

**STUDI SISTEM PHOTOVOLTAIC PADA GEDUNG
YANG TERINTERKONEKSI DENGAN SISTEM GRID**



TUGAS AKHIR

**Sebagai salah satu syarat untuk
Mencapai Gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**

**PAISAL
D411 11 610**

**M. FARIZ MILSAM FAUZI
D411 11 613**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM INTEGRASI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2013**

STUDI SISTEM PHOTOVOLTAIC PADA GEDUNG YANG TERINTERKONEKSI DENGAN GRID

TUGAS AKHIR

Diterima dan disahkan sebagai kolokium
Untuk memenuhi persyaratan guna mencapai
Gelar Sarjana Teknik Sub Program Studi

Teknik Energi Listrik

dari

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Oleh

P A I S A L
D411 11 610

M. FARIZ MILSAM FAUZI
D411 11 613

Disetujui :

Tanggal

Pembimbing Tugas Akhir

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. H. Tajuddin Waris, MT.
NIP. 19650424 199203 1 003

Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT.
NIP. 19660201 199202 2 002

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

DR. Ir. H. Andani Ahmad, MT.

NIP. 19601231 198703 1 022

ABSTRAK

Sistem *photovoltaic* merupakan salah satu sumber energi alternatif yang tepat diaplikasikan pada gedung yang memiliki beban yang besar yang hanya mengandalkan suplai listrik dari perusahaan penyedia listrik. Sistem *photovoltaic* ini memanfaatkan renewable energi sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasikan dengan diesel generator sebagai sumber energi cadangan (sekunder) dan Sistem Grid (Penyuplai beban utama). Tujuan tugas akhir ini yaitu merekomendasikan sistem konfigurasi yang paling murah yaitu sistem *photovoltaic (PV) yang akan dikoneksikan dengan sistem grid*, dan pembangkit cadangan yaitu generator diesel serta komponen – komponen yang digunakan yaitu baterai dan inverter. Analisis simulasi sistem tenaga listrik ini dilakukan dengan menggunakan software HOMER. Hasil simulasi energi terbarukan menunjukkan parameter seperti *net present cost, cost of energy, operating cost*, total produksi energi listrik seperti *photovoltaic, dan generator diesel*. Hasil simulasi konfigurasi sistem tenaga listrik sistem 1 hingga simulasi konfigurasi sistem tenaga listrik sistem 8 untuk *net present cost, cost of energy* dan *operating cost* menunjukkan hasil bahwa simulasi konfigurasi sistem tenaga listrik sistem 4 lebih baik dibandingkan hasil simulasi konfigurasi sistem yang lainnya, karena pada simulasi ini menggunakan *photovoltaic* dan *sistem grid* yang tidak menggunakan bahan bakar, sedangkan hasil simulasi konfigurasi sistem tenaga listrik ke-3 yang memakai sistem *photovoltaic* dan generator sebagai sumbernya adalah sistem yang menghasilkan produksi energi listrik yang terbesar.

Kata kunci: sistem *photovoltaic*, Sistem Grid, Generator, HOMER.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas kehendak-Nya tugas akhir ini dapat kami selesaikan. Pengajuan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat guna Penyelesaian studi pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Meskipun banyak hambatan dan tantangan, namun berkat bantuan dan kerjasama berbagai pihak, akhirnya kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk semua itu, pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T dan Ibu Ir. Hj. Zaenab Muslimin, M.T., sebagai Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran selama kami menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak DR.Ir. H. Andani Ahmad, MT sebagai Ketua Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Bapak Ir. Indra Jaya, MT sebagai Ketua Sub Program Studi Teknik Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, seluruh staf dan karyawan untuk segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Kedua Orangtua kami dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa restu, bantuan, nasehat dan motivasinya. Semoga Allah SWT membalasnya, amin.
4. Seluruh rekan di Jurusan Teknik Elektro, khususnya pada program kelas integrasi Unhas angkatan 2011 yang telah membantu selama perkuliahan dan proses penyusunan tugas akhir ini sehingga dapat terselesaikan.

Kami telah berusaha semaksimal mungkin agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan kemampuan sehingga tugas akhir ini tampil dengan segala kekurangannya. Oleh karena itu, penulis senantiasa membuka diri terhadap saran dan kritik yang bertujuan untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan. Amin.

Makassar, Agustus 2013

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|-----|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | ii |
| ABSTRAK | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xix |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Energi Terbarukan | 5 |
| 2.2 Photovoltaic | 7 |
| 2.2.1 Sel photovoltaic..... | 11 |
| 2.2.2 Jenis – jenis panel surya | 14 |
| 2.2.2.1 Silikon untuk sel surya..... | 14 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.2.2 Sel surya film tipis..... | 18 |
| 2.2.3 prinsip kerja | 19 |
| 2.2.4 Keuntungan dan kekurangan fotovoltaic dari segi lingkungan . | 19 |
| 2.2.5 Keuntungan dan kekurangan fotovoltaic dari segi ekonomi | 20 |
| 2.3 Perrangkat Lunak Homer | 20 |
| 2.3.1 Biaya net total masa kini (Total NPC) | 22 |
| 2.3.2 Syarat batas biaya energi (Levelized COE)..... | 23 |
| 2.3.3 Total biaya operasi | 24 |
| 2.3.4 Fraksi terbarukn (Re. Frac.)..... | 24 |
| 2.4 Energi Listrik dan Biaya Listrik | 24 |
| 2.4.1 Daya Listrik | 24 |
| 2.4.2 Tarif Listrik..... | 26 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 30 |
| 3.1 Lokasi Penelitian..... | 30 |
| 3.1.1 Orientasi Wilayah kota Makassar | 30 |
| 3.1.2 Orientasi Wilayah PT.Sumber Alfaria Trijaya Tbk, DC Makasar..... | 30 |
| 3.1.3 Data Radiasi dan rata-rata bulanan dalam 1 tahun..... | 31 |
| 3.2.Waktu dan Tempat Penelitian..... | 32 |
| 3.3 Pengambilan Data | 32 |
| 3.4 Prosedur Penelitian Dan simulasi | 33 |
| 3.5 Komponen-komponen simulasi sistem photovoltaic yang terinterkoneksi dengan grip pada program homer | 34 |

