumlahnya tidak terbatas. Di FTI UII sendiri penggunaan *solar cell* sudah diterapkan dengan sistem *hybrid* antara *solar cell* dengan *grid*. Seringkali pada penggunaan pembangkit *hybrid on grid* konsumsi energi listrik tidak stabil dan tidak terpenuhi secara maksimal atau produksi energi dari pembangkit yang terbuang karena sudah memenuhi kebutuhan beban. Proyektor yang terpasang pada 36 ruangan di FTI UII mengkonsumsi energi yang tidak stabil, jika memahami pola konsumsi daya dari proyektor, jam kerjanya tidak menentu karena mengikuti kegiatan belajar-mengajar yang ada di FTI UII. Memahami kebutuhan beban serta produksi energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV (*Photovoltaic*) merupakan hal yang penting untuk menentukan kebutuhan ruang penyimpanan pada sistem itu sendiri. Seringkali pada kondisi lapangan sistem mengalami gangguan berupa trip, kemungkinan yang terjadi yaitu kapasitas baterai atau rangkaian pada sistem. Oleh karena itu, tujuan utama dari studi ini adalah untuk mengembangkan strategi dalam mengurangi produksi energi PV yang terbuang dan memahami kebutuhan penyimpanan baterai. Penelitian ini membandingkan jumlah baterai yang jenis dan kapasitasnya sama dengan baterai yang sudah terpasang terhadap produksi energi PV yang terbuang. Produksi energi yang terbuang diukur dari kebutuhan beban yang sesuai dengan kapasitas baterai untuk mendapatkan sistem yang optimal. Data konsumsi energi berasal dari *SolaX Portal* yang kemudian diolah menggunakan HOMER Pro dengan parameter pada Sistem *Hybrid Solar Cell* FTI UII. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada inverter 1 dan 2 kebutuhan baterai kurang dari yang seharusnya dipasang jika ingin memenuhi kebutuhan beban yang ditopang oleh sistem. Penambahan jumlah baterai juga berpengaruh terhadap *electrical* sistem, baterai, dan ekonomi. Berdasarkan simulasi, penambahan jumlah baterai dinilai lebih efektif dan layak karena dapat mengurangi gangguan yang terjadi, memenuhi kebutuhan kapasitas baterai yang sesuai dengan sistem, mengurangi biaya operasional dan penggantian yang diakibatkan dari kerusakan sistem.

**Kata Kunci:** ***Solar Cell, Hybrid*, Baterai, HOMER Pro.**

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... i
LEMBAR PENGESAHAN ..... ii
PERNYATAAN ..... iii
KATA PENGANTAR ..... iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN ..... vi
ABSTRAK ..... vii
DAFTAR ISI ..... viii
DAFTAR GAMBAR ..... x
DAFTAR TABEL ..... xi
BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1
1.1 Latar Belakang Masalah ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Batasan Masalah ..... 2
1.4 Tujuan Penelitian ..... 3
1.5 Manfaat Penelitian ..... 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA ..... 4
2.1 Studi Literatur ..... 4
2.2 Tinjauan Teori ..... 5
2.2.1 HOMER Pro (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) ..... 5
*2.2.2 SolaX Portal* ..... 6
2.2.3 *Solar Cell* (*Photovoltaic*) ..... 7
*2.2.4 Storage Battery* ..... 9
2.2.5 Inverter ..... 10
BAB 3 METODOLOGI ..... 12
3.1 Alur Penelitian ..... 12

3.2 Pengumpulan Data ..... 13
3.2.1 Radiasi Tenaga Surya ..... 13
3.2.2 Spesifikasi dan Parameter Komponen ..... 13
3.2.3 Beban ..... 14
3.3 Perancangan dan Simulasi ..... 15
3.3.1 Perancangan dan Simulasi Pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII dengan *software* HOMER Pro ..... 15
3.3.2 *Rating* Komponen ..... 16
3.4 Cara Analisis ..... 21
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 23
4.1 Analisis Pengujian Sistem Pembangkit *Hybrid Solar Cell* ..... 23
4.1.1 Sektor Inverter 1 ..... 23
4.1.2 Sektor Inverter 2 ..... 26
4.2 Analisis Penjumlahan Baterai ..... 29
4.2.1 Sektor Inverter 1 ..... 29
4.2.2 Sektor Inverter 2 ..... 32
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN ..... 35
5.1 Kesimpulan ..... 35
5.2 Saran ..... 36
DAFTAR PUSTAKA ..... 37
LAMPIRAN ..... 39

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Halaman awal dari *software* HOMER PRO ..... 6
Gambar 2.2 Halaman awal dari *Platform SolaX Portal* ..... 7
Gambar 2.3 Canadian Solar CS6P 260 P ..... 9
Gambar 2.4 Pylontech US2000B Lithium *Battery* ..... 10
Gambar 2.5 SolaX SK-SU5000E ..... 11
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian ..... 12
Gambar 3.2 Tampilan pemodelan sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII sektor 1 ..... 15
Gambar 3.3 Tampilan pemodelan sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII sektor 2 ..... 16
Gambar 3.4 Tampilan pengaturan *grid* ..... 16
Gambar 3.5 Tampilan desain pemodelan modul surya ..... 17
Gambar 3.6 Tampilan desain inverter ..... 18
Gambar 3.7 Tampilan pengaturan baterai ..... 18
Gambar 3.8 Tampilan pengaturan beban inverter 1 ..... 19
Gambar 3.9 Tampilan pengaturan beban inverter 2 ..... 20
Gambar 3.10 *Real time display* pada *SolaX Portal* ..... 20
Gambar 3.11 *Real time display* pada *SolaX Portal* ..... 21
Gambar 4.1 Grafik rata-rata produksi listrik bulanan selama satu tahun ..... 24
Gambar 4.2 Hasil simulasi baterai inverter 1 ..... 25
Gambar 4.3 Grafik rata-rata produksi listrik bulanan selama satu tahun ..... 27
Gambar 4.4 Hasil simulasi baterai inverter 2 ..... 28

# DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data potensi radiasi di wilayah FTI UII ..... 13
Tabel 4.1 Hasil simulasi *Electrical* sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII ..... 23
Tabel 4.2 Hasil simulasi PV Canadian Solar CS6P - 260 ..... 24
Tabel 4.3 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 1 ..... 26
Tabel 4.4 Hasil simulasi *Electrical* sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII ..... 26
Tabel 4.5 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 2 ..... 28
Tabel 4.6 Perbandingan penambahan jumlah baterai Inverter 1 dalam segi produksi ..... 29
Tabel 4.7 Perbandingan penambahan jumlah baterai Inverter 1 dalam segi konsumsi ..... 29
Tabel 4.8 Hasil perbandingan penambahan jumlah baterai inverter 1 dari segi baterai ..... 30
Tabel 4.9 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 1 ..... 31
Tabel 4.10 Perbandingan penambahan jumlah baterai dalam segi produksi ..... 32
Tabel 4.11 Perbandingan penambahan jumlah baterai dalam segi konsumsi ..... 32
Tabel 4.12 Perbandingan penambahan jumlah baterai inverter 2 dalam segi baterai ..... 33
Tabel 4.13 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 2 ..... 33

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang Masalah

Peningkatan laju perekonomian dan penduduk di Indonesia yang meningkat akan berdampak pada kebutuhan energi final dalam berbagai sektor yang harus diimbangi dengan ketersediaan energi. Penyediaan energi di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh energi fosil seperti minyak, batubara dan gas. Berkurangnya produksi energi fosil dan komitmen global dalam pengurangan emisi $CO^2$ mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi terutama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada sektor rumah tangga dan komersial[1].

Pemanfaatan energi surya menjadi salah satu energi alternatif untuk pilihan EBT di Indonesia selain karena memiliki iklim tropis dan tidak menimbulkan polusi yang dapat merusak lingkungan, juga karena kontinuitas jumlah energi yang tidak terbatas. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diproyeksikan menjadi *base - load* dengan didukungnya infrastruktur *storage* (baterai) yang memadai karena menjadi salah satu komponen modal terbesar dari sistem dengan kapasitas yang dimiliki oleh baterai nilainya bervariasi[2]. Selain karena berpengaruh terhadap parameter operasional modal yang rendah baterai berperan penting untuk mempertahankan kinerja energi terbarukan. Pada sistem sel surya baterai berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang telah dikonversi oleh panel sel surya dalam bentuk energi arus searah. Energi tersebut berfungsi sebagai cadangan (*back - up*) pada beberapa kondisi, seperti saat malam hari, cuaca yang mendung, hingga saat kebutuhan energi melonjak.

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia (FTI UII) turut serta dalam upaya peningkatan produksi listrik dengan pembangkit EBT berupa *Solar Cell* yang digunakan untuk menyuplai penggunaan energi listrik berupa proyektor yang ada di Gedung FTI. EBT tersebut berupa *hybrid power system*, yaitu satu atau lebih sistem pembangkit yang digabungkan untuk bekerjasama memenuhi kebutuhan beban dan memanfaatkan kelebihan dan kekurangan masing-masing demi mendapatkan sistem yang optimal. Sistem *hybrid solar cell – on grid* FTI UII telah berjalan dari tahun 2017. Sistem tersebut terdiri dari 2 buah inverter yang terdiri dari 3 buah baterai berkapasitas 2,2 kWh serta 21 unit modul surya atau *photovoltaic* (PV) berkapasitas 260Wp.

Sistem *Hybrid Solar Cell* FTI memiliki pola kebutuhan beban yang berbeda antara kedua inverter, di mana pola kebutuhan energi inverter 1 lebih tinggi daripada inverter 2. Sistem seringkali mengalami mengalami gangguan operasional, berupa trip yang terjadi pada kedua inverter, terutama inverter 1. Hal tersebut telah dianalisa, dimana terdapat dua kemungkinan besar

yang menyebabkan keadaan sistem pada inverter 1 sering mengalami trip yaitu dari segi baterai atau rangkaian. Untuk itu dilakukan studi kelayakan dari sistem tersebut terhadap kebutuhan beban dengan kapasitas baterai yang terpasang pada sistem selama ini.

Pemodelan menggunakan *software* HOMER Pro, dengan menyimulasikan 2 sektor sistem yang akan diuji, yaitu inverter 1 dan inverter 2. Dikarenakan *software* HOMER Pro tidak dapat menyimulasikan 2 sektor dalam satu pemodelan sekaligus. Tiap sektor dengan jumlah beban yang berbeda akan diuji dengan penambahan jumlah baterai. Parameter yang diperhitungkan dalam penambahan jumlah baterai, yaitu tercukupinya kebutuhan beban dengan kapasitas baterai yang digunakan serta produksi energi yang tersimpan dengan harapan energi yang terbuang lebih sedikit dan sesuai dengan kebutuhan dalam beberapa kondisi. Kondisi yang dimaksud adalah kondisi dimana kebutuhan energi listrik lebih banyak dan lebih rendah.

Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini peneliti melakukan analisis penambahan jumlah baterai pada *Solar Cell* FTI UII untuk mengetahui bagaimana kinerja baterai pada PV serta kemampuan energi yang tersimpan untuk setiap penambahan jumlah baterai pada *solar cell* dengan kapasitas dan jenis yang sama dari baterai yang sudah dipasang. Harapan dari pengujian ini dapat mengetahui pengoptimalan dari penyimpanan baterai sistem *Hybrid Solar Cell* FTI UII terhadap kebutuhan konsumsi serta produksi energi yang tersedia. Sehingga kedepannya penerapan dari sistem tersebut dapat dikembangkan lebih luas lagi cakupannya.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana analisis dari kinerja sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII yang sudah terpasang?
2. Bagaimana analisis dari simulasi yang dilakukan dengan software HOMER Pro pada sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII?
3. Berapakah jumlah baterai yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan beban di FTI UII dengan performa yang baik?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah berisi hal-hal yang membatasi lingkup penelitian.

1. Data beban yang digunakan dalam pelaksaan didapatkan dari *SolaX Portal* dalam jangka waktu Januari-Desember 2019.
2. Menggunakan komponen sistem *Hybrid Solar Cell* yang sudah terpasang di FTI UII, Canadian Solar CS6P-255 | 260P

3. Mengunakan baterai dengan kapasitas yang sama, yaitu 2,2 kWh untuk setiap penambahan jumlah baterai pada setiap sektor.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sistem kerja dari *Solar Cell* FTI UII.
2. Mengetahui perbandingan sistem kerja *Solar Cell* FTI UII dengan *software* HOMER Pro.
3. Mengetahui jumlah baterai yang efektif untuk mengurangi produksi energi PV yang terbuang dan memahami kebutuhan penyimpanan baterai *Solar Cell* FTI UII.

## 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui sistem kerja dari pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII.
2. Dapat mengetahui kebutuhan sistem penyimpanan baterai terhadap beban yang digunakan pada *Solar Cell* FTI UII.
3. Dapat memanfaatkan pengoptimalan baterai pada pembangkit *Hybrid Solar Cell* untuk menghasilkan dan menyimpan energi listrik yang maksimal pada lingkungan kampus FTI UII.
4. Dapat digunakan sebagai referensi untuk meningkatkan pembangunan sistem penyimpanan baterai pada pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII.

# BAB 2
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Studi Literatur

Penelitian yang dilakukan oleh M. Ridhwan Sufand, dkk [3] berfokus pada pengembangan sistem pengisian baterai gabungan antara energi alternatif sel surya dengan jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN). Penelitian tersebut memperhitungkan waktu pengisian baterai yang dibandingkan saat beban hanya disuplai oleh jaringan PLN dengan suplai dari kedua sumber energi alternatif dan jaringan PLN. Dari hasil penelitian tersebut waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai dengan dua sistem pembangkit dapat mempersingkat waktu pengisian dengan efisiensi sebesar 80-90%. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut adalah dengan pengujian prototipe yang selanjutnya menganalisis data berdasarkan parameter perhitungan jumlah PV, kapasitas *charger*, dan waktu pengisian baterai.

Pada tahun 2017 dilakukan penelitian mengenai pemodelan sistem energi alternatif *solar cell* sektor rumah tangga berlokasi di Swedia dan Spanyol yang dilakukan oleh Elsa Ruiz Bello [4]. Penelitian tersebut mengevaluasi pengaruh dari garis lintang, profil beban, dan radiasi matahari kemudian dibandingkan dengan besarnya energi yang diperoleh pada masing-masing kasus. Hasil dari penelitian tersebut mengatakan bahwa semakin besar kapasitas baterai, makin rendah energi yang dihasilkan oleh sistem yang tidak digunakan, ada kalanya peningkatan ukuran baterai tidak diimbangi dengan investasi kapasitas ekstra (penurunan produksi).

