

BAB IV DESAIN PEMBANGKIT *HYBRID*

4.1. Profil Lokasi Penelitian

Kabupaten Kepulauan Selayar memiliki luas 1357,03 km², dari luas keseluruhan Provinsi Sulawesi Selatan (5764,53 km²).



Gambar 4.1. Lokasi studi kasus

4.2. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik/Beban

Diperoleh dari Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2015-2024:

Tabel 4.1. Proyeksi kebutuhan tenaga listrik di Sulawesi Selatan

Tahun	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Penjualan (GWh)	Produksi (GWh)	Beban Puncak Netto (MW)	Pelanggan
2015	8,44	5.351	6.066	1.038	1.585.608
2016	8,86	6.737	7.569	1.244	1.681.544
2017	9,41	7.794	8.812	1.427	1.769.608
2018	9,69	9.585	10.917	1.737	1.799.235
2019	9,83	10.395	11.918	1.882	1.952.315
2020	9,55	11.283	13.030	2.042	2.046.905
2021	9,55	12.221	14.071	2.211	2.129.839
2022	9,55	13.176	15.124	2.383	2.161.668
2023	9,55	14.229	16.284	2.573	2.194.532
2024	9,55	15.391	17.703	2.782	2.228.636
Pertumbuhan (%)	9,40	12,6%	12,8%	11,7%	3,9%

Sumber: RUPTL PT PLN (PERSERO) 2015-2024

Diketahui luas keseluruhan Provinsi Sulawesi Selatan adalah 45764,53 km² dan luas Kabupaten Kepulauan Selayar 1357,03 km², maka diketahui persentase luas Kabupaten Kepulauan Selayar terhadap Provinsi Sulawesi Selatan

adalah 2,97%. Diketahui luas lokasi penelitian adalah 271,22 km², persentase luas lokasi dari keseluruhan luas Kabupaten Kepulauan Selayar adalah 19,99% dari luas keseluruhan pulau. Dengan menggunakan pendekatan, diketahui:

Proyeksi kebutuhan tenaga listrik di Sulawesi Selatan (beban puncak) tahun 2015: 1038 MW, dengan persentase pertumbuhan /tahun 11,7%; maka:

$$1038 \times 2,97\% = 31 \text{ MW};$$

$$31 \times 19,99\% = 6,152 \text{ MW};$$

$$\text{beban /hari lokasi} = 6,152 \times 1000 / 8760 = 0,702 \text{ kW atau } 16,854 \text{ kWh /hari.}$$

Tabel 4.2. Proyeksi kebutuhan tenaga listrik lokasi penelitian

Tahun	Proyeksi Beban Sulawesi Selatan (MW)	Proyeksi Beban Kab. Kep. Selayar (MW)	Proyeksi Beban Lokasi (MW)	Proyeksi Beban Lokasi (kW)	Proyeksi Beban Lokasi (kWh)
2015	1038	31	6,152	0,702	16,854
2016	1244	37	7,372	0,842	20,199
2017	1427	42	8,457	0,965	23,170
2018	1737	52	10,294	1,175	28,203
2019	1882	56	11,154	1,273	30,558
2020	2042	61	12,102	1,381	33,155
2021	2211	66	13,103	1,496	35,900
2022	2383	71	14,123	1,612	38,692
2023	2573	76	15,249	1,741	41,777
2024	2782	82	16,487	1,882	45,171
2025	3107	92	18,416	2,102	50,456
2026	3471	103	20,571	2,348	56,359
2027	3877	115	22,978	2,623	62,953
2028	4331	128	25,666	2,930	70,318
2029	4838	143	28,669	3,273	78,546
2030	5404	160	32,023	3,656	87,736
2031	6036	179	35,770	4,083	98,001
2032	6742	200	39,955	4,561	109,467
2033	7531	223	44,630	5,095	122,274
2034	8412	249	49,852	5,691	136,580

4.3. Desain Pembangkit Sumber Energi Listrik

4.3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

4.3.1.1. Konversi Energi

Proses konversi pembangkit listrik tenaga surya pada penggunaannya sebagai sumber energi untuk pembangkit *hybrid*, dapat langsung mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan mekanisme fotoelektrik dengan bantuan perangkat-perangkat teknologi *photovoltaic*.

Skala rata-rata /tahun dari intensitas radiasi matahari di lokasi adalah 5,209 atau 5,21 kWh/m²/hari. Intensitas radiasi matahari /hari di lokasi disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3. Intensitas radiasi matahari di lokasi

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /d)
January	0.440	4.680
February	0.444	4.760
March	0.495	5.210
April	0.513	5.070
May	0.526	4.780
June	0.525	4.530
July	0.546	4.810
August	0.595	5.650
September	0.624	6.380
October	0.595	6.300
November	0.526	5.580
December	0.450	4.740
Average:	0.522	5.209

Sumber: NASA/SSE

Index adalah persentase energi masukan untuk nilai intensitas radiasi yang kemudian dapat dihasilkan sebagai energi listrik oleh pembangkit.