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.1 Photovoltaic (PV) | 34 |
| 3.5.1.1 Biaya (Costs) | 35 |
| 3.5.1.2 Ukuran Untuk dipertimbangkan | 36 |
| 3.5.1.3 Pengaturan dan detail (Propertis dan Advance) | 37 |
| 3.5.2 Grid..... | 38 |
| 3.5.2.1 Biaya (Costs) | 39 |
| 3.5.2.2 Emisi | 41 |
| 3.5.2.3 Pengaturan tambahan (Advance)..... | 42 |
| 3.5.3 Inverter | 43 |
| 3.5.3.1 Biaya (Costs) | 44 |
| 3.5.3.2 Ukuran untuk mempertimbangkan | 45 |
| 3.5.3.3 Inverter input dan Rectifier Input..... | 46 |
| 3.5.4 Generator Diesel | 47 |
| 3.5.4.1 Biaya (Costs) | 47 |
| 3.5.4.2 Fuel (Bahan Bakar)..... | 49 |
| 3.5.4.3 Scedule (Jadwal)..... | 50 |
| 3.5.5 Baterai..... | 51 |
| 3.5.5.1 Biaya (Costs) | 53 |
| 3.5.5.2 Ukuran untuk dipertimbangkan..... | 54 |
| 3.6 Variabel Input | 55 |
| 3.6.1 Data Sumber Daya Alam | 55 |
| 3.6.2 Harga Bahan Bakar | 56 |
| 3.6.3 Variabel Ekonomi | 56 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6.4 Sistem Kontrol | 57 |
| 3.6.4 Contrains (Kendala / Batasan) | 58 |
| 3.5.4.1 Cadangan Operasi (Operating reserve)..... | 59 |
| 3.5.4.2 Primary Energi Savings | 59 |
| 3.7 Studi Implementasi sistem photovoltaic pada gedung yang terinterkoneksi dengan sistem grid..... | 60 |
| 3.7.1 metode simulasi dan optimasi..... | 60 |
| 3.7.2 simulasi sistem photovoltaic pada gedung yang terinterkoneksi dengan sistem grid..... | 61 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 63 |
| 4.1 Sistem kelistrikan..... | 63 |
| 4.2 Simulasi sistem tenaga listrik dengan menggunakan homer..... | 69 |
| 4.2.1 Simulasi konfigurasi sistem 1 | 70 |
| 4.2.2 Simulasi konfigurasi sistem 2 | 71 |
| 4.2.3 Simulasi konfigurasi sistem 3 | 72 |
| 4.2.4 Simulasi konfigurasi sistem 4 | 74 |
| 4.2.5 Simulasi konfigurasi sistem 5 | 75 |
| 4.2.6 Simulasi konfigurasi sistem 6 | 77 |
| 4.2.7 Simulasi konfigurasi sistem 7 | 78 |
| 4.2.8 Simulasi konfigurasi sistem 8 | 80 |
| 4.3 Analisa hasil Simulasi | 81 |
| 4.3.1 Simulasi konfigurasi sistem 1 | 82 |
| 4.3.1.1 Produksi Listrik..... | 82 |

| | |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 4.3.1.2 Biaya-biaya | 83 |
| 4.3.2 Simulasi konfigurasi sistem 2 | 85 |
| 4.3.2.1 Produksi Listrik..... | 85 |
| 4.3.2.2 Biaya-biaya | 86 |
| 4.3.3 Simulasi konfigurasi sistem 3 | 88 |
| 4.3.3.1 Produksi Listrik..... | 88 |
| 4.3.3.2 Biaya-biaya | 89 |
| 4.3.3.3 Kelebihan Listrik Yang tidak terpakai | 91 |
| 4.3.4 Simulasi konfigurasi sistem 4 | 91 |
| 4.3.4.1 Produksi Listrik..... | 91 |
| 4.3.4.2 Biaya-biaya | 93 |
| 4.3.4.3 Kelebihan Listrik Yang tidak terpakai | 94 |
| 4.3.5 Simulasi konfigurasi sistem 5 | 94 |
| 4.3.5.1 Produksi Listrik..... | 94 |
| 4.3.5.2 Biaya-biaya | 97 |
| 4.3.5.3 Kelebihan Listrik Yang tidak terpakai | 98 |
| 4.3.6 Simulasi konfigurasi sistem 6 | 98 |
| 4.3.6.1 Produksi Listrik..... | 98 |
| 4.3.6.2 Biaya-biaya | 100 |
| 4.3.6.3 Kelebihan Listrik Yang tidak terpakai | 101 |
| 4.3.7 Simulasi konfigurasi sistem 7 | 102 |
| 4.3.7.1 Produksi Listrik..... | 102 |
| 4.3.7.2 Biaya-biaya | 104 |