Penelitian yang dilakukan oleh Bagalini, dkk [5] menyajikan sebuah studi tentang sistem penyimpanan energi PV yang dipasang di apartemen *on grid* di Laboratorium Energi Hijau di Universitas Shanghai Jiao Tong, Cina. Hasil eksperimental harian menunjukkan bagaimana keberadaan penyimpanan energi mengurangi *feed-in* tengah hari dari kelebihan daya PV dan permintaan puncak malam hari, memberikan manfaat bagi jaringan distribusi dalam hal penurunan ayunan tegangan dan beban puncak. Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai profitabilitas sistem baterai PV dengan penggantian paket baterai dua kali (6 tahun masa pakai), dengan hasil tidak layak secara ekonomi. Namun, dengan mempertimbangkan skenario masa depan dari tarif listrik dua kali lipat, tarif ekspor berkurang setengah, dan penurunan biaya teknologi (-66% baterai dan -17% PV dan inverter), investasi baterai PV menjadi menguntungkan dan menunjukkan ketahanan yang lebih besar terhadap skenario masa depan daripada hanya PV investasi.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Thowil Afif, dkk [6] mengenai Analisis Perbandingan Baterai *Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid,* dan *Nickel-Metal Hydride* Pada Penggunaan Mobil Listrik Review dengan metode perbandingan jenis baterai sekunder yang

kemudian dianalisis. Hasil penelitian menyatakan *Lithium-Polymer* lebih baik dari *Lithium-Ion* sebab pada segi massa lebih ringan dan dapat menghasilkan energi yang hampir sama besar dengan Lithium-Ion. Sedangkan untuk Ni-MH dengan *Lead Acid*, Ni-MH memiliki massa dua kali lebih ringan yang mampu menghasilkan energi yang lebih tinggi. Keunggulan dari baterai berjenis *Lithium-Ion* adalah memiliki kepadatan energi yang tinggi sehingga dapat menyimpan banyak energi. Namun karena sensitivitasnya terhadap suhu tinggi menyebabkan baterai tersebut lebih mudah mengalami degradasi dan *life-time*nya pendek. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan untuk menggunakan jenis baterai adalah modal awal, *lifetime*, massa, volume, sensitifitas suhu, dan perawatan.

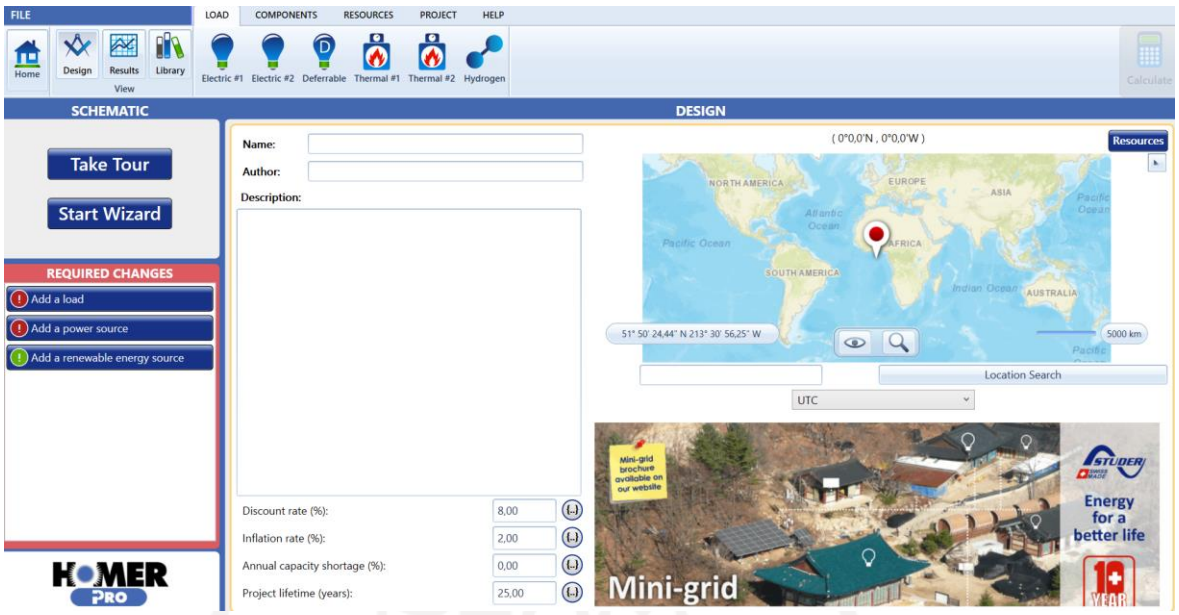
Berdasarkan dari penelitian-penelitian tersebut, pemodelan pada penelitian ini akan dilakukan menggunakan *software* HOMER Pro dengan membandingkan penambahan kapasitas penyimpanan baterai berjenis *Lithium-Ion* berkapasitas 2,2 kWh pada sistem *Hybrid Solar Cell* FTI UII. Pemodelan dilakukan pada kedua sektor inverter yang akan memperhatikan kelayakan dalam segi energi yang dapat disimpan, pemenuhan kebutuhan beban, dan segi ekonomi. Hal tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyimpan produksi energi serta berguna sebagai referensi untuk meningkatkan pembangunan sistem penyimpanan baterai pada *solar cell* serta kemampuan sistem untuk memenuhi kebutuhan beban yang ditanggung.

## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 HOMER Pro (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*)

Perangkat lunak HOMER Pro mampu merancang, merencanakan, dan menyimulasikan model *microgrid* yang sempurna yang dilengkapi dengan berbagai EBT. Perangkat lunak tersebut dapat melakukan pemodelan dengan berbagai kondisi yang dibatasi dengan berbagai variabel, sistem *on grid* atau *off grid*, dan dengan penyimpanan maupun tanpa penyimpanan. *Software* HOMER Pro akan memberikan kombinasi EBT yang paling optimal untuk beban yang diberikan sehingga akan menyederhanakan tugas operator sumber tenaga. HOMER Pro akan menghitung hasil yang optimal berdasarkan batasan spesifik dengan menyajikan solusi terbaik pada hasil akhir.

Selain itu *software* HOMER Pro juga membantu dalam memilih lokasi geografis tertentu, ukuran optimal dari sumber daya yang berbeda, beban listrik, dll. Yang mengarahkan jalur menuju perencanaan, perancangan dan simulasi model *microgrid* waktu nyata. Kontribusi utama *software* HOMER Pro adalah kemampuannya untuk menangani analisis biaya model yang dirancang. Perangkat lunak ini memungkinkan penghitungan biaya optimal untuk memenuhi total beban listrik[7].



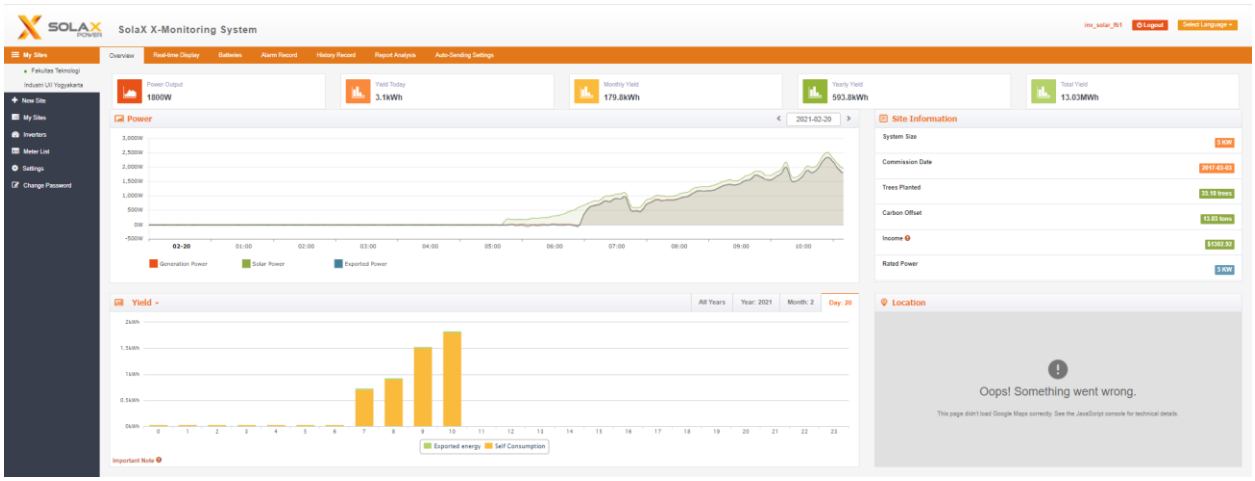

Gambar 2.1 Halaman awal dari *software* HOMER Pro

Gambar 2.1 menunjukkan tampilan utama pada *Software* HOMER Pro yang memiliki beberapa fitur untuk membantu proses simulasi yang dijalankan oleh perangkat lunak HOMER Pro. Beberapa fungsi utama pada HOMER Pro antara lain:

1. *Load*, dengan fungsi untuk menentukan berapa besar beban yang akan digunakan.
2. *Components*, adalah fitur yang menyediakan komponen-komponen yang dibutuhkan dalam perancangan suatu pembangkit listrik.
3. *Resource*, adalah fitur yang menyediakan pembangkit EBT.
4. *Project*, mengatur proyek yang akan dijalankan dalam bidang ekonomi, suhu, sinar matahari, dan lain-lain.
5. *Help*, adalah *problem solved* ketika dalam proses simulasi terjadi kesulitan saat melakukan simulasi.

### *2.2.2 SolaX Portal*

Sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UI sudah menerapkan *Solar Smart Building Sistem* sehingga semua aktivitas pada sistem dapat termonitor dengan baik sepanjang waktu. Sistem tersebut dapat dipantau secara online melalui sebuah situs resmi bernama *SolaX Portal*. *SolaX Portal* akan memonitor, mengumpulkan dan memproses *output* dari inverter tersebut setiap 5 menit[8].




Gambar 2.2 Halaman awal dari *Platform SolaX Portal*

Seperti pada Gambar 2.2. terdapat beberapa fitur sebagai informasi yang dibutuhkan dalam proses *monitoring*[9], antara lain:

1. *Overview*, adalah fitur yang digunakan untuk melihat daya yang dibangkitkan oleh PV dan *Feed in Power* secara *real time*.
2. *Real Time Display*, adalah fitur untuk melihat pola yang digunakan dalam penerapan sistem pembangkit.
3. *Batteries*, adalah fitur yang digunakan untuk menunjukkan kondisi baterai yang terpasang pada panel secara *real time*.
4. *Alarm Record*, adalah fitur yang digunakan untuk merekam kesalahan yang terjadi pada inverter.
5. *History Record*, adalah diatur yang digunakan untuk melihat *output* PV berupa arus PV, tegangan PV, *Feed in Power* dan daya pembangkitan PV.
6. *Report Analysis*, adalah fitur yang digunakan untuk mengunduh *report* dengan format *Microsoft Excel*.
7. *Auto Sending Setting*, adalah fitur yang digunakan untuk mengirim *report* otomatis yang berkala sesuai dengan keinginan dari pengguna.

### 2.2.3 *Solar Cell* (*Photovoltaic*)

Sel surya (*Solar Cell*) secara singkat merupakan seperangkat modul yang digunakan untuk mengkonversi energi tenaga surya menjadi energi listrik dengan proses yang disebut dengan *photovoltaic* (PV). *Solar Cell* termasuk jenis EBT yang telah banyak dikenal dan digunakan di Indonesia. Pada umumnya sel surya memiliki ketebalan 0,3 mm yang dibuat dari material semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Daerah semikonduktor yang berperan sebagai

pendonor bersifat negatif (tipe-n) dan penerima bersifat positif (tipe-p atau *hole*). Ikatan dari kedua sifat tersebut akan menghasilkan energi listrik yang mendorong elektron bebas bergerak menjauhi kutub negatif, sedangkan *hole* menjauhi kutub positif. Apabila p-n *junction* tersambung oleh beban maka akan menghasilkan arus listrik.[10].

Salah satu faktor yang mempengaruhi unjuk kerja dari *solar cell* adalah jenis material dan proses teknologi pembuatan sel surya. Pada pembuatannya bahan semikonduktor jenis silikon merupakan bahan yang paling umum dan sering digunakan, dengan keunggulan dapat menghasilkan energi dengan efisiensi yang tinggi. Teknologi bahan semikonduktor silikon dibagi menjadi beberapa jenis menurut batasan struktur dan bahan semikonduktornya, yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*. *Monocrystalline* terbuat dari batang silikon yang diiris tipis seperti *wafers* dengan ketebalan 200-250 μm dengan tingkat efisiensi paling tinggi (15-20%). Jenis tersebut unggul dalam segi performa saat cuaca mendung serta efektif untuk penggunaan jangka panjang. Namun kekurangan dari silikon jenis *monocrystalline* adalah kinerjanya akan menurun pada saat cuaca ekstrim, untuk segi harga dan ekonomis yang cukup mahal dibandingkan dengan *polycrystalline. Polycrystalline* terbuat dari batang *silicon* yang dilelehkan lalu dicetak pada pipa paralel, untuk diiris dengan ketebalan 180-300μm. Jenis ini dibuat untuk menurunkan harga produksi, sehingga menjadikan salah satu pilihan lain dari jenis silikon dengan tingkat efisiensi cukup baik (13-16%)[11].

*Solar cell* yang terpasang di FTI UII merupakan *Solar Cell* dengan merek dagang Canadian Solar seri CS6P-255 260P kapasitas 260W berjenis *polycrystalline* dengan efisiensi hingga 16.16%. *Solar cell* CS6P-255 260P mampu menghasilkan performa yang baik saat cuaca mendung dan dapat beroperasi baik pada iradiasi $> 96{,}5\%$. Jenis PV tersebut memiliki efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tipe *monocrystalline*, dan memiliki kinerja yang kurang baik dalam suhu tinggi. *Solar cell* tersebut bekerja pada rentang temperatur -40°$C$ − 85°$C$, jika temperature surya $> 85℃$ maka performa yang dihasilkan *solar cell* saat beroperasi menurun[12].



Gambar 2.3 Canadian Solar CS6P 260 P [12]

### *2.2.4 Storage Battery*

Baterai merupakan salah satu komponen terpenting dalam *solar cell* yang berfungsi sebagai media penyimpanan sementara energi listrik yang dihasilkan, agar dapat digunakan saat energi surya tidak ada (malam hari atau cuaca mendung). Besarnya kemampuan menyimpan arus listrik diukur dalam satuan *Watt/Hours* yang ditentukan dari besar kebutuhan daya listrik yang dibutuhkan dan kemampuan *solar cell* dalam mengisi. Pada baterai perlu memperhitungkan nilai *Depth of Discharge* (DoD), yaitu energi maksimal yang digunakan untuk menentukan batas kapasitas sesungguhnya dari baterai. Umumnya nilai DoD sebesar 80%[13].

Baterai dikategorikan dalam dua sifat yaitu primer dan sekunder (*rechargeable battery*). Baterai primer tidak dapat diisi ulang hanya digunakan satu kali saja, jika baterai sekunder dapat digunakan berkali-kali (diisi ulang saat dayanya mulai habis) dengan efisiensi 70-80% dalam siklus pengisian dan pengosongan. Baik sekunder maupun primer pada intinya bersifat mengubah bentuk energi kimia menjadi energi listrik yang dibedakan dalam beberapa jenis, antara lain *Lead–Acid Batteries, Nicad Batteries, Lithium-Ion Batteries, Nickel Metal Hydride Batteries,* dan yang sedang berkembang *polimer lithium*[6].

Jenis baterai dengan kapasitas kepadatan energi paling baik tanpa efek memori (penurunan kemampuan isi yang lambat saat tidak digunakan) adalah sel *Lithium-ion* (LI), jenis tersebut yang paling banyak digunakan pada barang-barang elektronik, industri militer, penerbangan, dan kendaraan listrik[6]. Selain itu kelebihan baterai jenis *Li-Ion* adalah kapasitas daya yang hilang

rendah yaitu 5%/bulan, namun saat baterai dalam keadaan benar-benar kosong memiliki kemungkinan rusak bahkan hancur karena sensitif terhadap suhu ekstrim sehingga cepat mengalami degradasi. Pada pembangkit *hybrid solar cell* FTI UII digunakan baterai jenis *Li-Ion* 2,2 kWh dengan jumlah 6 buah yang dibagi dalam dua sektor inverter. Untuk masing-masing sektor inverter terdapat 3 buah baterai yang terpasang.