4.3.1.2. Perawatan Teknis Pembangkit

Secara teknis, pembangkit jenis ini relatif tidak memerlukan perawatan berkala secara rutin. Dengan masa pakai rata-rata 20 tahun, pembangkit jenis ini hanya memerlukan perawatan dan penggantian komponen ketika terjadi kerusakan pada beberapa komponen perangkat. Persentase biaya perawatan dan operasional /tahun pada pembangkit jenis ini adalah 40%.

4.3.1.3. Kapasitas Pembangkit

Kapasitas pembangkit tenaga surya yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 kWp, dengan kapasitas optimal yang dipertimbangkan untuk memenuhi kebutuhan beban adalah 7,5 kWp. Adanya pertimbangan kapasitas bertujuan untuk meminimalisir biaya serta optimasi kinerja pembangkit.

Jika diketahui bahwa indeks intensitas radiasi matahari /hari pada Bulan Januari adalah 0,440 dengan intensitas radiasi matahari 4,680 kWh/m²/hari, dengan kapasitas pembangkit sebesar 5 kWp, maka:

$$0,440 \times 100 = 44\%;$$

$$44\% \times 15 = 2,2 \text{ kWp.}$$

Maka ketika intensitas radiasi matahari 4,680 kWh/m²/hari, energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit berkapasitas 5 kWp adalah 2,2 kWp.

4.3.1.4. Koneksi Jalur Bus

Dari segi distribusi arus dari pembangkit ke beban, arus yang dihasilkan oleh pembangkit jenis ini terkoneksi ke jalur bus DC. Dengan demikian, perangkat-perangkat rumah tangga yang menggunakan arus DC sebagai masukan energi listrik, dapat langsung menerima distribusi energi dari pembangkit; untuk perangkat yang menggunakan arus AC, arus DC dikonversi menjadi arus AC terlebih dahulu dengan menggunakan konverter.

4.3.2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

4.3.2.1. Konversi Energi

Proses konversi energi angin menjadi energi listrik pada pembangkit jenis ini adalah dengan merubah energi kinetik yang dimiliki angin menjadi energi mekanik oleh kincir angin yang memutar *generator* untuk kemudian menjadi energi listrik, sehingga pembangkit jenis ini sangat bergantung pada kecepatan angin untuk dapat menghasilkan energi listrik.

Skala kecepatan angin tahunan rata-rata di lokasi adalah 4 m/detik. Untuk kecepatan angin rata-rata /bulan, disajikan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4. Kecepatan angin di lokasi

Month	Wind Speed (m/s)
January	5.640
February	4.940
March	5.348
April	3.940
May	4.340
June	2.940
July	2.440
August	3.140
September	3.140
October	3.640
November	3.440
December	5.040
Annual average	3.998

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS)

4.3.2.2. Perawatan Teknis Pembangkit

Secara teknis, pembangkit jenis ini relatif tidak memerlukan perawatan berkala secara rutin. Dengan masa pakai rata-rata 15 tahun, pembangkit jenis ini hanya memerlukan perawatan dan penggantian komponen ketika terjadi kerusakan pada beberapa komponen perangkat. Persentase biaya perawatan dan operasional /tahun pada pembangkit jenis ini adalah 40%.

4.3.2.3. Kapasitas Pembangkit

Kuantitas pembangkit tenaga angin yang digunakan pada penelitian ini adalah satu unit pembangkit dengan kapasitas 1,8 kW, dengan kuantitas optimal yang dipertimbangkan untuk memenuhi kebutuhan beban adalah 1 hingga 5 unit pembangkit berkapasitas 1,8 kW. Adanya pertimbangan kapasitas bertujuan untuk meminimalisir biaya serta optimasi kinerja pembangkit.

Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit bergantung pada kecepatan angin serta efisiensi dari pembangkit. Konversi kecepatan angin menjadi energi listrik disajikan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5. Konversi keluaran energi terhadap kecepatan angin

Wind Speed (m/s)	Power Output (kW)
0.00	0.000
1.00	0.000
2.00	0.000
3.00	0.000
4.00	3.400
5.00	8.000
6.00	13.300
7.00	18.400
8.00	22.100
9.00	24.800
10.00	25.900
11.00	26.300
12.00	26.400
13.00	26.000
14.00	25.400
15.00	24.300

4.3.2.4. Koneksi Jalur Bus

Dari segi distribusi arus dari pembangkit ke beban, arus yang dihasilkan oleh pembangkit jenis ini terkoneksi ke jalur bus AC. Dengan demikian, perangkat-perangkat rumah tangga yang menggunakan arus AC sebagai masukan energi listrik, dapat langsung menerima distribusi energi dari pembangkit tanpa melalui proses konversi terlebih dahulu.