| | |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.7.3 Kelebihan Listrik Yang tidak terpakai | 105 |
| 4.3.8 Simulasi konfigurasi sistem 8 | 106 |
| 4.3.8.1 Produksi Listrik..... | 106 |
| 4.3.8.2 Biaya-biaya | 108 |
| 4.3.8.3 Kelebihan Listrik Yang tidak terpakai | 109 |
| 4.4 Analisa perbandingan hasil simulasi..... | 110 |
| 4.4.1 Perbandingan Nilai Net Present Cost | 110 |
| 4.4.2 Perbandingan Nilai Cost Of Energy | 112 |
| 4.4.3 Perbandingan Nilai Biaya operasi (Operating Cost)..... | 113 |
| 4.4.4 Perbandingan Nilai initial Capital Cost..... | 114 |
| 4.4.5 Perbandingan Initial Capital Cost dan operating Cost | 116 |
| 4.4.6 Perbandingan Cost of Eergy dan Rewenable Fraction..... | 116 |
| 4.4.6.1 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 3 | 117 |
| 4.4.6.2 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 4..... | 118 |
| 4.4.6.3 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 5 | 119 |
| 4.4.6.4 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 6 | 120 |
| 4.4.6.5 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 7 | 121 |
| 4.4.6.6 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 8..... | 122 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 124 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 124 |
| 5.2 Saran | 125 |
| DAFTAR PUSTAKA | 126 |
| LAMPIRAN | 127 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| Gambar 2.1 Skema Pengoperasian dasar sel Photovoltaic..... | 11 |
| Gambar 2.2 Cell, Modul dan Array | 12 |
| Gambar 2.3 Panel Surya Mono – Kristal | 16 |
| Gambar 2.4 Panel Surya Poly - Kristal | 17 |
| Gambar 2.5 Tampilan Program HOMER | 20 |
| Gambar 2.6 Arsitektur Simulasi dan Optimasi HOMER..... | 21 |
| Gambar 3.1 Lokasi Penelitian | 30 |
| Gambar 3.2 Data Radiasi Matahari Kota Makassar | 31 |
| Gambar 3.3 Diagram Penelitian | 33 |
| Gambar 3.4 Gambar 3.4 Helios Tipe Mono-Si-6T-500W | 34 |
| Gambar 3.5 Tampilan Menu Input PV | 35 |
| Gambar 3.6 Tampilan Pilihan Biaya Photovoltaic | 36 |
| Gambar 3.7 Tampilan Kapasitas Photovoltaic yang akan dipilih | 36 |
| Gambar 3.8 Tampilan Menu Input Grid | 39 |
| Gambar 3.9 Tampilan Pilihan Biaya Grid..... | 40 |
| Gambar 3.10 Tampilan Pilihan Emisi yang dihasilkan Grid | 42 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.11 Tampilan Menu Advance Grid | 42 |
| Gambar 3.12 Inverter Xenter Tipe XW6048-120/240-60..... | 44 |
| Gambar 3.13 Tampilan Menu Input Inverter | 44 |
| Gambar 3.14 Tampilan pilihan Biaya Inverter..... | 45 |
| Gambar 3.15 Tampilan kapasitas Inverter yang akan dipilih..... | 45 |
| Gambar 3.16 Tampilan Menu Input Inverter dan Rectifier | 46 |
| Gambar 3.17 Generator Diesel Perkins 400 KW | 47 |
| Gambar 3.18 Tampilan Menu Generator Input Simulasi..... | 48 |
| Gambar 3.19 Tampilan Jadwal Penggunaan Generator..... | 50 |
| Gambar 3.20 Tampilan Menu Generator Input Simulasi | 51 |
| Gambar 3.21 Tampilan Menu Generator Input Simulasi..... | 51 |
| Gambar 3.22 Baterai Rolls tipe Surrette 4KS25P | 52 |
| Gambar 3.23 Perincian Baterai yang digunakan dalam Simulasi | 52 |
| Gambar 3.24 Tampilan Menu Input baterai yang digunakan pada Simulasi..... | 53 |
| Gambar 3.25 Tampilan pilihan biaya Baterai | 53 |
| Gambar 3.26(a) Tampilan Kapasitas Baterai yang akan dipilih..... | 54 |
| Gambar 3.26(b) Tampilan bagian tambahan baterai pada homer | 54 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.27 Tampilan antarmuka input data sumber daya Surya HOMER..... | 56 |
| Gambar 3.28 Tampilan antarmuka input data bahan bakar HOMER | 57 |
| Gambar 3.29 Tampilan antarmuka input Variabel ekonomi HOMER..... | 57 |
| Gambar 3.30 Tampilan antarmuka input sistem kontrol HOMER..... | 58 |
| Gambar 3.31 Tampilan antarmuka input <i>constraints</i> HOMER..... | 59 |
| Gambar 3.32 Contoh sistem photovoltaic yang terinterkoneksi dengan Grid | 62 |
| Gambar 4.1 Grafik kurva beban pada hari kerja | 66 |
| Gambar 4.2 Grafik kurva beban tiap akhir pekan | 68 |
| Gambar 4.3 Simulasi sistem tenaga listrik pertama..... | 70 |
| Gambar 4.4 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik pertama..... | 70 |
| Gambar 4.5 Simulasi sistem tenaga listrik kedua..... | 71 |
| Gambar 4.6 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik kedua..... | 71 |
| Gambar 4.7 Simulasi sistem tenaga listrik ketiga..... | 72 |
| Gambar 4.8 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik ketiga | 73 |
| Gambar 4.9 Simulasi sistem tenaga listrik keempat | 74 |
| Gambar 4.10 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik keempat | 74 |
| Gambar 4.11 Simulasi sistem tenaga listrik kelima..... | 75 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.12 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik kelima..... | 76 |
| Gambar 4.13 Simulasi sistem tenaga listrik keenam | 77 |
| Gambar 4.14 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik keenam | 77 |
| Gambar 4.15 Simulasi sistem tenaga listrik ketujuh..... | 78 |
| Gambar 4.16 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik ketujuh | 79 |
| Gambar 4.17 Simulasi sistem tenaga listrik kedelapan | 80 |
| Gambar 4.18 Hasil Simulasi sistem tenaga listrik kedelapan | 80 |
| Gambar 4.19 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik pertama..... | 82 |
| Gambar 4.20 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik pertama..... | 83 |
| Gambar 4.21 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik pertama | 84 |
| Gambar 4.22 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik pertama..... | 84 |
| Gambar 4.23 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik kedua | 85 |
| Gambar 4.24 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik kedua | 86 |
| Gambar 4.25 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik kedua..... | 87 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.26 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik kedua | 87 |
| Gambar 4.27 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik ketiga..... | 88 |
| Gambar 4.28 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik ketiga..... | 89 |
| Gambar 4.29 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik ketiga | 90 |
| Gambar 4.30 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik ketiga | 90 |
| Gambar 4.31 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik keempat | 92 |
| Gambar 4.32 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik keempat | 92 |
| Gambar 4.33 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik keempat..... | 93 |
| Gambar 4.34 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik keempat | 94 |
| Gambar 4.35 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik kelima..... | 95 |
| Gambar 4.36 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik kelima..... | 96 |
| Gambar 4.37 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik kelima | 97 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.38 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik kelima | 97 |
| Gambar 4.39 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik keenam | 99 |
| Gambar 4.40 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik keenam | 99 |
| Gambar 4.41 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik keenam..... | 101 |
| Gambar 4.42 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik keenam | 101 |
| Gambar 4.43 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik ketujuh..... | 103 |
| Gambar 4.44 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik ketujuh..... | 103 |
| Gambar 4.45 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik ketujuh | 105 |
| Gambar 4.46 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik ketujuh.... | 105 |
| Gambar 4.47 Produksi listrik bulanan yang dihasilkan pada simulasi sistem tenaga listrik kedelapan..... | 107 |
| Gambar 4.48 Data harian produksi listrik yang dihasilkan dan penggunaan beban pada simulasi sistem tenaga listrik kedelapan..... | 107 |
| Gambar 4.49 Komposisi biaya simulasi sistem tenaga listrik kedelapan | 109 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.50 Komposisi biaya tahunan simulasi sistem tenaga listrik kedelapan | 109 |
| Gambar 4.51 Perbandingan nilai <i>net present cost</i> | 111 |
| Gambar 4.52 Perbandingan nilai <i>cost of energy</i> | 112 |
| Gambar 4.53 Perbandingan biaya operasional | 113 |
| Gambar 4.54 Perbandingan biaya initial capital..... | 115 |
| Gambar 4.55 Perbandingan biyaiinitial capital dan operating cost | 116 |
| Gambar 4.56 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 3..... | 117 |
| Gambar 4.57 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 4..... | 118 |
| Gambar 4.58 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 5..... | 119 |
| Gambar 4.59 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 6..... | 120 |
| Gambar 4.60 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 7..... | 121 |
| Gambar 4.61 Perbandingan COE dan Ren.Frac. Simulasi 8..... | 122 |

DAFTAR TABEL

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Perbedaan secara umum jenis photovoltaic..... | 18 |
| Tabel 2.2 Tarif Tenaga listrik untuk keperluan Bisnis | 28 |
| Tabel 3.1 Data radiasi matahari | 31 |
| Tabel 4.1 Data beban pada PT. SUMBER ALFARIA TRIJAYA Tbk..... | 64 |
| Tabel 4.2 Data Beban Tiap Hari Kerja | 65 |
| Tabel 4.3 Data Beban Tiap Akhir Pekan..... | 67 |
| Tabel 4.4 Topologi sistem Hibrid yang disimulasikan..... | 69 |
| Tabel 4.5 Hasil simulasi sistem tenaga listrik pertama | 70 |
| Tabel 4.6 Hasil simulasi sistem tenaga listrik kedua..... | 72 |
| Tabel 4.7 Hasil simulasi sistem tenaga listrik ketiga..... | 73 |
| Tabel 4.8 Hasil simulasi sistem tenaga listrik keempat..... | 75 |
| Tabel 4.9 Hasil simulasi sistem tenaga listrik kelima | 76 |
| Tabel 4.10 Hasil simulasi sistem tenaga listrik keenam..... | 78 |
| Tabel 4.11 Hasil simulasi sistem tenaga listrik ketujuh | 79 |
| Tabel 4.12 Hasil simulasi sistem tenaga listrik kedelapan..... | 81 |
| Tabel 4.13 Nilai Hasil simulasi..... | 67 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam tiga dekade terakhir ini, penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Akses ke energi yang handal dan terjangkau merupakan pra-syarat utama untuk menaikkan standar hidup masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut dilakukan eksplorasi pada sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis. Sumber energi listrik alternatif, di antaranya, seperti : biomassa, biogas, panas bumi, energi surya, dan energi angin. Meskipun demikian, sampai saat ini masih belum banyak negara yang memanfaatkannya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik termasuk di Indonesia. Padahal potensi energy listrik terbarukan di Indonesia sangat besar.

Pembangkit Listrik Tenaga surya yang terinterkoneksi dengan grid, merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang dapat diaplikasikan pada gedung-gedung besar / industri besar guna membantu program pemerintah dalam penghematan pemakaian listrik dari pembangkit konvensional. Sistem photovoltaic ini akan menyuplai sebagian dari beban yang digunakan oleh gedung-gedung besar / industri, dimana akan berdampak mengurangi besaran jumlah pemakaian listrik dari Grid (PLN) atau sehingga terjadi penghematan pembiayaan listrik oleh industri tersebut, dan bila terjadi kelebihan pasokan dari sistem PLTS ini, maka kelebihan energi tersebut dapat dimasukkan kedalam sistem PLN (jika terkoneksi dengan sistem grid PLN).