Gambar 2.4 Pylontech US2000B *Lithium Battery*

### 2.2.5 Inverter

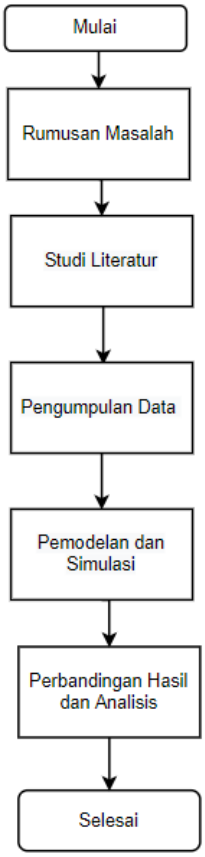
Inverter berfungsi untuk mengubah arus listrik searah atau *Direct Current* (DC) yang berasal dari modul surya menjadi arus listrik bolak-balik *Alternating Current* (AC), kemudian dikontrol kualitas daya listrik yang dihasilkan untuk disalurkan ke beban atau jaringan PLN. Sistem *hybrid solar cell* FTI UII sendiri telah menggunakan *Hybrid Synchronous Inverter* yang khusus mengkonversi tegangan DC-AC yang berasal dari energi terbarukan, yang tidak dapat berdiri sendiri, jenis tersebut harus terhubung oleh jaringan PLN atau yang sudah ada. Inverter dapat menyesuaikan tegangan AC, frekuensi, frasa, dan terdapat proteksi apabila terjadi gangguan pada jaringan PLN. Dalam penggunaan *Hybrid Synchronous Inverter*, diperlukan beberapa pemenuhan kriteria antara lain, tegangan, frekuensi, dan fasa yang dihasilkan sama dengan tegangan dan fasa dari jaringan yang ada atau PLN.




Gambar 2.5 SolaX SK-SU5000E

# BAB 3
# METODOLOGI

## 3.1 Alur Penelitian




Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan rumusan masalah terkait dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan.
2. Melakukan studi literatur mengenai penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya untuk perbandingan.
3. Melakukan pengumpulan data yang digunakan untuk penelitian, seperti spesifikasi dari komponen sistem *hybrid solar cell* FTI UII, data beban yang disuplai oleh *solar cell*, dan data intensitas radiasi matahari sebagai potensi dari *solar cell*.
4. Melakukan pemodelan dan simulasi kerja menggunakan *software* HOMER Pro dari pengumpulan data yang dilakukan pada point ke 3.
5. Melakukan perbandingan dan analisis terhadap simulasi yang telah dilakukan pada point ke 4.

## 3.2 Pengumpulan Data

### 3.2.1 Radiasi Tenaga Surya

Posisi matahari dan kedudukan wilayah di permukaan bumi berpengaruh terhadap potensi energi surya pada suatu wilayah. Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya. Rata-rata potensi radiasi matahari harian di Indonesia sebesar 4,5-4,8 kWh/$m^2$/*day*[14]. Sebagai wilayah yang dilalui garis khatulistiwa, Indonesia menerima radiasi yang cenderung tegak lurus dibanding wilayah lain dimuka bumi[15]. Energi surya sangat berpotensi untuk dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi alternatif. Berdasarkan data yang diperoleh dari NASA *Surface Meteorology and Solar Energy* pada *software* HOMER Pro, potensi radiasi matahari di wilayah FTI UII selama satu tahun ditunjukan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data potensi radiasi di wilayah FTI UII

| Bulan | Radiasi Harian (kWh/$m^2$/day) |
|---|---|
| Januari | 4,280 |
| Februari | 4,470 |
| Maret | 4,590 |
| April | 4,720 |
| Mei | 4,730 |
| Juni | 4,550 |
| Juli | 4,800 |
| Agustus | 5,250 |
| September | 5,540 |
| Oktober | 5,390 |
| November | 4,710 |
| Desember | 4,570 |

Data pada Tabel 3.1**Error! Reference source not found.** menunjukkan rata-rata dari radiasi matahari yang ada di lingkungan FTI UII. Nilai radiasi matahari per bulan tidak konstan dikarenakan faktor iklim dan cuaca yang terjadi di Indonesia setiap bulannya berkemungkinan untuk berubah-ubah. Namun apabila nilai radiasi tiap bulan di rata-rata dalam setahun didapatkan nilai sebesar 4,8 kWh/$m^2$/*day*, potensi penggunaan sumber energi alternatif berupa *solar cell* di FTI UII tergolong besar jika melihat rata-rata radiasi di Indonesia.

### 3.2.2 Spesifikasi dan Parameter Komponen

Untuk mendukung simulasi pada *software* HOMER Pro dibutuhkan spesifikasi dan parameter sesuai dengan data *sheet* komponen yang telah digunakan pada sistem *hybrid solar cell* FTI UII agar mendapatkan data yang aktual. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke

*software* HOMER Pro untuk disimulasikan. Simulasi yang dihasilkan digunakan untuk membandingkan dan menentukan simulasi mana yang mencapai target dari yang diharapkan. Capaian target pada simulasi ini dilihat dari 3 aspek, yaitu:

**a. *Electrical***

Dalam segi *electrical* target yang ingin dicapai dari hasil simulasi terdapat pada detail produksi dan konsumsi energi listrik yang digunakan oleh sistem. Untuk detail produksi dengan kemampuan PV yang dianggap optimal, nilai pada *grid purchases* dibawah 5% dari total produksi sistem. Agar dalam satu hari kekurangan suplai energi yang disalurkan dari *grid* tidak lebih dari 1 kWh/d. Dalam segi konsumsi pencapaian target untuk nilai pada *grid sales* tidak lebih dari 60%. Karena asumsi dari capaian target pada segi konsumsi adalah energi listrik yang diekspor ke *grid* sekecil mungkin, sehingga energi yang dikirim ke *grid* dapat dialihkan ke dalam bank penyimpanan atau baterai.

**b. *Battery***

Target yang ingin dicapai pada baterai adalah *autonomy* atau kemampuan durasi baterai untuk menyuplai beban secara mandiri paling tidak dua kali lipat dari jam operasional penggunaan ruang kuliah yang ada di FTI UII. Jam operasional yang ditetapkan mulai dari jam 06.00-18.00 yaitu sekitar 12 jam. Sehingga target capaian *autonomy* paling tidak dapat beroperasi kurang lebih 2 hari kerja dari jam operasional penggunaan ruang kuliah.

**c. *Economic***

Dari segi ekonomi target yang diperhatikan adalah nilai *Cost of Energy* (CoE) atau biaya yang dibutuhkan untuk membangkitkan atau memproduksi tiap 1 kWh energi listrik. Dengan asumsi tarif dasar listrik saat ini senilai Rp 1.444,70 per kWh maka nilai CoE yang ditetapkan menjadi target adalah di bawah 2 kali lipat dari tarif dasar listrik saat ini.

### 3.2.3 Beban

Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah beban dari 36 buah inverter yang dibagi dalam dua sektor, di mana masing-masing sektor menunjang 18 proyektor di FTI UII. Data beban bersumber dari *SolaX Portal* yang menampilkan beberapa daya dari *solar cell* secara *real time*. Data kemudian diolah untuk mendapatkan nilai beban perbulan dengan persamaan:

$$\boldsymbol{Beban = Generation\ Power - Export\ Power} \qquad 3.1$$

Keterangan:

*Generation Power* = Daya yang dibangkitkan oleh modul surya (W)

*Export Power* = Daya ekspor ke jaringan PLN (W)

Selai digunakan untuk mendapatkan nilai beban *export power* merupakan daya yang ditarik dari *generation power* untuk disuplai menuju beban, apabila dayanya berada pada kondisi surplus maka dapat mengekspor ke jaringan PLN lebih besar sehingga nominal dayanya positif. Sebaliknya jika daya di kondisi defisit maka harus menarik daya dari *generation power* sehingga nominal dayanya negatif. Dari *export power* dapat diketahui total impor - ekspor daya untuk mengetahui biaya yang harus dibayar dan total pendapatan yang didapatkan dari sistem.

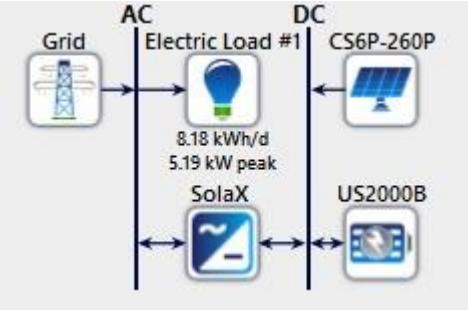
## 3.3 Perancangan dan Simulasi

### 3.3.1 Perancangan dan Simulasi Pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII dengan *software* HOMER Pro

Perancangan dan simulasi sistem pembangkit *hybrid solar cell* FTI UII yang dilakukan bersumber dari data yang diperoleh pada proses pengambilan data. Pada tahap pengambilan data, diketahui bahwa sistem pembangkit mengampu beban berupa 36 buah proyektor. Beban tersebut dibagi menjadi 2 sektor inverter, yang mana masing-masing inverter memiliki 3 buah baterai dengan kapasitas total sebesar 6,6 kWh. Pembagian sektor dilakukan karena *software* HOMER Pro tidak dapat melakukan simulasi dengan dua inverter sekaligus. Beban pada masing-masing inverter disesuaikan berdasarkan olahan data yang berasal dari *SolaX Portal*. Berikut merupakan pemodelan dari sistem pembangkit *hybrid solar cell* FTI UII:



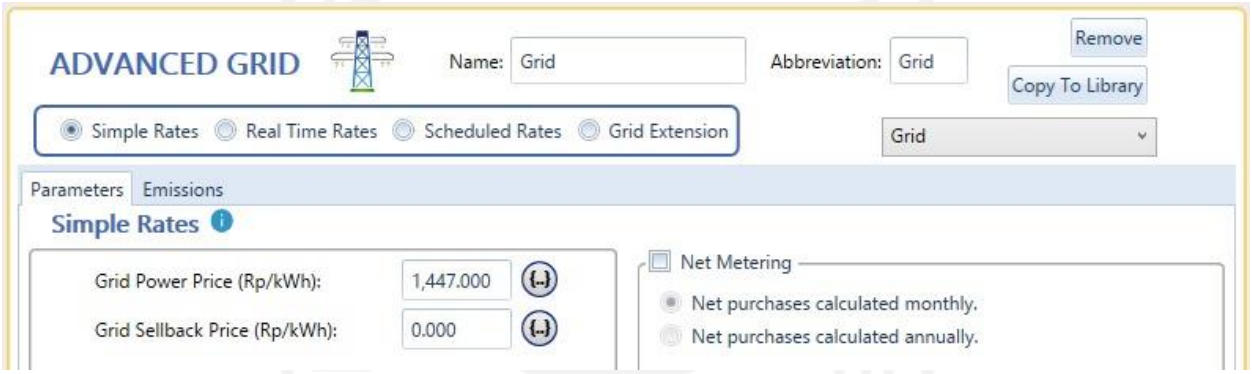

Gambar 3.2 Tampilan pemodelan sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII sektor 1




Gambar 3.3 Tampilan pemodelan sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII sektor 2

### 3.3.2 *Rating* Komponen

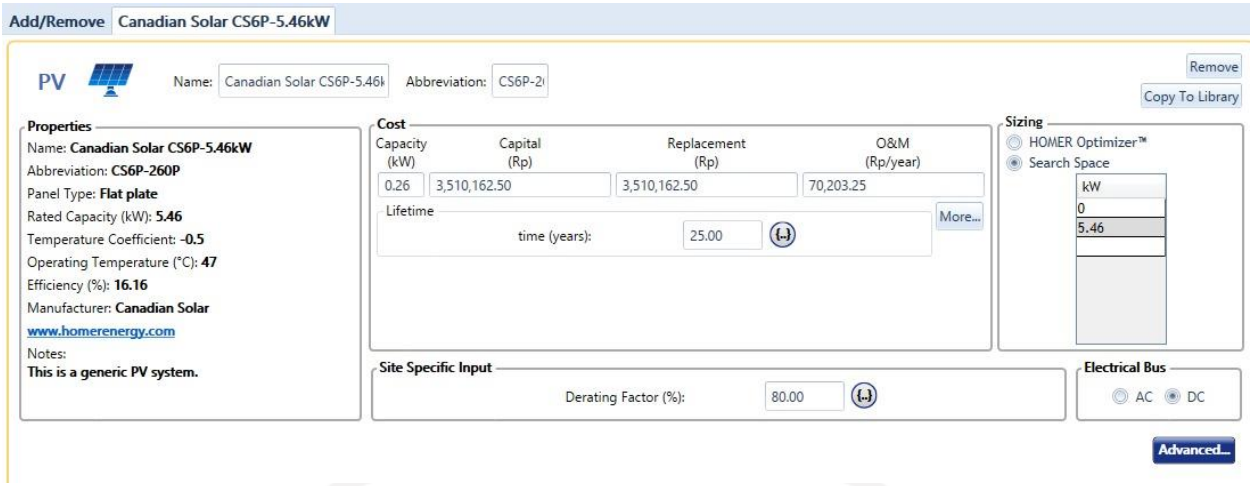
#### a. Jaringan (*Grid*)




Gambar 3.4 Tampilan pengaturan *grid*

Jaringan atau yang biasa disebut sebagai *Grid* merupakan jaringan yang berasal dari PLN. *Grid* pada simulasi ini berfungsi untuk membantu sistem pembangkit *hybrid solar cell* memenuhi kebutuhan beban jika suplai energi yang dihasilkan oleh *solar cell* kurang dari energi yang dibutuhkan oleh beban. *Grid* disimulasikan dengan tipe *Simple Rates* yang memungkinkan untuk menetapkan biaya konstan energi yang dibeli dari jaringan. Sesuai dengan keadaan harga beli listrik yang ada di Indonesia terbaru, ditetapkan senilai Rp 1.447/kWh seperti pada **Error! Reference source not found.**.

## b. Modul Surya



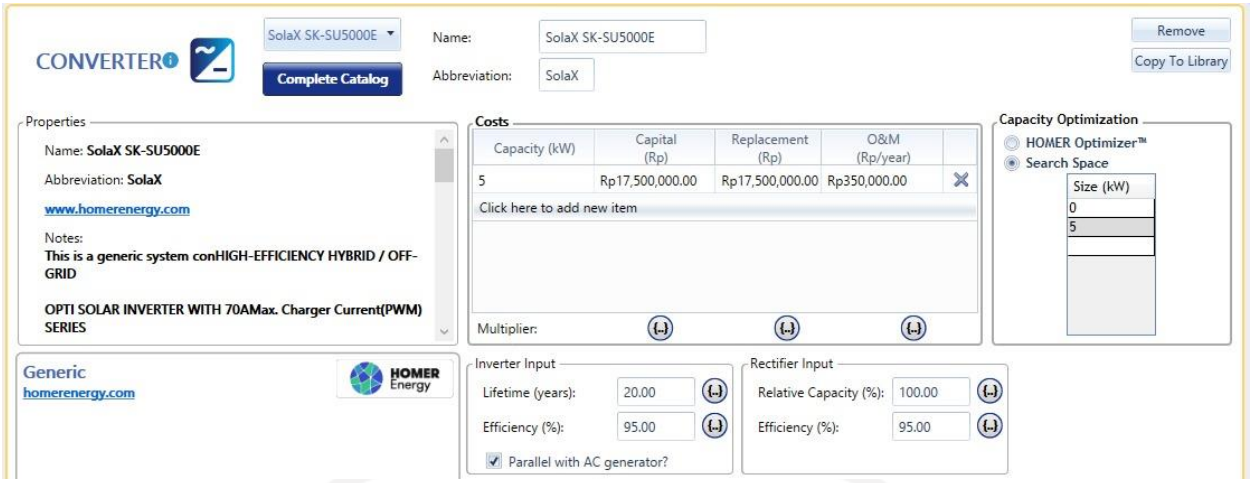

Gambar 3.5 Tampilan desain pemodelan modul surya

Pemodelan modul surya kedua sektor inverter yang ada pada sistem pembangkit *hybrid* di FTI UII menggunakan jenis dan jumlah yang sama dan berkapasitas 260Wp untuk setiap modulnya. Total modul yang terpasang pada sistem ini sebanyak 21 modul surya berkapasitas 5,46 kW yang dipasang seri untuk setiap sektor kemudian di paralel seperti desain pemodelan yang ada pada **Error! Reference source not found.** dengan spesifikasi rincian sebagai berikut.