Dengan demikian ditinjau dari segi ekonomi maka sistem tenaga listrik yang diusulkan ini memiliki kelebihan yaitu biaya operasional sangat rendah dibandingkan teknologi pembangkit yang ada saat ini, namun juga mempunyai kekurangan dari segi

biaya produksi untuk sistem photovoltaic ini pembangkit listrik tenaga surya terbilang mahal, pembangkit ini harus memiliki perangkat-perangkat pendukung seperti *inverter*, *solar array*, *baterai*, *generator diesel* sebagai pendukungnya.

Skripsi ini akan mensimulasi dan mengoptimasikan Sistem photovoltaic yang terinterkoneksi dengan grid dengan menggunakan program komputer HOMER, selain itu akan dilakukan simulasi dengan menggunakan baterai, dan pembangkit listrik tenaga diesel (generator) sebagai pembangkit bantuan untuk memberikan suplai listrik kepada gedung yang dilakukan penelitian.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengoptimasi / mensimulasi sistem photovoltaic yang terinterkoneksi kedalam grid dengan menggunakan perangkat lunak HOMER?
2. Rekomendasi sistem simulasi yang paling efisien untuk digunakan pada sebuah gedung perkantoran / industri.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

1. Untuk mengoptimasi / mensimulasikan suatu sistem photovoltaic yang terinterkoneksi dengan grid dengan menggunakan perangkat lunak HOMER.
2. Untuk merekomendasikan sistem simulasi yang paling efisien untuk sebuah gedung perkantoran / industri.

1.4 BATASAN MASALAH

Dalam penyelesaian tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada:

1. Kasus hanya dilihat pada daerah studi yaitu Makassar, pada gedung PT. Alfaria Trijaya Tbk
2. Analisis optimasi menggunakan perangkat lunak HOMER.
3. Data beban yang digunakan adalah data beban harian pada bulan juni 2013
4. Semua harga komponen yang digunakan adalah harga pada bulan mei 2013 – juni 2013 yang diperoleh dari website masing – masing komponen.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk mempermudah penulisan agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka laporan ini dibagi dalam lima bab, isi masing-masing bab diuraikan secara singkat dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini dijelaskan tentang alasan mengambil topik ini sebagai skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan dibahas tentang penjelasan - penjelasan umum mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian dan simulasi yang akan dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, penjelasan mengenai komponen-komponen simulasi, penjelasan mengenai prosedur dan metode optimasi serta simulasi yang dilakukan dengan menggunakan program HOMER.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan bab yang berisi hasil simulasi dan penelitian serta pembahasannya.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang simpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari alam seperti cahaya matahari, angin, tenaga air, tenaga gelombang dan geothermal yang dapat diperbarui secara alamiah. Alam menyediakan berbagai sumber energi ini dalam jumlah yang sangat besar karena hampir selalu ada dan siap diolah menjadi sumber energi. Berikut ini akan dijelaskan secara ringkas tentang energi terbarukan.

Photovoltaic adalah teknologi merubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Secara umum cara penggunaan tenaga matahari ini dibagi dua yaitu aktif dan pasif. Penggunaan secara aktif yaitu menggunakan teknologi panel *Photovoltaic* atau panel tenaga surya untuk mengumpulkan energi listrik. Sementara cara penggunaan secara pasif adalah dengan cara mengatur arah bangunan, menggunakan material yang menyerap panas dan desain bangunan yang secara alami memperlancar sirkulasi udara didalam bangunan.

Wind power atau tenaga angin dapat digunakan juga untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan kincir angin. Lokasi yang tepat untuk mendapatkan energi ini adalah didaerah yang berangin kencang dan konstan seperti daerah pantai atau daerah dataran tinggi.

Hydropower atau tenaga air juga dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan kincir air yang dewasa ini disebut dengan *hydroelectric*. Kalau listrik yang dihasilkan tidak terlalu besar, teknologi yang digunakan disebut *micro hydro*. *Biomassa (plant material)* adalah sumber *renewable energy* atau energi terbarukan karena energi ini berasal dari matahari. Melalui proses fotosintesa, tanaman menangkap tenaga matahari. Dalam hal ini biomassa berfungsi sebagai aki tempat penyimpanan energi surya.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya; kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun untuk menghasilkan listrik. Energi *geothermal* adalah energi yang dihasilkan dengan cara mengambil panas bumi. Ada 3 macam *power plants* yang digunakan untuk mendapatkan energi dari energi geothermal, yaitu *dry steam, flash, dan binary*. *Dry steam plants* mengambil uap panas bumi dan langsung digunakan untuk menggerakkan turbin yang memutar generator penghasil listrik. *Flash plants* mengambil air panas, biasanya bersuhu lebih dari 200°C, dari tanah yang kemudian mendidih pada saat naik ke permukaan dan kemudian dipisahkan antara air panas dan uap panas yang dialirkan ke turbin. Untuk *binary plants*, air panas mengalir melalui *heat exchangers*, mendidihkan cairan organik yang memutar turbin. Uap panas yang dimampatkan dan sisa

dari cairan geothermal dari ketiga cara diatas disuntikkan lagi ke batuan panas agar menghasilkan panas lagi.

2.2 Photovoltaic

Teknologi *photovoltaic* merupakan suatu teknologi konversi yang mengubah cahaya (*photo*) menjadi listrik (*volt*) secara langsung (*direct conversion*). Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotolistrik (*photoelectric effect*). Didalam proses konversi cahaya listrik tidak ada bagian yang bergerak, sehingga produk teknologi *Photovoltaic* memiliki umur teknis yang panjang (>25 tahun).

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperature sel tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal pada sel photovoltaic akan melemahkan voltage (Voc). Setiap kenaikan temperature sel surya 1°C (dari 25°) akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperature sel per 10°C. Kecepatan tiup angin di sekitar lokasi photovoltaic array dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca photovoltaic array [1].

Kedaaan atmosfir bumi; berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut, dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari deretan photovoltaic. Orientasi dari rangkaian photovoltaic (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan photovoltaic dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt

angle) dari panel/deretan photovoltaic juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka panel/deretan photovoltaic sebaiknya diorientasikan ke selatan. Orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel/deretan photovoltaic, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum [1].

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel photovoltaic secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum 1000 W/m^2 atau 1 kWh/m^2 [1]. Kalau tidak dapat mempertahankan ketegaklurusan antara sinar matahari dengan bidang photovoltaic, maka extra luasan bidang panel photovoltaic dibutuhkan (bidang panel photovoltaic terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari). Solar panel photovoltaic pada equator yang diletakkan mendatar akan menghasilkan energi maksimum. Sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan tilt angle yang optimum. Perusahaan BP Solar telah mengembangkan sebuah software untuk menghitung dan memperkirakan energi optimum dengan letak latitude, longitude, dan optimum tilt angle (sudut kemiringan) untuk setiap lokasi di seluruh dunia.[1]

Agar dapat memperoleh sejumlah voltage atau ampere yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lain baik secara hubungan seri ataupun secara paralel untuk membentuk suatu rangkaian photovoltaic yang disebut modul. Sebuah modul photovoltaic umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel, dan 72 sel. Beberapa modul photovoltaic dihubungkan untuk membentuk satu rangkaian tertentu disebut photovoltaic

Panel, sedangkan jika berderetderet modul photovoltaic dihubungkan secara baris dan kolom disebut photovoltaic array. [2]

Hubungan sel-sel surya dalam modul dapat dilakukan secara seri untuk mendapatkan varian voltage umumnya 12 V, dan secara paralel untuk mendapatkan varian "arus listrik" (current). Hubungan modul-modul photovoltaic pada array juga dapat dihubungkan secara seri untuk mendapatkan voltage yang tinggi, dan dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan amps yang besar.[2]

Aliran listrik yang didapat dari panel photovoltaic akan berupa listrik DC-direct current, kemudian disimpan ke accu, dan sebagian listrik DC diubah ke Acalternating current dengan alat inverter untuk dipakai dengan alat rumahtangga, seperti lemari es, TV, lampu, pompa air, dsb. Kemudian sebagian DC dapat dipakai langsung untuk sebagian alat dengan spesifikasi DC. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada volt. [2]

Ada 3 sistem rangkaian photovoltaic:

1. sistem DC semua
2. sistem DC dan AC
3. sistem interaktif DC, AC dan jaringan listrik lokal PLN

Sistem DC dan AC memungkinkan penggunaan Generator Set sebagai tenaga cadangan untuk membantu pengisian rangkaian baterai bila cuaca atau radiasi matahari tidak dapat menghasilkan tenaga listrik.

Terdapat 5 cara perletakan modul photovoltaic:

- Fixed array (susunan photovoltaic tetap)

Deretan modul photovoltaic diletakkan pada struktur penyangga photovoltaic (rangka tersendiri) atau menyatu ke struktur atap. Perhitungan sudut kemiringan pada suatu lokasi berdasarkan latitude optimum pada posisi 21 Maret dan 21 September. Ada 2 macam cara pemasangan photovoltaic pada atap, yaitu shingle module; deretan modul dikaitkan di atas penutup atap, dan Integral Roof Modules; deretan modul dipasang secara integral dengan struktur rangka atap. Sedangkan pada lisplank, deretan photovoltaic dipasang secara tetap pada bidang lisplank overstack. Pada wall-cladding dipakai silikonefisiensi tinggi yaitu "Mono-crystalline", dan sebagai glass cladding dipakai silikon 'amorphous dan 'crystalline'. photovoltaic bisa dipasang pada bangunan yang telah ada, atau bisa diletakkan terpisah dari bangunan tapi dihubungkan oleh kabel untuk mensupply power ke bangunan.[1]

- Seasonally Adjusted Tilting (kemiringan photovoltaic disesuaikan dengan musim)

Deretan modul photovoltaic dapat diubah secara manual sesuai waktu atau sesuai waktu yang dikehendaki untuk pengoptimalan tilt angle.

- One axis tracking (pergerakan photovoltaic satu arah)

Panel modul photovoltaic dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari timur ke barat secara otomatis, akan mendapatkan efisiensi 20% dibandingkan dengan fixed arrays (susunan photovoltaic tetap atau tidak berubah).

- Two axis tracking (pergerakan photovoltaic dua arah)

Panel modul photovoltaic dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari timur ke barat serta orientasi Utara-selatan secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi 40% dibandingkan fixed arrays (susunan photovoltaic tetap atau tidak berubah).

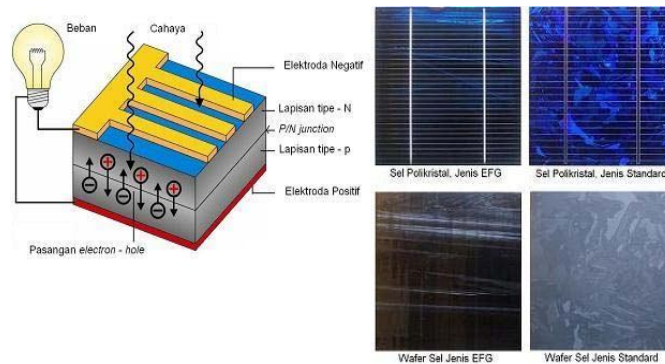
- Concentrator Arrays (pemfokusan deretan photovoltaic)

Deretan lensa optik dan cermin yang memfokuskan pada suatu area sel surya efisiensi tinggi. Tenaga puncak total dari pemasangan solar panel adalah sekitar 5300 MW. Kapasitas power photovoltaic diukur dalam Wp (Watt peak). 'Peak power' adalah nilai nominal power. Ini adalah ukuran power di bawah 'Standart Test Condition'. Kondisi buatan ini, dikembangkan untuk standrardisasi dan pembadingan solar sel atau modul yang berbeda. Mereka tidak cocok dengan kondisi kehidupan nyata, dan tidak mewakili peak power dari sel atau modul pada pencahayaan matahari yang paling tinggi. [1]

2.2.1 Sel *Photovoltaic*

Sel *Photovoltaic* atau sel surya merupakan komponen terkecil didalam system Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki sifat Efek fotolistrik.

Teknologi sel *Photovoltaic* yang tersedia dewasa ini masih didominasi oleh jenis sel dengan teknologi kristal, baik mono – kristal maupun poly - kristal, khususnya dari bahan dasar silikon. Sinar matahari yang menimpa permukaan sel diubah secara langsung menjadi listrik sebagai akibat terjadinya pergerakan pasangan *electron-hole*. Seperti pada Gambar 2.1.

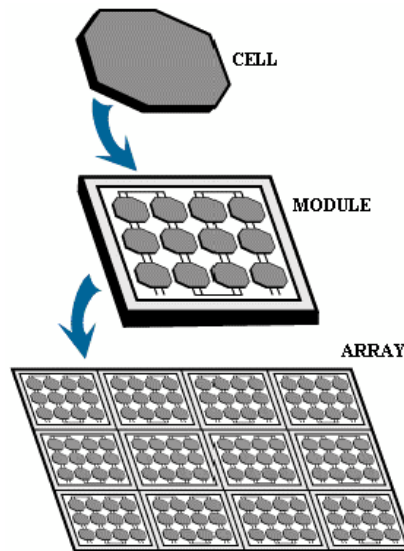


Gambar 2.1 Skema pengoperasian dasar sel *Photovoltaic*.^[3]

Sel surya terbuat dari jenis yang sama dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang digunakan dalam industri mikroelektronika. Untuk sel surya, wafer semikonduktor tipis diperlakukan secara khusus untuk membentuk medan listrik, di satu sisi positif dan negatif di sisi lain. Ketika energi cahaya matahari mengenai sel elektron terlepas dari atom yang ada dalam material semikonduktor. Jika konduktor listrik yang melekat pada sisi positif dan negatif, membentuk sebuah rangkaian listrik, elektron dapat ditangkap dalam bentuk arus listrik. Listrik ini kemudian dapat digunakan untuk menyalakan sebuah beban, seperti lampu atau alat lain.[3]

Sejumlah sel surya secara dihubungkan satu sama lain dan dipasang pada struktur pendukung atau frame yang disebut modul *Photovoltaic*. Modul ini

dirancang untuk pasokan listrik pada tegangan tertentu, misalnya sistem yang sudah umum, yaitu, 12 Volt. Arus yang dihasilkan secara langsung tergantung pada seberapa banyak cahaya menerpa permukaan cell. Seperti pada Gambar 2.2.