- Tipe : Canadian Solar CS6P 260 P – 5,46
- Jumlah : 2 × 21 modul
- Kapasitas : 2 × 5 kWp
- Total Kapasitas : 2 × 5,46 kW
- Daya Nominal : 260 Wp
- Harga : Rp 3.510.162,50 per 0,26 kWp
- Biaya Pemeliharaan : Rp 70.203,25

Untuk perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional berasal dari 2% biaya investasi awal [16]

### c. Inverter



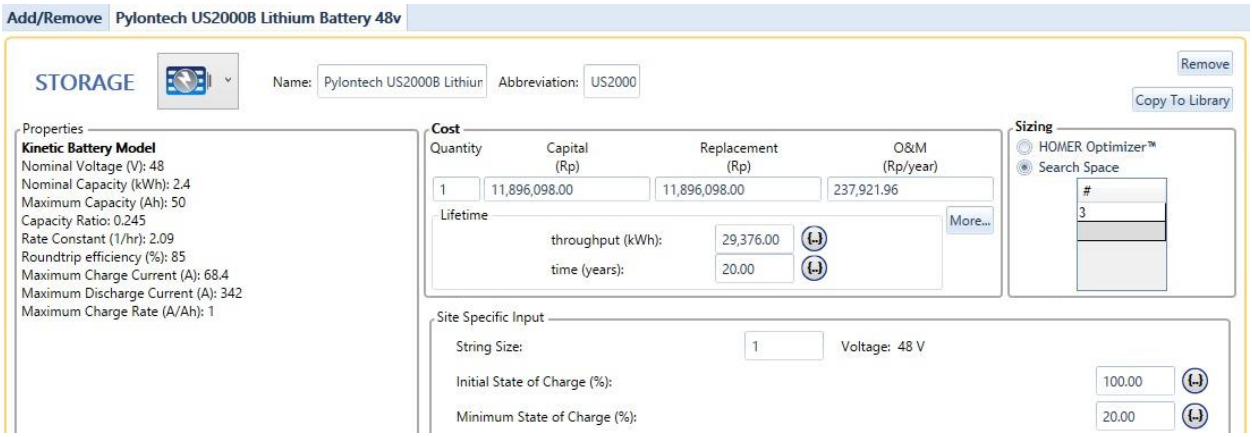

Gambar 3.6 Tampilan desain inverter

Untuk desain inverter sistem pembangkit *hybrid solar cell* FTI UII seperti pada **Error! Reference source not found.** terdiri dari 2 unit inverter *hybrid* 5kW baik sektor 1 dan 2 yang berfungsi untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan dari pembangkit dengan rincian sebagai berikut:

- Tipe : SolaX SK-SU5000E
- Jumlah : 2 unit
- Kapasitas : 5 kW
- Total Kapasitas : 10 kW
- Harga : Rp 17.500.000
- Biaya Pemeliharaan : Rp 350.000

Untuk perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional berasal dari 2% biaya investasi awal [16].

### d. Baterai



Gambar 3.7 Tampilan pengaturan baterai

Dari **Error! Reference source not found.** diketahui spesifikasi dari baterai yang digunakan pada sistem *hybrid solar cell* FTI UII adalah tipe Pylontech US2000B *Lithium Battery* yang memiliki 6 buah baterai dengan kapasitas 2,2 kW untuk setiap baterai yang terpasang. Untuk setiap sektor baterai dibagi dua sehingga tiap sektor memiliki 3 buah baterai yang memiliki total kapasitas 6,6 kW dengan tegangan nominal 48V. Kedua sektor inverter 1 dan 2 memiliki spesifikasi baterai yang sama seperti rincian berikut:

- Tipe : Pylontech US2000B *Lithium Battery*
- Jumlah : 3 unit
- Kapasitas : 2,4 kW
- Total Kapasitas : 6 × 2,4 kW
- Harga : Rp 11.896.098
- Biaya Pemeliharaan : Rp 237.921,96

Untuk perhitungan biaya pemeliharaan dan operasional berasal dari 2% biaya investasi awal [16].

**e. Beban : Inverter 1**



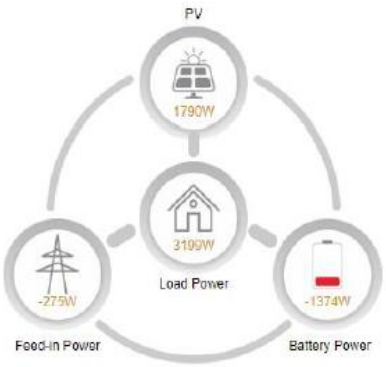

Gambar 3.8 Tampilan pengaturan beban inverter 1




Gambar 3.9 Tampilan pengaturan beban inverter 2

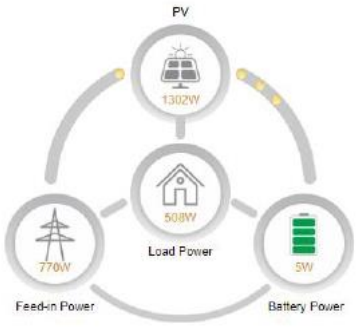
**Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** merupakan tampilan yang dihasilkan dari pengaturan beban di masing-masing sektor inverter. Untuk inverter 1 pada Gambar 3.8 diketahui bahwa kebutuhan rata-rata beban sebesar 13,26 kWh/d dengan kebutuhan beban puncak sebesar 4,47 kW di mana nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan inverter 2. Pada Gambar 3.9 menunjukan nilai rata-rata beban pada inverter 2 sebesar 8.18 kWh/d dengan kebutuhan beban puncak senilai 5,18 kW. Beban tersebut berdasarkan data aktual *SolaX Portal* yang terhubung dengan sistem pembangkit *hybrid solar cell* FTI UII yang dihasilkan 36 ruangan dalam Gedung FTI UII. Variasi nilai beban yang ditopang oleh masing-masing inverter memiliki pola kebutuhan beban yang berbeda sesuai dengan kebutuhan yang digunakan pada masing-masing sektor.

**f. Diagram Pembagian Inverter**



Gambar 3.10 *Real time display* pada *SolaX Portal*

Gambar 3.10 merupakan salah satu sampel dari penerapan daya yang terpasang pada sistem *Hybrid Solar Cell* FTI UII yang dapat dilihat secara real time pada *SolaX Portal*[9]. Terlihat pada saat kondisi beban yang ditopang oleh sistem sebesar 3.199W sedangkan kemampuan produksi PV sebesar 1.790W, maka sistem PV dianggap tidak mampu memenuhi kebutuhan beban. Kondisi baterai bernilai negatif menunjukan bahwa pada saat tersebut baterai sedang bekerja untuk membantu sistem untuk memenuhi kebutuhan beban senilai 1.374W. Dikarenakan energi untuk memenuhi kebutuhan beban masih kurang, dengan sistem *hybrid solar cell* maka sistem secara otomatis akan menyuplai energi yang berasal dari jaringan PLN. Hal tersebut ditunjukan pada *Feed in Power* yang bernilai negatif. Selain itu terdapat beberapa kondisi lain seperti pada Gambar 3.11.




Gambar 3.11 *Real time display* pada *SolaX Portal*

Dari Gambar 3.11 diketahui produksi dari PV sebesar 1.302W dengan kebutuhan beban lebih kecil, senilai 508W, sehingga sisa produksi energi yang dihasilkan oleh PV disalurkan untuk pengisian baterai, di mana baterai menunjukan nilai positif yang artinya baterai sedang dalam kondisi pengisian. Sedangkan sisa produksi PV sebagian disalurkan kepada jaringan PLN, sehingga pada *Feed in Power* menunjukan nilai positif, yang artinya sistem PV mengirimkan kelebihan daya ke jaringan PLN atau yang disebut sebagai ekspor energi.

### 3.4 Cara Analisis

Analisis akan dilakukan dengan cara uji coba penambahan baterai pada sistem pembangkit *hybrid solar cell* di FTI UII melalui *software* HOMER Pro untuk melihat hasil kerja sistem dan dampak dari penambahan jumlah baterai terhadap sistem. Dari hasil perbandingan yang sudah diuji, dilakukan analisis performa terhadap penambahan jumlah baterai tersebut dengan parameter yang ditentukan. Parameter utama yang digunakan untuk analisis adalah kapasitas baterai pada

sistem yang sudah terpenuhi dan besarnya kWh yang dapat tersimpan oleh baterai serta mengetahui kemampuan baterai dalam menyimpan produksi energi listrik.

Langkah-langkah yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui sistem penerapan pembangkit *hybrid solar cell* di FTI UII yang terbagi dalam dua sektor inverter.
2. Mendata beban, spesifikasi, dan biaya dari komponen yang digunakan pada pembangkit *hybrid solar cell* di FTI UII. Data beban yang disuplai oleh pembangkit *hybrid solar cell* di FTI UII berdasarkan data aktual tiap sektor inverter melalui *SolaX Portal* sepanjang tahun 2019. Beban tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan rata-rata beban per bulan sepanjang tahun 2019 yang dibagi menjadi dua keadaan *weekday* dan *weekend.*
3. Setelah seluruh kebutuhan data terpenuhi, data tersebut dijadikan acuan dalam simulasi sistem pembangkit *hybrid solar cell* di FTI UII menggunakan *software* HOMER Pro. Simulasi dilakukan dengan menambahkan jumlah baterai pada tiap sektor dengan memperhatikan beberapa parameter.
4. Kemudian dilakukan analisis terhadap performa tiap baterai, serta keterkaitan jumlah baterai terhadap rangkaian sistem pembangkit *hybrid solar cell* di FTI UII.

# BAB 4
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Analisis Pengujian Sistem Pembangkit *Hybrid Solar Cell*

Pengujian sistem disimulasikan dengan *software* HOMER Pro berdasarkan data dari *rating* komponen. Pengujian dibagi menjadi dua sektor sistem pembangkit berdasarkan inverter 1 dan 2 dengan data beban yang berbeda.

### 4.1.1 Sektor Inverter 1

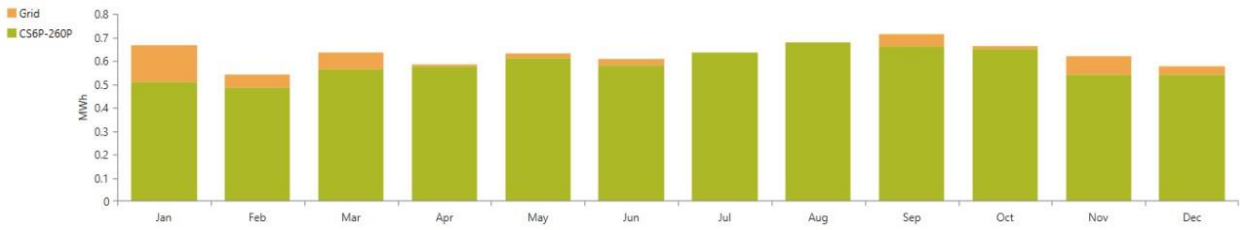
Simulasi yang dilakukan pada sektor inverter 1 memakai PV berkapasitas 5,46 kW dan baterai 3 × 2,2 kWh. Hasil simulasi hasil dari bidang kelistrikan dapat dilihat pada Tabel 4.1.**Error! Reference source not found.**

Tabel 4.1 Hasil simulasi *Electrical* sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII

| ***Excess and Unmet*** | | |
|---|---|---|
| *Quantity* | *Value* | *Units* |
| *Excess Electricity* | 0 | kWh/*yr* |
| *Unmet electric Load* | 0 | kWh/*yr* |
| *Capacity Shortage* | 0 | kWh/*yr* |
| ***Production Summary*** | | |
| *Component* | *Production* (kWh/*yr*) | *Percent* |
| Canadian Solar CS6P | 7.038 | 93,1 |
| *Grid Purchases* | 523 | 6,92 |
| Total | 7.561 | 100 |
| ***Consumption Summary*** | | |
| *Component* | *Consumption* (kWh/yr) | *Percent* |
| *AC Primary Load* | 4.836 | 68,3 |
| *DC Primary Load* | 0 | 0 |
| *Deferrable Load* | 0 | 0 |
| *Grid Sales* | 2.248 | 31,7 |
| Total | 7.084 | 100 |

Tabel 4.1***Error! Reference source not found.*** menampilkan mengenai detail produksi dan konsumsi listrik oleh sistem. Total produksi energi listrik PV dan *grid* yang dihasilkan dari sistem adalah 7.561 kWh/*yr*. Penyumbang produksi terbesar pada sistem ini berasal dari PV senilai 7.038

kWh/*yr* atau 93,1% dari total produksi. Sisa produksi listrik sebesar 523 kWh/*yr* atau 6,92% berasal dari *grid*. Selain total produksi, terdapat total konsumsi sebesar 7.084 kWh/*yr* yang digunakan untuk melayani beban AC senilai 4.836 kWh/*yr* atau 68,3% dari total konsumsi. Sisanya adalah hasil kalkulasi energi dari sistem yang diekspor ke *grid* kembali senilai 2.248 kWh/*yr* atau 31,7%.