Gambar. 2.2 Cell, modul dan array. ^[3]

Penentuan kapasitas *Photovoltaic* yaitu kapasitas photovoltaic array ditentukan oleh keseimbangan antara daya yang dihasilkan dan daya yang disuplai beban serta intensitas solar energi dengan menggunakan rumus :

$$P_{PV} = \frac{Q_L \times A}{H_{td} \times K} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$P_{photovoltaic}$ = Kapasitas photovoltaic (Wp)

Q_L = Energi beban rata – rata (kWh/d)

A = Radiasi standar (1000 Watt/m²)

H_{td} = Insolasi desain (kW/m² – α)

K = Faktor kerugian

Menghitung area array (photovoltaic Area) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PV Area = \frac{E_L}{G_{AV} \times \eta_{PV} \times TFC \times \eta_{out}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

EL = Pemakaian energi (kWh/hari)

G_{AV} = Insolasi harian matahari rata – rata (kWh/m²/hari)

η_{photovoltaic} = Efisiensi panel surya

TFC = Temperature correction factor

η_{out} = Efisiensi inverter

Menghitung daya puncak yang dibangkitkan PLTS, dari perhitungan area array, maka besar daya puncak yang dibangkitkan PLTS dapat di perhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{Watt peak} = Area array \times A \times \eta_{PV} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

A = Radiasi standar (1000 W/m²)

$\eta_{photovoltaic}$ = Efisiensi panel surya

Selanjutnya berdasarkan daya yang akan dibangkitkan (W_{peak}), maka jumlah panel surya yang diperlukan, diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{P_{Watt\ peak}}{P_{MPP}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Di mana :

$P_{watt\ peak}$ = Daya yang dibangkitkan (W_p)

P_{MPP} = Daya maksimum keluaran panel surya (W)

2.2.2 Jenis – jenis panel surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Panel sel surya terdiri dari *Photovoltaic*, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah panel sel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Contohnya ukuran a cm x b cm menghasilkan listrik DC (Direct Current) sebesar x Watt per hour/ jam.

2.2.2.1 Silikon untuk sel surya

Sel surya dibuat dari silikon yang berbentuk bujur sangkar pipih dengan

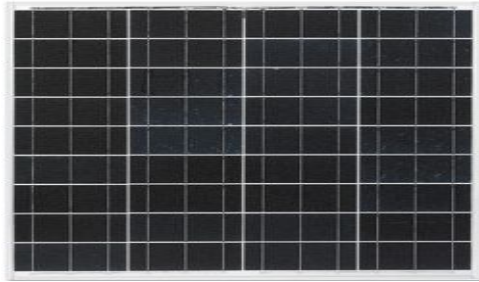
ukuran 5 x 5 cm atau 10 x 10 cm persegi. Ketebalan silikon ini sekitar 2 mm. Lempengan bujur sangkar pipih ini disebut dengan wafer silikon untuk sel surya. Bentuk wafer silikon sel surya berbeda dengan wafer silikon untuk semikonduktor lain (chip, prosesor komputer, RAM memori) yang berbentuk bundar pipih meski memiliki ketebalan yang sama. Wafer silikon dibuat melalui proses pembuatan wafer silikon dengan memanfaatkan silikon berkadar kemurnian tinggi sebelumnya (*semiconductor grade silicon*). Berikut beberapa cara membuat wafer silikon untuk keperluan sel surya yaitu :

- Mono-kristal silikon.

Mono kristal di sini berarti silikon tersebut tersusun atas satu kristal saja. Sedangkan jenis lain ialah wafer silikon polikristal yang terdiri atas banyak kristal. Wafer silikon monokristal dibuat melalui proses Czochralski (Cz) yang merupakan jantung dari proses pembuatan wafer silikon untuk semikonduktor pula. Prosesnya melibatkan peleburan silikon semiconductor grade, diikuti dengan pemasukan batang umpan silikon ke dalam leburan silikon. Ketika batang umpan ini ditarik perlahan dari leburan silikon, maka secara otomatis silikon dari leburan akan menempel di batang umpan dan membeku sebagai satu kristal besar silikon. Suhu proses berkisar antara 1000-1200 derajat Celsius, yakni suhu di mana silikon dapat melebur atau meleleh atau mencair. Silikon yang telah membeku ini akhirnya dipotong-potong menghasilkan wafer dengan ketebalan sekitar 2 milimeter.

Monokristal Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%.

Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Seperti yang terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Panel Surya Mono - kristal. ^[4]

- Poli-kristal silikon.

Wafer silikon monokristal relatif jauh lebih sulit dibuat dan lebih mahal. Silikon monokristal inilah yang digunakan untuk bahan dasar semikonduktor pada mikrochip, prosesor, transistor, memori dan sebagainya. Keadaannya yang monokristal (mengandung hanya satu kristal tunggal) membuat silikon monokristal nyaris tanpa cacat dan sangat baik tingkat hantar listrik dan panasnya. Sel surya akan bekerja dengan sangat baik dengan tingkat efisiensi yang tinggi jika menggunakan silikon jenis ini.

Polykristal merupakan panel surya atau solar cell yang memiliki susunan kristal acak. Type polykristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.



Gambar 2.4 **Panel Surya Poly – Kristal.** ^[4]

Namun demikian, perlu diingat bahwa isu besar sel surya ialah bagaimana menurunkan harga yang masih jauh dari jangkauan masyarakat. Penggunaan silikon monokristal jelas akan melonjakkan harga sel surya yang akhirnya justru kontraproduktif. Komunitas industri dan peneliti sel surya akhirnya berpaling ke jenis silikon yang lain yang lebih murah, lebih mudah dibuat, meski agak sedikit mengorbankan tingkat efisiensinya. Saat ini, baik silikon monokristal maupun polikristal sama-sama banyak digunakan oleh masyarakat.[4]

Pembuatan silikon polikristal pada intinya sama dengan mengecor logam. *Semiconductor grade silicon* dimasukkan ke dalam sebuah tungku atau tanur bersuhu tinggi hingga melebur atau meleleh. Leburan silikon ini akhirnya dimasukkan ke dalam cetakan cor dan selanjutnya dibiarkan membeku. Persis seperti pengecoran besi, aluminium, tembaga maupun logam lainnya. Silikon yang beku kemudian dipotong-potong menjadi berukuran 5 x 5 cm atau 10 x 10 cm persegi dengan ketebalan kira-kira 2 mm untuk digunakan sebagai sel surya. Proses pembuatan silikon polikristal dengan cara ini merupakan proses yang paling banyak dilakukan karena sangat efektif baik dari segi ekonomis maupun teknis.[4]

Tabel 2.1 Perbedaan secara umum jenis Photovoltaic

| | Efisiensi Perubahan Daya | Daya Tahan | Biaya | Keterangan | Penggunaan |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Mono | Sangat Baik | Sangat baik | Baik | Kegunaan pemakaian luas | Sehari – hari |
| Poly | Baik | Sangat baik | Sangat baik | Cocok untuk produksi massal di masa depan | Sehari – hari |
| Amorphous (a-Si) | Cukup baik | Cukup baik | Baik | Bekerja baik dalam pencahayaan fluorescent | Sehari – hari dan perangkat komersial (kalkulator) |
| Compound (GaAs) | Sangat baik | Sangat baik | Cukup baik | Berta dan rapuh | Pemakaian diluar angkasa |

2.2.2.2 Sel Surya Film Tipis

Sel surya yang terbuat dari film tipis (Thin film solar cells) di antaranya ada tiga material yang sedang dikembangkan secara intensif yaitu CuInSe_2 (atau paduannya seperti CuInS_2 atau CuInGaSe_2), CdTe dan silikon amorf. Sel surya film tipis CdTe telah dapat diproduksi dalam bentuk modul percobaan dengan efisiensi sekitar 10%. diterima dengan baik karena mengandung unsur cadmium. Material CuInSe_2 adalah juga diharapkan dapat digunakan secara luas. Material dengan daya absorpsi cahaya yang besar ini, secara teoritik mempunyai efisiensi 20% bahkan lebih. Dalam skala laboratorium saat ini telah dibuat efisiensi di atas 15%. Yang terakhir adalah silikon amorf. Material ini juga dikenal sebagai bahan dasar pembuatan flat panel display untuk layar

komputer atau televisi portabel. Ini dimungkinkan karena material ini bisa ditumbuhkan dalam ukuran besar dengan lebar lebih dari satu meter. Film tipis silikon amorf biasanya dibuat dengan menguraikan gas monosilane (SiH_4) dalam plasma yang dibangkitkan oleh penguat frekuensi radio (glow discharge) pada suhu yang relatif rendah (250°C). [1]

2.2.3 Prinsip Kerja

Prinsip kerja sederhana photovoltaic adalah sinar matahari dapat dianggap sebagai sebuah gelombang cahaya atau sebagai paket energi (photon). Untuk menjelaskan efek pada sel photovoltaik yang paling mudah adalah dengan menganggap sinar matahari sebagai paket energi (photon). Elektron dapat pindah dari lapisan N ke P tetapi tidak sebaliknya. Photon dengan energi cukup yang mengenai sel tersebut berfungsi untuk mendorong elektron dari lapisan P ke lapisan N karena pada lapisan N terjadi kelebihan elektron sedang pada lapisan P kekurangan elektron. Hal ini menimbulkan beda tegangan yang dapat digunakan sebagai suatu sumber tenaga. [1]

2.2.4 Keuntungan Dan Kekurangan Photovoltaic Dari Segi Lingkungan

Ada beberapa keuntungan dari segi lingkungan dapat diperoleh yaitu :

- Tenaga matahari bebas polusi dalam penggunaannya.
- Tidak memerlukan bahan bakar dan maintenance.

Beberapa kekurangan dari segi lingkungan

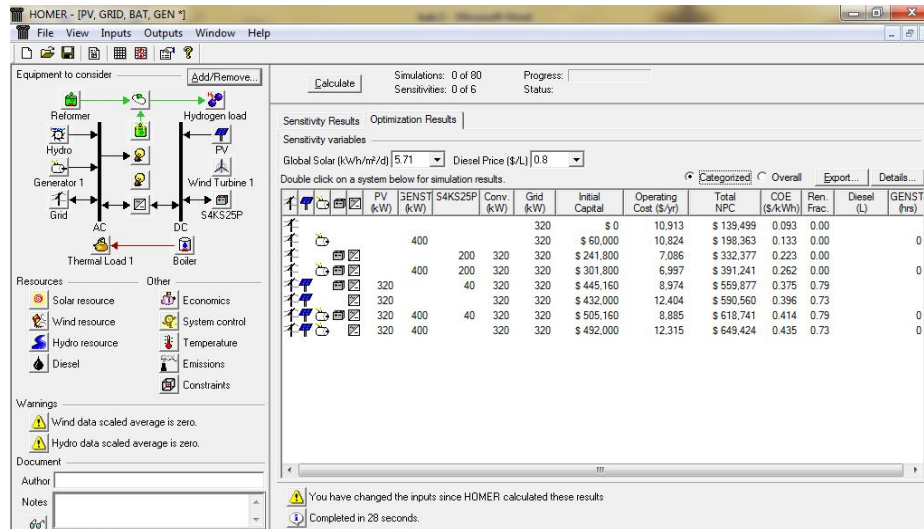
- Listrik tenaga matahari selalu lebih mahal dibandingkan listrik yg dihasilkan oleh sumber yang lain
- Listrik tenaga matahari tidak dapat bekerja pada malam hari dan kurang efektif jika dalam cuaca berawan, oleh karena itu diperlukan sebuah sistem penyimpanan.

2.2.5 Keuntungan Dan Kekurangan Photovoltaic Dari Segi Ekonomi

Jika ditinjau dari segi ekonomi mempunyai kelebihan yaitu biaya operasional sangat rendah dibandingkan teknologi pembangkit yang ada saat ini. Disamping itu serta mempunyai kekurangan dari segi ekonomi yaitu biaya produksi sel surya terbilang mahal dan sel surya harus memiliki perangkat-perangkat pendukung seperti baterai, inverter serta infrastruktur.

2.3 Perangkat Lunak HOMER

HOMER adalah singkatan dari *The Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables*, salah satu perangkat lunak populer untuk desain sistem PLTH menggunakan energi terbarukan. HOMER merupakan perangkat lunak yang mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik stand-alone maupun grid-connected yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, *fuel cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal [4], seperti yang terlihat pada gambar 2.5

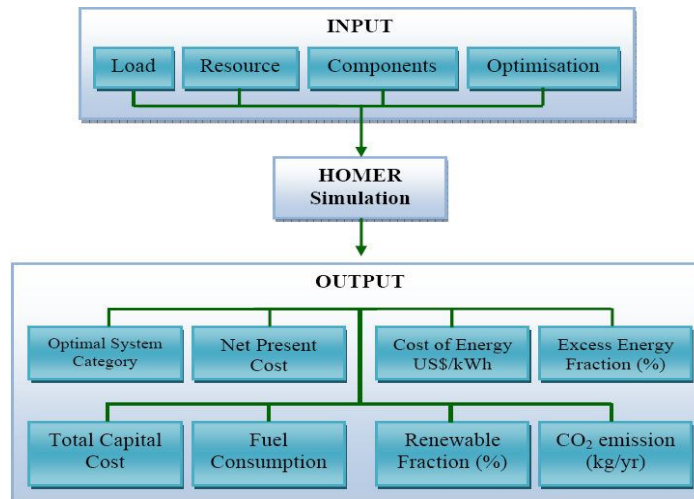


Gambar 2.5 Tampilan Program HOMER

Perangkat lunak HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energy balance untuk setiap 8.760 jam dalam setahun. Jika system mengandung baterai dan generator diesel/bensin, HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah generator diesel/bensin beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi system terbaik dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya seperti biaya awal, biaya penggantian komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar, dan lain-lain.

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut net presents costs - NPC atau disebut juga *life cycle costs*. Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. Error relatif tahunan sekitar 3% dan error relatif bulanan sekitar 10%. Gambar 2.5 menunjukkan arsitektur HOMER dengan sedikit

modifikasi. Ada tiga bagian utama HOMER; input, simulasi dan output.



Gambar 2.6 Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER. ^[5]

- **Optimasi**

Setelah disimulasi, tahapan selanjutnya adalah mengoptimasi semua kemungkinan sistem konfigurasi kemudian diurutkan berdasarkan Nilai Bersih Sekarang (*Net Present Value*) yang dapat digunakan untuk membandingkan sistem desain pilihan.

- **Analisis Sensitivitas**

Ketika variabel sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap sensitivitas variabel yang menentukan. Misalnya, jika ditetapkan kecepatan angin sebagai sensitivitas variabel, HOMER akan mensimulasikan sistem konfigurasi untuk berbagai kecepatan angin yang telah ditetapkan.