Gambar 4.1 Grafik rata-rata produksi listrik bulanan selama satu tahun

Gambar 4.1 Grafik rata-rata produksi listrik bulanan selama satu tahun menunjukkan grafik rata-rata produksi energi listrik setiap bulan yang berasal dari *grid* dan PV. Dari gambar tersebut produksi energi listrik setiap bulan didominasi oleh PV, terutama pada bulan Agustus yang menghasilkan produksi listrik senilai 0,7 MWh/*yr*. Namun pada bulan-bulan tertentu produksi energi PV tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban, sehingga secara otomatis akan membeli daya dari *grid*. Berubah-ubahnya produksi PV berkaitan dengan beberapa faktor yang mempengaruhi, dari segi eksternal berupa cuaca atau intensitas penyinaran matahari maupun eksternal berupa *life-time* PV atau jenis dari modul surya. Berkaitan dengan produksi listrik yang dihasilkan oleh PV, berikut merupakan hasil simulasi PV:

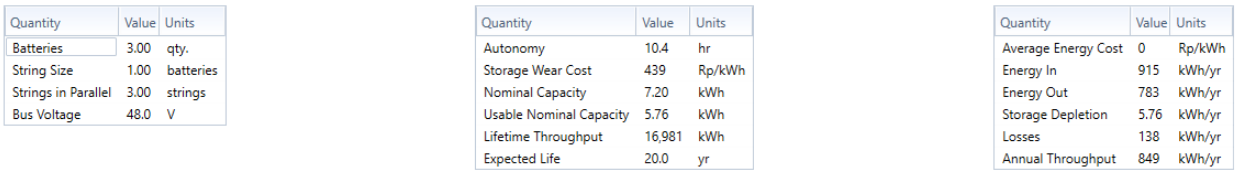
Tabel 4.2 Hasil simulasi PV Canadian Solar CS6P - 260

| No. | *Quantity* | *Value* | *Units* | No. | *Quantity* | *Value* | *Units* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | *Rated Capacity* | 5,46 | kW | 6. | *Minimum Output* | 0 | kW |
| 2. | *Mean Output* | 0,803 | kW | 7. | *Maximum Output* | 4,30 | kW |
| 3. | *Mean Output* | 19,3 | kWh/d | 8. | *PV Penetration* | 146 | % |
| 4. | *Capacity Faktor* | 14,7 | % | 9. | *Hours of Operation* | 4.383 | Hrs/yr |
| 5. | *Total Production* | 7.038 | kWh/yr | 10. | *Levelized Cost* | 801 | Rp/kWh |

Tabel 4.2**Error! Reference source not found.** memuat informasi mengenai pengoperasian yang dihasilkan oleh PV terhadap sistem. Dalam satu tahun PV mampu memproduksi energi listrik sebesar 7.038 kWh/*yr* dengan rata-rata keluaran 19,3 kWh/*day*. Kapasitas PV dalam kondisi standar sebesar 5,46 kW dengan maksimal produksi sebesar 4,30 kW. Pada bagian *hours of operation* menunjukkan nilai 4.383 *Hrs*/*yr* artinya dalam satu hari selama satu tahun PV dapat beroperasi optimal paling tidak selama 12 jam per hari, dengan catatan bahwa daya yang dapat

diproduksi tidak stabil. Hal tersebut terjadi karena energi yang dihasilkan oleh PV tergantung pada cuaca dan kondisi lingkungan. PV akan benar-benar menghasilkan daya yang maksimal pada saat radiasi matahari tinggi yaitu saat siang hari dengan durasi 3-5 jam.

Dari kemampuan PV untuk menghasilkan energi, unit baterai akan berperan sebagai media penyimpanan energi sementara yang digunakan pada sistem maupun sebagai cadangan energi untuk menyuplai kebutuhan beban yang melebihi dari hasil produksi PV yang akan ditampilkan lebih detail dengan rincian hasil simulasi lebih lanjut pada Gambar 4.2.



| Quantity | Value | Units |
|---|---|---|
| Batteries | 3.00 | qty. |
| String Size | 1.00 | batteries |
| Strings in Parallel | 3.00 | strings |
| Bus Voltage | 48.0 | V |

| Quantity | Value | Units |
|---|---|---|
| Autonomy | 10.4 | hr |
| Storage Wear Cost | 439 | Rp/kWh |
| Nominal Capacity | 7.20 | kWh |
| Usable Nominal Capacity | 5.76 | kWh |
| Lifetime Throughput | 16,981 | kWh |
| Expected Life | 20.0 | yr |

| Quantity | Value | Units |
|---|---|---|
| Average Energy Cost | 0 | Rp/kWh |
| Energy In | 915 | kWh/yr |
| Energy Out | 783 | kWh/yr |
| Storage Depletion | 5.76 | kWh/yr |
| Losses | 138 | kWh/yr |
| Annual Throughput | 849 | kWh/yr |

Gambar 4.2 Hasil simulasi baterai inverter 1

Gambar 4.2**Error! Reference source not found.** menampilkan mengenai detail penggunaan dan perkiraan masa pakai penyimpanan. Baterai yang digunakan pada sistem berjumlah 3 buah dengan kapasitas masing-masing sebesar 2,2 kW bertegangan 48V yang dirangkai secara paralel. Dengan menggunakan 3 buah baterai kapasitas nominal yang dapat dihasilkan baterai sebesar 7,2 kW. Berdasarkan kapasitas baterai kemampuan durasi baterai untuk menyuplai beban secara mandiri adalah selama 10,4 jam. Dari energi yang dihasilkan oleh PV, baterai dapat menerima energi 915 kWh/*yr* dan menyalurkan ke inverter sebesar 783 kWh/*yr*. Dalam waktu 20 tahun jumlah energi yang dapat tersimpan ataupun digunakan sebesar 16.981 kWh yang perlu dilakukan penggantian untuk mendapatkan performa yang sama.

Apabila sistem dihitung secara manual dengan kebutuhan beban primer AC sebesar 4.836 kWh/yr atau sebesar 13,25 kWh/*d* dengan asumsi penggunaan PV sebesar 80% maka kebutuhan baterai sebesar 10,6 kWh. Tegangan yang digunakan baterai pada sistem sebesar 48V maka diperlukan arus baterai sebesar 220Ah dengan asumsi DoD baterai 80% maka dengan baterai 48V kemampuan arus yang dibutuhkan sebesar 275Ah. Sedangkan pada sistem yang terpasang untuk 1 buah baterai 2,2 kW bertegangan 48V dengan kemampuan arus sebesar 50Ah. Sehingga jika hanya menggunakan 3 baterai dengan total kapasitas kemampuan arus 150Ah dinilai kurang efektif dan layak untuk memenuhi kebutuhan beban pada sistem sebesar 275Ah. Jika dibulatkan kebutuhan baterai dengan kapasitas 2,2kW dengan tegangan 48V dibutuhkan kurang lebih 6 buah baterai. Hal tersebut tidak terdeteksi pada *Excess Electricity* dan *Unmet electric Load* pada HOMER Pro karena pada sistem yang disimulasikan terhubung ke jaringan PLN (*hybrid*) maka setiap kali ada kelebihan atau kekurangan daya, sistem akan secara otomatis terhubung dengan PLN.

Berkaitan dengan konsumsi energi yang berasal dari beban primer AC sebesar 4.836 kWh/*yr* atau 68,3%, sisanya sebesar 31,7% atau 2.248 kWh/*yr* adalah ekspor energi ke *grid* atau penjualan dari produksi energi listrik PV yang berlebih. Hasil tersebut akan digunakan sebagai deposit untuk mengurangi tagihan listrik pada bulan berikutnya, sehingga pada sistem akan dianggap sebagai pengurangan biaya terhadap NPC, untuk lebih jelasnya terdapat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 1

| Komponen | *Cost* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Capital* | *O&M* | *Replacement* | *Salvage* | *Total* |
| Canadian Solar CS6P 260 P – 5,46 | Rp73.713.412,50 | Rp22.931.326,68 | Rp0.00 | -Rp8.955.596,90 | Rp87.689.142,28 |
| *Grid* | Rp0 | Rp11.769.865,52 | Rp0.00 | Rp0.00 | Rp11.769.865,52 |
| Pylontech US2000B *Lithium Battery* | Rp35.688.294 | Rp11.102.184,81 | Rp0.00 | Rp0.00 | Rp46.790.478,81 |
| SolaX SK-SU5000E | Rp17.500.000 | Rp5.444.032,55 | Rp0.00 | Rp0.00 | Rp22.944.032,55 |
| *System* | Rp126.901.706,50 | Rp51.247.409,56 | Rp0.00 | -Rp8.955.596,90 | Rp169.193.519,16 |
| ***Total Annualized Cost (TAC)*** | | | | | Rp10.887.549,16 |
| ***Cost of Energy (CoE)*** | | | | | Rp1.535,53 |

Berdasarkan Tabel 4.3 yang menampilkan mengenai detail ringkasan biaya dari hasil simulasi sistem secara keseluruhan berupa, NPC, TAC, dan CoE. NPC merupakan biaya bersih yang digunakan pada komponen, berupa pemasangan atau pengoperasian dalam suatu proyek, pada hasil simulasi total nilai NPC sebesar Rp169.193.519,16. Adapun untuk total biaya tahunan atau TAC yang dihasilkan sebesar Rp10.887.549,16. Berdasarkan perhitungan nilai ekonomis pada sistem berupa CoE yang digunakan untuk menunjukan biaya produksi energi per-kWh pada sektor inverter 1 sebesar Rp 1.535,53/kWh.

### 4.1.2 Sektor Inverter 2

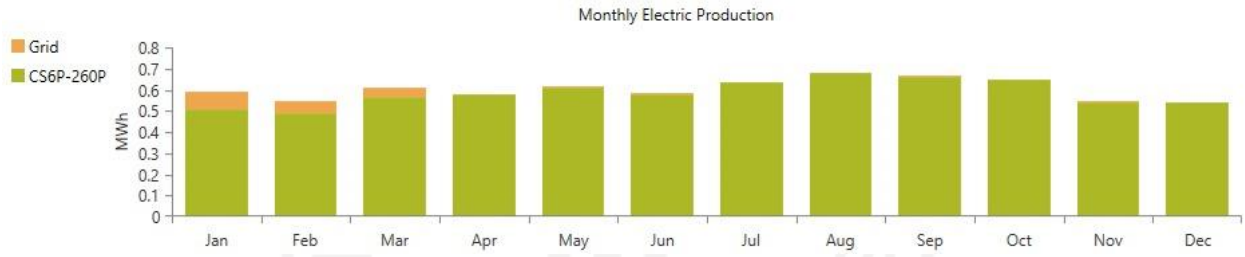
Simulasi dilakukan pada sektor inverter dua dengan kapasitas sistem pembangkit *solar cell* sebesar 5,46 kW yang didukung dengan 3 buah baterai berkapasitas 2,2 kWh dengan rata-rata kebutuhan beban 8,18 kWh/d. Simulasi hasil dari segi kelistrikan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil simulasi *Electrical* sistem pembangkit *Hybrid Solar Cell* FTI UII

| ***Excess and Unmet*** | | |
|---|---|---|
| *Quantity* | *Value* | *Units* |
| *Excess Electricity* | 0 | kWh/*yr* |
| *Unmet electric Load* | 0 | kWh/*yr* |
| *Capacity Shortage* | 0 | kWh/*yr* |
| ***Production Summary*** | | |
| *Component* | *Production* (kWh/yr) | *Percent* |
| Canadian Solar CS6P-5.46kW | 7.038 | 97,2 |

| | | |
|---|---|---|
| *Grid Purchases* | 200 | 2,76 |
| Total | 7.238 | 100 |
| ***Consumption Summary*** | | |
| *Component* | *Consumption* (kWh/*yr*) | *Percent* |
| *AC Primary Load* | 2.986 | 43,8 |
| *DC Primary Load* | 0 | 0 |
| *Deferrable Load* | 0 | 0 |
| *Grid Sales* | 3.835 | 56,2 |
| Total | 6.820 | 100 |

Dari Tabel 4.4**Error! Reference source not found.** total produksi yang dihasilkan dari pembangkit inverter 2 adalah 7.238 kWh/*yr* yang berasal dari *Grid* dan PV. PV menghasilkan energi 97,2% sebesar 7.038 kWh/*yr* dari total produksi energi, sedangkan *grid* menyuplai 200 kWh/*yr* dengan presentase 2,76%. Untuk energi yang dikonsumsi 43,8% berasal dari beban AC yang diampu oleh pembangkit dan 56,2% lagi dari grid sales 3.835 kWh/*yr* dari total konsumsi sebesar 6.820kWh/*yr*.

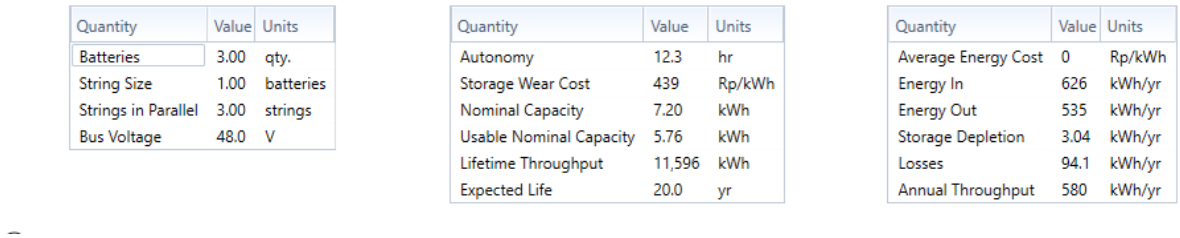



Gambar 4.3 Grafik rata-rata produksi listrik bulanan selama satu tahun

Pada Gambar 4.3 penggunaan pembangkit tidak hanya didominasi oleh PV melainkan diimbangi dengan suplai dari *grid*. Untuk inverter 2, beban yang disuplai nilainya lebih kecil daripada beban pada inverter 1. Sehingga terlihat bahwa suplai energi dari *grid* lebih sedikit dibandingkan dengan Gambar 4.1. Variasi produksi yang dihasilkan oleh kedua komponen adalah hal yang wajar dikarenakan untuk PV sendiri operasional kerjanya tidak konstan dan dipengaruhi oleh faktor radiasi, cuaca, dan lingkungan selain itu sistem diatur untuk saling menutupi kekurangan produksi terhadap kebutuhan beban.

Untuk hasil dari produksi energi PV baik pada inverter 1 dan 2 total nilai produksinya sama. Untuk inverter 1 pola konsumsinya *grid* menyuplai hampir setiap bulan dengan intensitas yang bervariasi. Sedangkan pada inverter 2 pola konsumsi energi listrik yang disuplai oleh *grid* menonjol pada awal tahun saja. Sehingga diketahui bahwa beban tidak berpengaruh terhadap produksi PV melainkan berpengaruh terhadap ekspor energi yang berbanding lurus dengan beban

yang bertambah. Selain pengaruh terhadap ekspor energi, beban akan berpengaruh terhadap baterai yang digunakan, yang dapat dilihat dari Gambar 4.4



| Quantity | Value | Units |
|---|---|---|
| Batteries | 3.00 | qty. |
| String Size | 1.00 | batteries |
| Strings in Parallel | 3.00 | strings |
| Bus Voltage | 48.0 | V |

| Quantity | Value | Units |
|---|---|---|
| Autonomy | 12.3 | hr |
| Storage Wear Cost | 439 | Rp/kWh |
| Nominal Capacity | 7.20 | kWh |
| Usable Nominal Capacity | 5.76 | kWh |
| Lifetime Throughput | 11,596 | kWh |
| Expected Life | 20.0 | yr |

| Quantity | Value | Units |
|---|---|---|
| Average Energy Cost | 0 | Rp/kWh |
| Energy In | 626 | kWh/yr |
| Energy Out | 535 | kWh/yr |
| Storage Depletion | 3.04 | kWh/yr |
| Losses | 94.1 | kWh/yr |
| Annual Throughput | 580 | kWh/yr |

Gambar 4.4 Hasil simulasi baterai inverter 2

Dari Gambar 4.4 diketahui bahwa hasil performa baterai pada energi input dan *output*nya mengalami penurunan jika dibandingkan dengan performa baterai pada sektor inverter 1. Dengan kapasitas nominal penyimpanan yang sama sebesar 7,2 kWh, energi yang dapat disimpan oleh baterai 463 kWh/yr sedangkan energi yang dapat disalurkan sebesar 394 kWh/yr. Dalam waktu 20 tahun jumlah energi yang dapat tersimpan ataupun digunakan sebesar 8.549 kWh yang perlu dilakukan penggantian untuk mendapatkan performa yang sama.

Apabila sistem dihitung secara manual dengan kebutuhan beban primer AC sebesar 2.986 kWh/yr atau sebesar 8,18 kWh/d dengan asumsi penggunaan PV sebesar 80% maka kebutuhan baterai sebesar 6,544 kWh. Tegangan yang digunakan baterai pada sistem sebesar 48V maka diperlukan arus baterai sebesar 136,3Ah dengan asumsi DoD baterai 80% maka dengan baterai 48V kemampuan arus yang dibutuhkan sebesar 170Ah yang dibulatkan menjadi 200Ah. Maka kebutuhan kapasitas penyimpanan baterai perlu ditambah menjadi 4 buah baterai dengan kapasitas 2,2 kW bertegangan 48V agar mencapai 200Ah. Selain itu jika membandingkan *grid sales* antara inverter 1 dengan inverter 2, nilai *grid sales* pada inverter 2 lebih besar senilai 1.587kWh/*yr* karena kebutuhan beban yang lebih kecil dan kelebihan energi yang dihasilkan di mana kapasitas penyimpanan kurang memadai. Hasil simulasi mengenai optimasi ekonomi akan ditunjukan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 2

| Komponen | *Cost (Rp)* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Capital* | *O&M* | *Replacement* | *Salvage* | *Total* |
| Canadian Solar CS6P 260 P – 5,46 | Rp73.713.412,50 | Rp22.931.326,68 | Rp0.00 | -Rp8.955.596,90 | Rp87.689.142,28 |
| *Grid* | Rp0.00 | Rp4.491.925,56 | Rp0.00 | Rp0.00 | Rp4.491.925,56 |
| Pylontech US2000B Lithium | Rp35.688.294,00 | Rp11.102.184,81 | Rp0.00 | Rp0.00 | Rp46.790.478.81 |
| SolaX SK-SU5000E | Rp17.500.000,00 | Rp5.444.032,55 | Rp0.00 | Rp0.00 | Rp22.944.032,55 |
| *System* | Rp126.901.706,50 | Rp43.969.469,61 | Rp0.00 | -Rp8.955.596,90 | Rp161.915.579,21 |
| ***Total Annualized Cost (TAC)*** | | | | | Rp10.409.646,20 |
| ***Cost of Energy (Coe)*** | | | | | Rp1.526,23 |

Tabel 4.5 menampilkan detail ringkasan dalam bidang ekonomi yang dihasilkan oleh sistem. Berbeda dengan inverter 1, total NPC dari sektor inverter 2 lebih kecil yaitu senilai Rp161.915.579,21 sedangkan untuk total biaya tahunan nilainya tidak jauh beda, pada inverter 2 sebesar Rp10.409.646,20. Berikutnya biaya untuk biaya produksi energi per-kWh pada sektor inverter 1 sebesar Rp 1.526,23/kWh.

## 4.2 Analisis Penjumlahan Baterai

Pada bagian ini simulasi sistem *hybrid solar cell* FTI UII dimodifikasi dengan cara menambahkan jumlah baterai yang disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas baterai. Bagian ini digunakan untuk mengetahui apakah simulasi yang diujikan dapat berjalan sehingga dapat membandingkan hasil penambahan jumlah baterai. Data yang ditampilkan merupakan parameter yang sudah ditentukan dan dibahas pada bab 2.

### 4.2.1 Sektor Inverter 1

Simulasi penambahan baterai dianalisis dengan cara membandingkan performa dari kapasitas penyimpanan yang diubah-ubah jumlah baterainya. Berdasarkan hasil pembahasan pada analisis pengujian sistem *hybrid solar cell* yang dilakukan pada inverter 1, kebutuhan kapasitas penyimpanan baterai untuk inverter 1 idealnya adalah 6 buah baterai dengan kapasitas dan jenis yang sama. Simulasi dilakukan dengan menambahkan jumlah baterai dimulai dari kelipatan 6 buah baterai. Hasil simulasi terhadap *electrical* produksi dan konsumsi ditampilkan di bawah ini.

Tabel 4.6 Perbandingan penambahan jumlah baterai Inverter 1 dalam segi produksi

| Jumlah Baterai | Canadian Solar CS6P | | *Grid Purchases* | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % |
| 3 | 7.038 | 93,1 | 523 | 6,92 | 7.561 | 100 |
| 6 | 7.038 | 95,1 | 360 | 4,87 | 7.398 | 100 |
| 12 | 7.038 | 97,1 | 211 | 2,92 | 7.250 | 100 |
| 24 | 7.038 | 98,6 | 103 | 1,44 | 7.141 | 100 |

Tabel 4.7 Perbandingan penambahan jumlah baterai Inverter 1 dalam segi konsumsi

| Jumlah Batrai | *AC Primary Load* | | *Grid Sales* | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % |
| 3 | 4.836 | 68,3 | 2.224 | 31,7 | 7.084 | 100 |
| 6 | 4.836 | 70,1 | 2.058 | 29,9 | 6.895 | 100 |
| 12 | 4.836 | 72 | 1.883 | 28 | 6.719 | 100 |
| 24 | 4.836 | 73,4 | 1.755 | 26,6 | 6.591 | 100 |

Berdasarkan pada Tabel 4.6 diketahui bahwa produksi energi yang dihasilkan oleh PV mendominasi di atas 90% dari total produksi dibandingkan dengan *grid*. Pada tabel produksi, *grid purchases* berfungsi saat beban yang disuplai oleh PV dan baterai nilainya lebih besar dari kapasitas produksinya. Berdasarkan Tabel 4.6 pengaruh dari penambahan jumlah baterai berkaitan dengan *grid purchases*. Semakin banyak baterai yang digunakan pada sistem maka kapasitas produksi yang dihasilkan oleh *grid purchases* menurun dengan rata-rata 1,83 %. Hal tersebut dapat terjadi karena, semakin banyak baterai terpasang maka kapasitas penyimpanan juga semakin besar sehingga sisa dari produksi energi yang dihasilkan oleh PV dapat disimpan pada baterai dan digunakan pada saat kebutuhan beban tidak mampu disuplai hanya dengan PV yang akan megurangi suplai energi dari jaringan.

Berikutnya berdasarkan **Error! Reference source not found.** konsumsi energi listrik terhadap beban primer AC konstan sebesar 4.836 kWh/*yr* sedangkan untuk *grid sales* atau energi yang diekspor ke *grid* juga menurun 1,7% seiring dengan penambahan jumlah baterai. Hal tersebut disebabkan meningkatnya kapasitas penyimpanan pada sistem sehingga suplai energi yang dihasilkan oleh pembangkit akan lebih fokus terhadap pemenuhan kebutuhan beban serta pengisian baterai, yang menjadikan *grid sales* sebagai prioritas setelahnya. Hal tersebut menyebabkan energi yang selama ini ekspor ke *grid* akan berkurang, karena untuk memenuhi kebutuhan beban dapat disuplai dari baterai. Selanjutnya untuk menampilkan hasil perbandingan dari penggunaan dan perbandingan masa pakai penyimpanan akan ditampilkan pada

Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Hasil perbandingan penambahan jumlah baterai inverter 1 dari segi baterai

| Jumlah | Kapasitas nominal (kWh) | *Autonomy* (*hr*) | *Lifetime TH* | *En In* | *En Out* | *Losses* | *Annual TH* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kWh/*yr* | | | | |
| 3 | 7,2 | 10,4 | 16.981 | 915 | 783 | 138 | 849 |
| 6 | 14,4 | 20,9 | 20.695 | 1.114 | 954 | 168 | 1.035 |
| 12 | 28,8 | 41,7 | 24.096 | 1.298 | 1.111 | 195 | 1205 |
| 24 | 57,6 | 83,5 | 26.578 | 1.433 | 1.225 | 216 | 1.329 |

Berdasarkan data pada

Tabel 4.8 penambahan jumlah baterai dilakukan untuk membandingkan performa penyimpanan baterai, serta menyesuaikan kebutuhan dari beban yang diampu. Semakin besar kapasitas baterai maka berbanding lurus terhadap parameter yang ditampilkan, mulai dari *autonomy* hingga *Annual Throughput*. Kemampuan durasi baterai untuk menyuplai beban secara

mandiri juga semakin besar, yang artinya apabila pembangkit dari *grid* tidak mampu menyuplai karena beberapa faktor seperti bencana alam, baterai akan secara mandiri dapat memenuhi kebutuhan energi listrik sesuai dengan kapasitasnya, sebagai contoh ketika baterai ditambah menjadi 6 buah maka baterai dapat beroperasi secara mandiri selama 20,9 jam.

Meningkatnya nilai *losses* terhadap baterai tidak berpengaruh cukup besar terhadap sistem, karena nilainya yang sangat kecil dibandingkan dari produksi energi yang dihasilkan. Saat jumlah baterai menjadi 6 buah dengan kapasitas 14,4 kWh, kemampuan dalam menyimpan energi sebesar 1.114 kWh/*yr* dan kemampuan untuk menyalurkan energi sebesar 954 kWh/*yr*. Berdasarkan nilai *throughput* yang ditetapkan pada simulasi, yaitu sebesar 29.376 kWh, dengan masa pakai 20 tahun kapasitas penyimpanan energi baterai yang dapat digunakan sebesar 20.695 kWh/*yr*. Begitu juga hasil terhadap penambahan jumlah baterai yang lain. Untuk selanjutnya hasil perbandingan dalam segi ekonomi akan ditunjukan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 1

| Jumlah | *Economic* | | |
|---|---|---|---|
| | NPC | CoE | TAC |
| 3 | Rp169.193.500 | Rp1.535,53 | Rp10.887.549,16 |
| 6 | Rp212.323.600 | Rp1.979,89 | Rp13.650.409,36 |
| 12 | Rp302.552.400 | Rp2.894,83 | Rp19.451.268,81 |
| 24 | Rp487.267.300 | Rp4.752,68 | Rp31.326.697,96 |

Berdasarkan data yang ditunjukan pada Tabel 4.9 mengenai detail ringkasan biaya dari hasil simulasi sistem yang telah ditambah kapasitas baterainya menunjukkan nilai NPC, TAC, dan CoE yang meningkat. Nilai NPC meningkat dikarenakan adanya penambahan komponen baterai yang menyebabkan biaya bersih yang diperlukan dalam pemasangan dan pengoperasian sistem meningkat. Seperti nilai NPC, untuk TAC sendiri yang merupakan jumlah biaya yang dikeluarkan untuk sistem per tahunnya meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah baterai. Selanjutnya untuk CoE pada penambahan jumlah kapasitas baterai mengalami peningkatan, yang artinya biaya yang diperlukan sistem untuk membangkitkan atau memproduksi energi setiap kWhnya seiring dengan bertambahnya baterai semakin mahal.

Sehingga jumlah baterai yang dianggap optimal adalah 6 baterai. Karena dari segi konsumsi untuk nilai dari *grid purchases* dibawah 5% yaitu 4,87% di mana kekurangan energi yang perlu disuplai oleh *grid* tidak sampai 1 kWh/d. Dalam segi konsumsi untuk energi yang kembali di ekspor ke jaringan tidak lebih dari 60%. Namun kemampuan durasi baterai untuk menyuplai beban secara mandiri kurang dari target capaian, yaitu hanya 20,9 jam. Nilai tersebut masih bisa ditoleransi karena paling tidak dalam satu hari baterai dapat bekerja maksimal pada jam operasional ruangan karena setidaknya dapat bekerja 80% dari target jam operasional. Dari segi

ekonomi penambahan 6 buah baterai untuk memproduksi energi per 1 kWh senilai Rp1.979,89. Nilai CoE tersebut masih berada dibawah 2 kali lipat tarif harga listrik saat ini.

### 4.2.2 Sektor Inverter 2

Analisis yang dilakukan untuk membandingkan performa baterai terhadap penambahan jumlah baterai masih sama seperti sebelumnya, dengan parameter serta komponen yang sama namun dengan beban yang berbeda dengan sektor inverter 1 di mana beban pada inverter 2 lebih kecil. Berdasarkan hasil pembahasan pada analisis pengujian sistem *hybrid solar cell* yang dilakukan pada inverter 2, kebutuhan kapasitas penyimpanan baterai untuk inverter 1 idealnya adalah 4 buah baterai dengan kapasitas dan jenis yang sama. Simulasi dilakukan dengan menambahkan jumlah baterai dimulai dari kelipatan 4 buah baterai. Hasil simulasi terhadap *electrical* produksi dan konsumsi ditampilkan di bawah ini

Tabel 4.10 Perbandingan penambahan jumlah baterai dalam segi produksi

| Jumlah Baterai | Canadian Solar CS6P | | *Grid Purchases* | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % |
| 3 | 7.038 | 97,2 | 200 | 2,76 | 7.238 | 100 |
| 4 | 7.038 | 97,7 | 168 | 2,33 | 7.497 | 100 |
| 8 | 7.038 | 98,5 | 105 | 1,47 | 7.149 | 100 |
| 12 | 7.038 | 99 | 69,2 | 0,973 | 7.107 | 100 |

Tabel 4.11 Perbandingan penambahan jumlah baterai dalam segi konsumsi

| Jumlah Batrai | *AC Primary Load* | | *Grid Sales* | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % | kWh/*year* | % |
| 3 | 2.986 | 43,8 | 3.835 | 56,2 | 6.820 | 100 |
| 4 | 2.986 | 44 | 3.797 | 56 | 6.783 | 100 |
| 8 | 2.986 | 44,5 | 3.723 | 55,5 | 6.709 | 100 |
| 12 | 2.986 | 44,8 | 3.681 | 55,2 | 6.670 | 100 |

Dari Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 sama seperti inverter 1, pada inverter 2 diketahui bahwa perbandingan penambahan jumlah baterai akan mempengaruhi *grid purchases* dan *grid sales*. Semakin banyak jumlah penambahan baterai maka energi yang diambil dari *grid* dan disalurkan ke *grid* semakin menurun. Penurunan terhadap produksi energi sebesar 0,5% dan konsumsi sebesar 0,3%. Pada saat baterai berjumlah 3 buah dengan produksi PV sebesar 97,2% *grid* akan menyuplai kekurangan energi sebesar 2,76% dari total produksi. Sedangkan pada analisis pengujian sistem *hybrid solar cell* paling tidak kebutuhan baterai pada inverter dua paling tidak 4 buah untuk

mendapatkan kinerja sistem yang lebih optimal. Sehingga dari penambahan 4 baterai pada inverter 2 nilai *grid purchases* lebih terlihat menurun dibandingkan dengan *grid sales* yang sedikit penurunannya. Dengan menambah kebutuhan baterai paling tidak mendekati dengan kebutuhan sistem, maka hal tersebut dapat mengurangi masalah atau trip yang sering terjadi pada sistem. Berikutnya akan ditampilkan hasil simulasi dari segi baterai pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Perbandingan penambahan jumlah baterai inverter 2 dalam segi baterai

| Jumlah | Kapasitas nominal (kWh) | *Autonomy* (*hr*) | *Lifetime TH* | *En In* | *En Out* | *Losses* | *Annual TH* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | kWh/*yr* | | | | |
| 3 | 7,2 | 16,9 | 8,549 | 463 | 392 | 69,5 | 472 |
| 4 | 9,6 | 22,5 | 9,274 | 502 | 428 | 75,4 | 464 |
| 8 | 19,2 | 45,1 | 10,712 | 580 | 494 | 87,1 | 536 |
| 12 | 28,8 | 67,6 | 11,527 | 624 | 531 | 93,7 | 576 |

Seperti pada Tabel 4.8 pada inverter 1, penambahan jumlah baterai berbanding lurus dengan parameter yang tercantum pada Tabel 4.12 di mana nilai yang ditampilkan inverter 2 nilainya lebih besar dengan inverter 1. Hal tersebut dikarenakan kemampuan atau aktivitas pola kebutuhan beban inverter 2 lebih sedikit dibandingkan beban yang perlu ditopang oleh inverter 1, sehingga terdapat kapasitas penyimpanan yang lebih besar. Pada inverter 1 produksi energi akan difokuskan untuk menyuplai beban lebih dulu daripada pengisian baterai yang menyebabkan *lifetime throughput, energy input, energy output, losses,* dan *annual throughput* lebih besar. Untuk hasil simulasi berdasarkan segi ekonomi akan ditunjukan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil optimasi *Net Percent Cost* inverter 2

| Jumlah | Ekonomi | | |
|---|---|---|---|
| | NPC | CoE | TAC |
| 3 | Rp161.915.600 | Rp1.526,23 | Rp10.409.646,20 |
| 4 | Rp176.797.900 | Rp 1.675,69 | Rp11.366.436,54 |
| 8 | Rp237.768.200 | Rp2.278,44 | Rp15.564.191,74 |
| 12 | Rp29.352.200 | Rp 2.886,65 | Rp19.245.522,54 |

**Error! Reference source not found.** Tabel 4.13 menunjukan hasil optimasi dari segi ekonomi yang menampilkan detail mengenai ringkasan biaya berupa NPC, CoE, dan TAC. Sama seperti inverter 1, bahwa dalam segi ekonomi penambahan jumlah baterai akan meningkatkan nilai NPC, CoE, dan TAC. Dikarenakan modal dan biaya operasional yang dikeluarkan akan semakin besar, sehingga untuk setiap penambahan jumlah baterai biaya yang diperlukan untuk

membangkitkan energi tiap kWhnya juga meningkat. Dari data hasil optimasi, nilai CoE dapat menjadi penentu suatu proyek layak untuk diinvestasikan atau tidak secara ekonomis.