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu contoh kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang terendah (NPC), dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus. [5]

Sedangkan kelemahannya adalah perangkat lunak ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi (NPC, COE) bukan contoh sistem yang terperinci, dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa disimulasikan dengan perangkat lunak ini.[5]

2.3.1 Biaya Net Total Masa Kini (*Total Net Present Cost*)

Biaya Net Total Masa Kini *Total Net Present Cost* (NPC) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah [6]. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,R_{proj})} \dots\dots\dots (2.5)$$

Di mana:

$C_{ann,tot}$ = Total biaya tahunan (\$/tahun)

$CRF()$ = Faktor penutupan modal

i = Suku bunga (%)

R_{proj} = Lama waktu suatu project

2.3.2 Syarat Batas Biaya Energi (*Levelized Cost Of Energy*)

Levelized Cost Of Energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi [6], dengan persamaan sebagai berikut :

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid,sales}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana:

$C_{ann,tot}$ = Biaya total sistem tahunan (\$/tahun)

C_{boiler} = Marjin biaya boiler (\$/kWh)

$E_{thermal}$ = Total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{prim,AC}$ = Beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{prim,DC}$ = Beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun)

E_{def} = Beban deferrable yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{grid,sales}$ = Total penjualan grid (kWh/tahun)

2.3.3 Total Biaya Operasi

Biaya operasi total jumlah operasi tahunan dan pemeliharaan (O & M) biaya, biaya total bahan bakar, dan biaya penggantian tahunan dikurangi nilai sisa tahunan. Untuk sistem grid-connected, biaya operasional termasuk biaya tahunan pembelian jaringan dikurangi penjualan jaringan [6].

2.3.4 Fraksi terbarukan (Ren. Frac.)

Fraksi terbarukan atau energi terbarukan adalah bagian dari total produksi energi sistem yang berasal dari sumber energi yang terbarukan. HOMER menghitung fraksi terbarukan dengan membagi total produksi listrik terbarukan tahunan (energi yang dihasilkan oleh array photovoltaic, turbin angin, turbin air, dan biogas berbahan bakar generator) oleh produksi energi total [6]. Fraksi terbarukan disingkat "ren. Frac." Persamaan untuk fraksi terbarukan adalah:

$$F_{ren} = \frac{E_{ren} + H_{ren}}{E_{tot} + H_{tot}} \dots\dots\dots (2.7)$$

di mana:

E_{ren} = produksi listrik terbarukan [kWh]

H_{ren} = produksi termal terbarukan [kWh]

E_{tot} = total produksi listrik [kWh]

H_{tot} = total produksi termal [kWh]

2.4 Energi Listrik dan Biaya Listrik

2.4.1 Daya listrik

Daya listrik pada sistem tenaga listrik bolak-balik tiga fasa terdiri dari tiga komponen, yaitu daya kompleks, daya aktif dan daya reaktif. Yang dimaksud dengan daya kompleks adalah tegangan dan arus yang digunakan untuk diubah energi listrik per satuan waktu. Daya kompleks mengandung komponen real dan imajiner dari daya yang diberikan. [7]

$$S = 3 \times V_{(l-n)} \times I \dots\dots\dots (2.8)$$

$$S = P + j Q \dots\dots\dots (2.9)$$

$$S = S^* \cos \varphi + j S^* \sin \varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

$$E = P \times t \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana,

$V_{(l-n)}$ = Tegangan line to netral

I = Arus

S = Daya kompleks

P = Daya aktif

Q = Daya reaktif

j = Operator imajiner

E = Energi Listrik

t = Waktu atau periode

ϕ = Perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus

Daya aktif disebut juga daya real, sedangkan daya reaktif adalah daya imajiner. Daya aktif adalah daya yang bekerja, sedangkan daya reaktif adalah daya yang timbul akibat penggunaan beban-beban reaktif seperti induktor dan kapasitor. Daya reaktif muncul karena adanya pergeseran fasa antara tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga menyebabkan adanya daya berlawanan arah dengan daya yang disuplai.

2.4.2 Tarif Listrik

Biaya listrik dikenakan kepada pelanggan yang menggunakan listrik yang bersumber dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Biaya listrik terdiri dari dua komponen yaitu Biaya Awal dan Biaya Perbulan.

Penjelasan untuk kedua biaya tersebut adalah sebagai berikut :

a. Biaya Awal

Biaya awal merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh konsumen listrik untuk mendapatkan suplai listrik dari penyedia listrik pada waktu awal [8].

Adapun untuk biaya penyambungan dirinci sebagai berikut :

1. Sambungan 1 fasa atau 3 fasa dengan pembatasan daya dan pengukuran TR :
Daya tersambung dari 250 VA s.d 2.200 VA, dikenakan sebesar Rp 150,00/VA,
Daya tersambung dari 2201 VA s.d 200 kVA termasuk untuk sambungan rumah tangga golongan tarif R-3 dengan daya diatas 200 kVA, dikenakan sebesar Rp 200,00 per VA.

2. Sambungan 3 fasa dengan pembatasan daya dan pengukuran TM dengan daya tersambung 201 kVA ke atas, dikenakan sebesar Rp 125,00 per VA.
3. Sambungan 3 fasa dengan pembatasan daya dan pengukuran TT dengan daya tersambung 30.000 kVA ke atas, dikenakan sebesar Rp 100,00 per VA.
4. Sambungan 1 fasa dengan pembatasan daya dan pengukuran TR di bangunan pelanggan :

Khusus tarif S-1 s.d 220 VA dikenakan sebesar Rp 30.000,00 per sambungan. Untuk penambahan daya dari golongan tarif S-1 (tanpa meter) menjadi 450 VA atau 500 VA (dengan meter) dikenakan sebesar Rp 20.000,00 per sambungan.

b. Biaya Perbulan (pemakaian)

Biaya perbulan merupakan biaya yang harus dikeluarkan setiap bulan, biaya ini terdiri dari beberapa komponen yaitu :

1. Biaya Beban (Abonemen)
2. Biaya Pemakaian (kWh)
3. Biaya kelebihan Pemakaian kVARh
4. Biaya Pemakaian Trafo, jika ada
5. Biaya lain-lain
 - a. Biaya Pajak Penerangan Jalan
 - b. Biaya Materai
 - c. Biaya Pajak Pertambahan Nilai

Adapun tarif yang digunakan untuk Tenaga listrik Keperluan Bisnis, dapat terlihat pada tabel 2.2, sebagai berikut :

Tabel 2.2 Tarif Tenaga listrik Untuk Keperluan Bisnis Tahun 2013

| No. | Go,l tarif | Batas daya | Reguler | | Pra Bayar (Rp/kW h) |
|-----|---------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| | | | Biaya Beban (Rp/kVA/bul an) | Biaya Pemakaian (Rp/kWh) dan Biaya kVArh (Rp/kVArh) | |
| 1 | B - 1/TR | 450 VA | 23.500 | Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 254 Blok II : diatas 30 kWh : 420 | 535 |
| 2 | B - 1/TR | 900 VA | 31.500 | Blok I : 0 s.d. 108 kWh : 420 Blok II : diatas 108 kWh : 465 | 630 |
| 3 | B - 1/TR | 1300 VA | *) | 966 | 966 |
| 4 | B - 1/TR | 2.200 VA s.d. 5.500 VA | *) | 1.100 | 1.100 |
| 5 | B - 2/TR | Di Atas 6.600 VA s.d. 200 kVA | *) | 1.352 | 1.352 |
| 6 | B - | Di Atas | **) | Blok WBP = K x 1.020 , | - |

| | | | | | |
|--|------|---------|--|------------------------------------------|--|
| | 3/TM | 200 kVA | | Blok LWBP =1.020, kVArh = 1.117 (***) | |
|--|------|---------|--|------------------------------------------|--|

*Sumber Peraturan Menteri ESDM Republik Indonesia No.30 Tahun 2012

Catatan :

*) : Ditetapkan Rekening Minimum (RM)

$RM 1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{Biaya}$
Pemakaian.

**) : Ditetapkan Rekening Minimum (RM)

$RM 2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{Biaya}$
Pemakaian LWBP.

Jam Nyala : kWh/Bulan dibagi dengan kVA tersambung.

***) : Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85.

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN).

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.