Untuk inverter 2 penambahan jumlah baterai yang cukup optimal adalah 4 buah baterai. Karena seperti pada analisis yang dilakukan pada pengujian sistem bahwa kondisi kapasitas baterai pada inverter 2 masih kurang dari cukup. Sehingga paling tidak diperlukan 4 buah baterai agar sistem optimal. Selain itu jika dilihat dari segi *electrical*, dengan kapasitas produksi yang besar dan beban yang tidak sebesar inverter 1 akan menyebabkan energi yang diekspor ke jaringan semakin besar.

Jika dilihat dari hasil perbandingan penambahan kapasitas baterai dalam segi ekonomi, penambahan jumlah baterai dinilai akan lebih efektif, karena mengurangi gangguan yang sering terjadi pada sistem berupa trip yang diidentifikasi karena kurangnya kapasitas penyimpanan baik pada inverter 1 dan inverter 2. Selain itu pada segi ekonomi, penambahan jumlah baterai yang nilai CoEnya kurang dari 2 kali lipat biaya pembangkitan listrik per kWhnya untuk sistem EBT masih layak untuk diinvestasikan. Selain mengurangi penurunan kemampuan baterai dalam bekerja optimal dikarenakan seringnya terjadi gangguan, penambahan jumlah baterai dinilai akan lebih baik karena akan mengurangi biaya yang perlu dikeluarkan untuk operasi dan pemeliharaan jika peralatan pada sistem *drop* atau rusak.

Selanjutnya, jika dilihat dari hasil perbandingan dalam segi produksi, konsumsi, dan kemampuan baterai, penambahan jumlah baterai akan menjadi efektif karena memperbesar kemampuan baterai untuk dapat menyimpan energi yang diproduksi serta mampu untuk menyuplai beban secara mandiri lebih lama dan yang paling penting kapasitas baterai sesuai dengan kebutuhan beban yang ditopang oleh masing-masing inverter.

# BAB 5
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

Bagian ini memuat kesimpulan-kesimpulan dari proses perancangan, implementasi terutama pada analisis kerja sistem.

1. Sistem kerja dari sistem *hybrid solar cell* FTI UII memiliki *Energy Management System* (EMS) di mana dapat menghitung pembangkitan, konsumsi, dan kelebihan energi pada baterai secara *real time.* Saat malam hari, panel surya akan berhenti untuk menghasilkan energi, pada saat itu EMS akan otomatis memenuhi konsumsi beban dari energi yang disimpan pada baterai. Jika konsumsi melebihi apa yang dapat disuplai oleh baterai maka EMS otomatis mengimpor daya dari jaringan PLN.
2. Berdasarkan sistem *hybrid solar cell* FTI UII kapasitas baterai yang terpasang saat ini tidak mencukupi dari kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi beban baik pada inverter 1 atau 2. Hal tersebut pada kondisi nyata, menyebabkan sistem sering terjadi gangguan mudah trip.
3. Pada simulasi yang dilakukan pada HOMER Pro, sistem dianggap dapat bekerja karena sistem yang terpasang pada simulasi tersambung dengan jaringan sehingga nilai yang seharusnya ditampilkan berupa *excess electricity* (kelebihan energi) dan *unmet electric load* (energi yang Belum terpenuhi) tidak terbaca. Sehingga dilakukan perhitungan manual untuk menentukan kapasitas optimal pada baterai terhadap kebutuhan beban.
4. Perhitungan manual untuk menentukan kapasitas optimal pada baterai terhadap kebutuhan beban menunjukan hasil bahwa kebutuhan kapasitas baterai pada inverter 1 sebanyak 6 buah dan 4 buah untuk inverter 2.
5. Dari segi *electrical*, baterai, dan ekonomi penambahan jumlah baterai perlu dilakukan untuk mencegah adanya gangguan pada sistem dan memberikan kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan sistem itu sendiri. Sehingga menghindari dari biaya pemeliharaan dan penggantian yang tinggi.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan sistem *Hybrid Solar Cell* di FTI UII, sebaiknya gangguan yang sering terjadi pada sistem lebih diamati untuk memenuhi kelengkapan data, kedepannya pengambilan data pada *SolaX Portal* dapat dilakukan lebih mudah dan efisien guna mempersingkat waktu untuk mendapatkan data, serta adanya data yang lengkap mengenai beban yang terpasang dan digunakan pada sistem.

# DAFTAR PUSTAKA


[1] K. ESDM, "Kebijakan Nasional Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi," *Kementerian ESDM*, 2019. http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/11/191216-IESR-Clean-Energy-Outlook.pdf.

[2] BPPT, "Indonesia Energy Outlook 2020 - Special Edition Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Sektor Energi di Indonesia," *PPIPE dan BPPT*, 2020. https://www.researchgate.net/publication/343903321_OUTLOOK_ENERGI_INDONESIA_2020_Dampak_Pandemi_COVID-19_terhadap_Sektor_Energi_di_Indonesia.

[3] M. R. Sufandi and R. Wiwit Indah, "Pengembangan Sistem Pengisian Baterai Dengan Kombinasi Sumber Listrik Dari PLN dan Energi Surya," vol. 10, no. 1, p. 27, 2019, doi: 10.26418/elkha.v10i1.25280.

[4] E. R. Bello, "Design of a PV-system with Batteries for a Grid Connected Building," Skripsi S2, Faculty of Engineering and Sustainable Development, 2017.

[5] V. Bagalini, B. Y. Zhao, R. Z. Wang, and U. Desideri, "Solar PV-Battery-Electric Grid-Based Energy System for Residential Applications: System Configuration and Viability," *Research*, vol. 2019, pp. 1–17, 2019, doi: 10.34133/2019/3838603.

[6] M. Thowil Afif and I. Ayu Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.

[7] P. Lazzeroni, I. Mariuzzo, M. Quercio, and M. Repetto, "Economic, Energy, and Environmental Analysis of PV with Battery Storage for Italian Households," *Electron.*, vol. 10, no. 2, pp. 1–49, 2021, doi: 10.3390/electronics10020146.

[8] A. Çelik, H. Yaman, S. Turan, and Kara, "SolaX Power WIFI Monitoring User Guide," *Journal of Materials Processing Technology*, 2018. https://www.solaxpower.com/wp-content/uploads/2017/02/SolaX-Portal-User-Guide.pdf.

[9] I. R. Aulia, "Analisis Penerapan Net Metering pada Pembangkit Hybrid di Fakultas Teknologi Industri UII," Skripsi S1, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,2019.

[10] M. Ir. Ida Bagus Ketut Sugirianta and S. M. I Gusti Ngurah Agung , ST. MT. PhD., I Gusti Agung Made, *Buku Ajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Bali,

2019.

[11] A. Mohammad Bagher, M. Mahmoud Abadi Vahid, and M. Mohsen, “Types of Solar Cells and Application,” *Am. J. Opt. Photonics*, vol. 3, no. 5, pp. 94–113, 2015, doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17.

[12] C. Solar, “CanadianSolar CS6P- 255 | 260p,” *Canadian Solar*, 2001. https://www.solarelectricsupply.com/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FCS6P-P_en.pdf.

[13] I. Yulistiono, T. Utomo, and U. Wibawa, “Perancangan Hybrid Sistem Photovoltaic di Gardu Induk Blimbing-Malang,” *J. Mhs. Tek. Elektro Univ. Brawijaya*, vol. 1, pp. 1–6, 2011, [Online]. Available: http://elektro.studentjournal.ub.ac.id/index.php/teub/article/view/145/111.

[14] H. Asy’ari, Jatmiko, and Angga, “Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya,” *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS*, pp. 52–57, 2012, [Online]. Available: https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/handle/11617/3930.

[15] M. Hafidz and S. Sukmajati, “Perancangan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 MW on Grid di Yogyakarta,” *Jur. Tek. Elektro, Sekol. Tinggi Tek. PLN*, vol. 7, no. 1, p. 49, 2015.

[16] S.G., Ramadhan, and C. Rangkuti, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti,” Skipsi S1, Universitas Trisakti, 2016.

# LAMPIRAN

1. Data beban Inverter 1 dan 2 bulan Januari – Juni *Weekend*

| Jam | Januari | | Februari | | Maret | | April | | Mei | | Juni | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 |
| 00:00 | 0.37 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.15 | 0.05 | 0.09 | 0.03 | 0.09 | 0.03 | 0.09 | 0.03 |
| 01:00 | 0.4 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.02 |
| 02:00 | 0.41 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.09 | 0.03 | 0.09 | 0.03 | 0.09 | 0.03 |
| 03:00 | 0.4 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.02 |
| 04:00 | 0.4 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.02 |
| 05:00 | 0.41 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.1 | 0.03 | 0.1 | 0.03 | 0.1 | 0.03 |
| 06:00 | 0.26 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.08 | 0.03 |
| 07:00 | 0.25 | 0.13 | 0.38 | 0.04 | 0.09 | 0.03 | 0.23 | 0.02 | 0.23 | 0.02 | 0.23 | 0.02 |
| 08:00 | 0.31 | 0.91 | 1.25 | 0.52 | 0.21 | 0.22 | 0.63 | 0.22 | 0.63 | 0.22 | 0.63 | 0.22 |
| 09:00 | 0.7 | 1.48 | 2.08 | 1.35 | 0.6 | 0.67 | 0.88 | 0.47 | 0.88 | 0.47 | 0.88 | 0.47 |
| 10:00 | 0.66 | 2.09 | 2.6 | 2.14 | 1.18 | 1.17 | 1.05 | 0.73 | 1.05 | 0.73 | 1.05 | 0.73 |
| 11:00 | 0.93 | 2.55 | 2.8 | 2.63 | 1.56 | 1.65 | 1.01 | 0.89 | 1.01 | 0.89 | 1.01 | 0.89 |
| 12:00 | 1.67 | 2.23 | 3.39 | 3.91 | 1.75 | 1.86 | 1.02 | 0.92 | 1.02 | 0.92 | 1.02 | 0.92 |
| 13:00 | 1.49 | 2 | 2.09 | 2.58 | 1.63 | 1.88 | 0.92 | 0.87 | 0.92 | 0.87 | 0.92 | 0.87 |
| 14:00 | 1.7 | 1.7 | 1.98 | 2.07 | 1.63 | 1.61 | 0.89 | 0.71 | 0.89 | 0.71 | 0.89 | 0.71 |
| 15:00 | 0.64 | 0.98 | 1.15 | 2.36 | 1.5 | 1.33 | 0.56 | 0.64 | 0.56 | 0.64 | 0.56 | 0.64 |
| 16:00 | 0.97 | 0.51 | 0.32 | 1.05 | 0.91 | 0.69 | 0.33 | 0.32 | 0.33 | 0.32 | 0.33 | 0.32 |
| 17:00 | 0.68 | 0.25 | 0.15 | 0.37 | 0.42 | 0.37 | 0.21 | 0.16 | 0.21 | 0.16 | 0.21 | 0.16 |
| 18:00 | 0.42 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.18 | 0.13 | 0.13 | 0.06 | 0.13 | 0.06 | 0.13 | 0.06 |
| 19:00 | 0.41 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.18 | 0.07 | 0.12 | 0.04 | 0.12 | 0.04 | 0.12 | 0.04 |
| 20:00 | 0.41 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.18 | 0.08 | 0.12 | 0.03 | 0.12 | 0.03 | 0.12 | 0.03 |
| 21:00 | 0.42 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 0.22 | 0.09 | 0.11 | 0.03 | 0.11 | 0.03 | 0.11 | 0.03 |
| 22:00 | 0.37 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.2 | 0.08 | 0.1 | 0.04 | 0.1 | 0.04 | 0.1 | 0.04 |
| 23:00 | 0.34 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.1 | 0.07 | 0.08 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.08 | 0.03 |

| Jam | Juli | | Agustus | | September | | Oktober | | November | | Desember | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 |
| 00:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 01:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 02:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.02 |
| 03:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.06 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 04:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.02 |
| 05:00 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.1 | 0.04 |
| 06:00 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.05 | 0.06 | 0.03 |
| 07:00 | 0.22 | 0.03 | 0.1 | 0.03 | 0.39 | 0.07 | 0.24 | 0.03 | 0.21 | 0.1 | 0.21 | 0.16 |
| 08:00 | 0.86 | 0.04 | 0.14 | 0.02 | 0.89 | 0.18 | 0.8 | 0.11 | 0.22 | 0.09 | 0.97 | 0.71 |
| 09:00 | 0.85 | 0.06 | 0.2 | 0.02 | 1.05 | 0.2 | 1.06 | 0.23 | 0.09 | 0.13 | 1.31 | 0.98 |
| 10:00 | 0.85 | 0.09 | 0.22 | 0.04 | 0.87 | 0.32 | 1.09 | 0.27 | 0.49 | 0.17 | 1.46 | 0.97 |
| 11:00 | 0.91 | 0.13 | 0.25 | 0.03 | 0.5 | 0.21 | 0.92 | 0.16 | 0.05 | 0.14 | 1.25 | 0.96 |
| 12:00 | 0.39 | 0.12 | 0.1 | -0.01 | 0.48 | 0.06 | 0.54 | 0.36 | 0.57 | -0.22 | 0.27 | 0.33 |
| 13:00 | 0.47 | 0.14 | 0.14 | 0.01 | 0.35 | 0.12 | 0.71 | 0.06 | 0.99 | 0.11 | 0.39 | 0.22 |
| 14:00 | 0.52 | 0.13 | 0.14 | 0.01 | 0.28 | -0.12 | 0.64 | 0.05 | 0.71 | 0.08 | 0.37 | 0.14 |
| 15:00 | 0.35 | 0.04 | 0.06 | 0.02 | 0.2 | 0.03 | 0.45 | 0.02 | 0.49 | -0.05 | 0.24 | 0.14 |
| 16:00 | 0.35 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.18 | 0.02 | 0.19 | 0.03 | -0.15 | 0.05 | 0.2 | 0.14 |
| 17:00 | 0.17 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.11 | 0.04 | 0.09 | 0.04 | 0.13 | 0.06 | 0.08 | 0.09 |
| 18:00 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.1 | 0.02 | 0.15 | 0.07 | 0.08 | 0.02 | 0.05 | 0.07 |
| 19:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.22 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.07 | 0.02 | 0.04 | 0.03 |
| 20:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.17 | 0.02 | 0.12 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.03 |
| 21:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.08 | 0.02 | 0.04 | 0.05 |
| 22:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.04 |
| 23:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |

2. Data beban Inverter 1 dan 2 bulan Juli-Desember *Weekend*

| Jam | Januari | | Februari | | Maret | | April | | Mei | | Juni | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 |
| 00:00 | 0.22 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 |
| 01:00 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 |
| 02:00 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 |
| 03:00 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.02 |
| 04:00 | 0.14 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.02 |
| 05:00 | 0.2 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 0.03 |
| 06:00 | 0.37 | 0.1 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.05 |
| 07:00 | 0.87 | 0.71 | 0.05 | 0.06 | 0.47 | 0.04 | 0.68 | 0.42 | 0.68 | 0.42 | 0.68 | 0.42 |
| 08:00 | 1.24 | 1.4 | 0.39 | 0.56 | 1.4 | 0.71 | 1.38 | 0.77 | 1.38 | 0.77 | 1.38 | 0.77 |
| 09:00 | 1.56 | 1.86 | 1.02 | 1.11 | 1.49 | 1.03 | 1.62 | 0.9 | 1.62 | 0.9 | 1.62 | 0.9 |
| 10:00 | 1.9 | 2.49 | 1.66 | 1.74 | 1.84 | 1 | 1.88 | 1.11 | 1.88 | 1.11 | 1.88 | 1.11 |
| 11:00 | 1.88 | 2.3 | 2.13 | 2.24 | 1.93 | 1.59 | 1.69 | 1.08 | 1.69 | 1.08 | 1.69 | 1.08 |
| 12:00 | 2.55 | 2.31 | 2.26 | 2.5 | 1.51 | 1.94 | 1.05 | 0.88 | 1.05 | 0.88 | 1.05 | 0.88 |
| 13:00 | 2.16 | 2.01 | 2.08 | 2.25 | 0.3 | 1.88 | 1.56 | 1.26 | 1.56 | 1.26 | 1.56 | 1.26 |
| 14:00 | 1.67 | 0.82 | 1.89 | 1.83 | 2.18 | 1.81 | 1.54 | 0.92 | 1.54 | 0.92 | 1.54 | 0.92 |
| 15:00 | 1.62 | 0.79 | 1.3 | 1.23 | 0.33 | 1.13 | 0.9 | 0.52 | 0.9 | 0.52 | 0.9 | 0.52 |
| 16:00 | 1 | 0.34 | 0.72 | 0.63 | 0.96 | 0.66 | 0.86 | 0.49 | 0.86 | 0.49 | 0.86 | 0.49 |
| 17:00 | 0.53 | 0.08 | 0.43 | 0.4 | 0.88 | 0.62 | 0.44 | 0.23 | 0.44 | 0.23 | 0.44 | 0.23 |
| 18:00 | 0.36 | 0.05 | 0.15 | 0.12 | 0.33 | 0.25 | 0.17 | 0.07 | 0.17 | 0.07 | 0.17 | 0.07 |
| 19:00 | 0.3 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.11 | 0.03 | 0.33 | 0.02 | 0.33 | 0.02 | 0.33 | 0.02 |
| 20:00 | 0.21 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.12 | 0.02 | 0.14 | 0.04 | 0.14 | 0.04 | 0.14 | 0.04 |
| 21:00 | 0.23 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.1 | 0.03 | 0.1 | 0.03 | 0.1 | 0.03 | 0.1 | 0.03 |
| 22:00 | 0.23 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.14 | 0.03 | 0.08 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.08 | 0.02 |
| 23:00 | 0.24 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.07 | 0.02 |

3. Data beban Inverter 1 dan 2 bulan Januari – Juni *Weekday*

4. Data beban Inverter 1 dan 2 bulan Juli-Desember *Weekday*

| Jam | Juli | | Agustus | | September | | Oktober | | November | | Desember | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 | INV 1 | INV 2 |
| 00:00 | 0.06 | 0.03 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 01:00 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.07 | 0.03 |
| 02:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.03 |
| 03:00 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 04:00 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| 05:00 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.09 | 0.04 |
| 06:00 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.03 | 0.07 | 0.03 |
| 07:00 | 0.5 | 0.23 | 0.12 | 0.03 | 1.42 | 0.97 | 0.71 | 0.53 | 1.19 | 0.81 | 0.81 | 0.38 |
| 08:00 | 1.6 | 0.37 | 0.91 | 0.12 | 2.1 | 1.18 | 1.55 | 0.74 | 1.8 | 1.09 | 1.43 | 0.71 |
| 09:00 | 1.8 | 0.37 | 1.25 | 0.12 | 2.35 | 1.21 | 1.69 | 0.72 | 1.97 | 0.9 | 1.5 | 0.74 |
| 10:00 | 1.88 | 0.42 | 1.09 | 0.15 | 2.65 | 1.38 | 1.77 | 0.88 | 2.47 | 1.09 | 1.69 | 0.83 |
| 11:00 | 1.49 | 0.32 | 0.9 | 0.11 | 2.13 | 1.09 | 1.47 | 0.7 | 1.9 | 0.76 | 1.41 | 0.65 |
| 12:00 | 0.47 | 0.13 | 0.39 | 0.03 | 0.84 | 0.37 | 0.43 | 0.24 | 0.62 | 0.21 | 0.41 | 0.2 |
| 13:00 | 1.15 | 0.44 | 0.6 | 0.19 | 2.36 | 1.65 | 1.69 | 0.89 | 2.17 | 1.24 | 1.55 | 0.78 |
| 14:00 | 1.09 | 0.39 | 0.61 | 0.17 | 1.8 | 1.15 | 1.56 | 0.68 | 1.7 | 0.78 | 1.41 | 0.69 |
| 15:00 | 0.65 | 0.19 | 0.37 | 0.07 | 1.2 | 0.44 | 0.9 | 0.28 | 1 | 0.35 | 0.75 | 0.23 |
| 16:00 | 0.64 | 0.23 | 0.33 | 0.13 | 1.31 | 0.85 | 1.01 | 0.44 | 1.04 | 0.62 | 0.74 | 0.56 |
| 17:00 | 0.23 | 0.13 | 0.13 | 0.05 | 0.63 | 0.28 | 0.33 | 0.13 | 0.38 | 0.17 | 0.41 | 0.25 |
| 18:00 | 0.1 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.12 | 0.03 | 0.14 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.19 | 0.08 |
| 19:00 | 0.1 | 0.02 | 0.08 | 0.04 | 1.78 | 0.03 | 0.13 | -0.13 | 0.14 | 0.06 | 0.24 | 0.1 |
| 20:00 | 0.07 | 0.02 | 0.09 | 0.05 | 0.23 | 0.03 | 0.11 | 0.03 | 0.16 | 0.06 | 0.22 | 0.08 |
| 21:00 | 0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.15 | 0.06 |
| 22:00 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.02 |
| 23:00 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 |

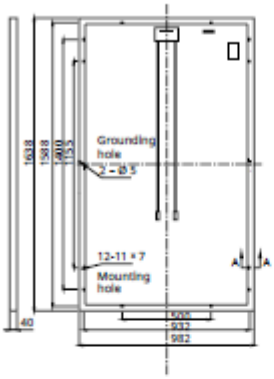
5. Data *sheet* Baterai Pylontech US2000B *Lithium Battery*

| Basic Parameters | US2000 |
|---|---|
| Nominal Voltage (V) | 48 |
| Nominal Capacity (Wh) | 2400 |
| Usable Capacity (Wh) | 2200 |
| Dimension (mm) | 440*410*89 |
| Weight (Kg) | 24 |
| Discharge Voltage (V) | 45 ~ 53.5 |
| Charge Voltage (V) | 52.5 ~ 53.5 |
| Recommend Charge/Discharge Current (A) | 25 |
| Max. Charge/Discharge Current (A) | 50 |
| Peak Charge/Discharge Current (A) | 100A@15sec |
| Communication | RS485, CAN |
| Configuration (max. in 1 battery group) | 8pcs |
| Working Temperature | 0℃~50℃ Charge |
| | -10℃~50℃ Discharge |
| Shelf Temperature | -20℃~60℃ |
| Protective class | IP20 |
| Cooling type | Natural Cooling |
| Humidity | 5% ~ 85% |
| Certification | IEC62619 / CE / UL / UN38.3 |
| Design life | 10+ Years (25℃/77℉) |
| Cycle Life | >6,000 25℃ |
| Reference to standards | IEC62619, IEC62040, IEC62477-1, UL1973,UL1642,VDE2510-50, IEC61000-6-2,IEC61000-3, UN38.3 |

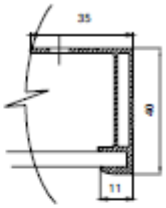
6. Data *sheet* PV Canadian Solar CS6P 260 P

## MODUL / GAMBAR TEKNIK (mm)

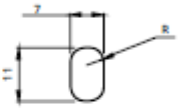
Tampilan Belakang



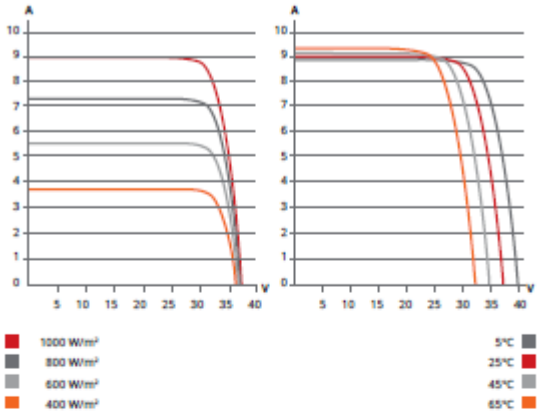

Kerangka Silang A-A



Lubang Pemasangan



## CS6P-255P / KURVA I-V




## DATA ELEKTRIK / STC*

| Data Elektrik CS6P | 255P | 260P |
|---|---|---|
| Daya nominal maksimum (Pmax) | 255 W | 260 W |
| Tegangan operasi optimum (Vmp) | 30.2 V | 30.4 V |
| Arus operasi optimal (Imp) | 8.43 A | 8.56 A |
| Tegangan rangkaian terbuka (Voc) | 7.4 V | 37.5 V |
| Arus hubung-singkat (Isc) | 9.00 A | 9.12 A |
| Efisiensi Modul | 15.85% | 16.16% |
| Temperatur Operasi | -40°C ~ +85°C | |
| Tegangan SISTEM maksimum | 1000 V (IEC) or 1000 V (UL) | |
| Kinerja api modul Tipe | TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730) | |
| Nilai Maks. Sekering seri | 15 A | |
| Klasifikasi aplikasi | Class A | |
| Toleransi Daya | 0 ~ + 5 W | |

* Dalam Kondisi Uji Standar (STC), Iradiasi 1000 W/m², spektrum AM 1.5 dan temperatur sel 25°C

## DATA ELEKTRIK / NOCT*

| Data Elektrik CS6P | 255P | 260P |
|---|---|---|
| Daya nominal maksimum (Pmax) | 185 W | 189 W |
| Tegangan operasi optimum (Vmp) | 7.5 V | 27.7 V |
| Arus operasi optimal (Imp) | 6.71 A | 6.80 A |
| Tegangan rangkaian terbuka (Voc) | 4.4 V | 34.5 V |
| Arus hubung-singkat (Isc) | 7.29 A | 7.39 A |

## MODUL / DATA MEKANIK

| Data spesifikasi | Data |
|---|---|
| Jenis sel | Poli Kristalin, 6 inci |
| Susunan Sel | 60 (6 × 10) |
| Dimensi | 1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in) |
| Berat | 18 kg (37.9 lbs) |
| Sampul depan | 3.2 mm kaca tempered |
| Material bingkai | Anodized aluminium alloy |
| J-BOX | IP67, 3 dioda |
| Kabel | 4 mm² (IEC) atan 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL) , 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) opsi lain) |
| Konnektor | MC4 atau MC4 sebanding |
| Berdiri. Kemasan | 24 pcs, 480 kg (Jumlah & Berat per palet) |
| Potongan Modul per Kontainer | 672 pcs (40' HQ) |

## KARAKTERISTIK TEMPERATUR

| Data spesifikasi | Data |
|---|---|
| Koefisien Temperatur (Pmax) | -0.43% / °C |
| Koefisien Temperatur (Voc) | -0.34% / °C |
| Koefisien Temperatur (Isc) | 0.065% / °C |
| Temperatur Sel Operasi Nominal | 45±2°C |

## BAGIAN MITRA

7. Data *sheet* Inverter SolaX SK-SU5000E

X-HYBRID FROM SOLAX

PRODUCT DATA

| | SK-SU3000E | SK-SU3700E | SK-SU5000E |
|---|---|---|---|
| **➤ Input (DC)** | | | |
| Max. recommended DC power [W] | 3300 | 4000 | 5000 |
| Max. DC voltage [V] | | 550 | |
| Nominal DC operating voltage [V] | | 360 | |
| MPPT voltage range [V] | | 125-530 | |
| Max. input current [A] | 12 | 12/12 | 12/12 |
| Max. short circuit current [A] | 15 | 15/15 | 15/15 |
| No. of MPP trackers | 1 | 2 | 2 |
| Strings per MPP tracker | 1 | 1 | 1 |
| **➤ Output (AC)** | | | |
| Nominal AC power [W] | 3000 | 3680 | 4600 |
| Nominal AC voltage, range [V]; Frequency [Hz] | | 230; 180~270; 50/60 | |
| Nominal AC current [A] | 13 | 16 | 20 |
| Max. AC current [A] | 14.4 | 16 | 21.7 |
| Total harmonic distortion (THD) | | <3% | |
| Power factor (rated power) | | 1 | |
| Displacement power factor | | 0.9 leading to 0.9 lagging | |
| **➤ Efficiency** | | | |
| MPPT efficiency | 99.9% | 99.9% | 99.9% |
| Euro efficiency | 97.0% | 97.0% | 97.0% |
| Max. efficiency | 97.6% | 97.6% | 97.6% |
| Standby losses [W] | | <7 | |
| **➤ Display** | | | |
| LCD | | Backlight 16+4 character | |
| Communication interfaces | | Ethernet/WiFi/Dry Contact | |
| LED light | | 4 | |
| Button | | 4 | |
| **➤ Battery Charger (Internal)** | | | |
| Compatible battery type | | Lead-acid battery/lithium battery | |
| Nominal battery voltage [V] | | 48 | |
| Battery voltage range [V] | | 40-60 | |
| Max.charging current [A] | | 50 (adjustable) | |
| Charging curve | | 3-stage adaptive with maintenance | |
| Over-current protection/Over-Temperature protection | | YES | |
| Communication interfaces | | Can/RS232 | |
| **➤ Charger** | | | |
| Max. power [W] | | 2500 | |
| Max.charge current [A] | | 50 | |
| **➤ Discharger** | | | |
| Max. power [W] | | 2500 | |
| Max.discharge current [A] | | 50 | |
| Depth of discharge | | 80-90% for lithium battery (adjustable) / 50% for lead-acid battery (adjustable) | |