4.3.3. Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dan Biomassa

4.3.3.1. Konversi Energi

Prinsip operasi pembangkit jenis ini adalah menggunakan biogas dan biomassa sebagai bahan bakar *generator*. Proses konversi dari bahan bakar jenis ini adalah dengan cara merubah kotoran kering (biogas) dan bahan kering tumbuhan (biomassa) menjadi energi kalori.



Tabel 4.5. Konversi biogas

No.	Jenis	Kotoran /ekor /hari (tbk)	Biogas
1	Sapi & Kerbau	5,2 g / 0,0052 kg	0,25 m ³ /kg
2	Kuda	3,6 g / 0,0036 kg	0,25 m ³ /kg
3	Kambing & Domba	0,3 g / 0,0003 kg	0,25 m ³ /kg
4	Babi	0,7 g / 0,0007 kg	0,44 m ³ /kg

Sumber: Abdul Kadir, ENERGI

Tabel 4.6. Konversi biomassa

No.	Jenis	Kcal/ton
1	Kayu	4000 kcal/ton
2	Tempurung Kelapa	4080 kcal/ton

Sumber: Abdul Kadir, ENERGI

Keterangan: Satu m³ mengandung 5000 kcal

Tabel 4.7. Konversi biogas

No.	Jenis Ternak	Populasi (ribu ekor)	TBK/hari (kg/ekor)	Biogas (m ³ /kg tbk)	Energi (kcal)
1	Sapi	1084,2	0,0052	0,25	1409,46
2	Kerbau	100,7	0,0052	0,25	130,91
3	Kuda	146	0,0036	0,25	131,4
4	Kambing	539,9	0,0003	0,25	40,4925
5	Domba	0,4	0,0003	0,25	0,03
6	Babi	629,1	0,0007	0,44	193,7628
	Total				1906,0553

Tabel 4.8. Konversi biomassa

No.	Jenis	Produksi (ton)	/ton = kcal	Energi (kcal)
1	Kayu Hutan Produksi	14,146	4000	56584
2	Kelapa Sawit	48,9	4080	199512
	Total			256096

Berdasarkan tabel konversi, maka diketahui:

$$1906,0553 + 256096 = 258002,0553 \text{ kcal};$$

$$258002,0553 \times 0,001 / 12 = 21,5 \text{ ton}.$$

Jadi rata-rata biogas dan biomassa yang dapat dihasilkan dari kotoran ternak, sampah kayu dan kelapa adalah 21,5 ton /bulannya.

4.3.3.2. Perawatan Teknis Pembangkit

Secara teknis, pembangkit jenis ini hanya memerlukan masukan bahan bakar berupa biogas/biomassa /harinya. Perawatan terhadap pembangkit dilakukan jika terdapat komponen yang rusak.

Masa pakai dari pembangkit jenis ini adalah 15000 jam atau 625 hari, dengan demikian harus dilakukan penggantian pembangkit setiap 15000 jam. Untuk mengejar masa pakai pembangkit tenaga surya dan angin serta meminimalisir biaya penggantian, penggunaan pembangkit jenis ini harus dibatasi dengan cara mengkombinasikan pembangkit secara acak.

4.3.3.3. Kapasitas Pembangkit

Kapasitas pembangkit adalah 1 kW, dengan kapasitas optimal yang dipertimbangkan untuk memenuhi kebutuhan beban adalah 5 kW. Adanya pertimbangan kapasitas bertujuan untuk meminimalisir biaya serta optimasi kinerja pembangkit.

4.3.3.4. Koneksi Jalur Bus

Dari segi distribusi arus dari pembangkit ke beban, arus yang dihasilkan oleh pembangkit jenis ini terkoneksi ke jalur bus AC. Dengan demikian, perangkat-perangkat rumah tangga yang menggunakan arus AC sebagai masukan energi listrik, dapat langsung menerima distribusi energi dari pembangkit tanpa melalui proses konversi terlebih dahulu.

4.3.4. Baterai

4.3.4.1. Konversi Energi

Prinsip dari konversi baterai adalah merubah energi kimia menjadi energi listrik. Energi listrik berlebih yang dihasilkan pembangkit disimpan dalam baterai dengan cara merubah energi listrik menjadi energi kimia. Ketika beban mengalami kekurangan energi, energi kimia dalam baterai diubah kembali menjadi energi listrik untuk kemudian didistribusikan ke beban.

4.3.4.2. Perawatan

Secara teknis, baterai tidak memerlukan perawatan. Akan tetapi masa pakai baterai yang singkat (rata-rata dua tahun) menjadi salah satu permasalahan pada pengeluaran biaya. Untuk itu perlu disediakan biaya penggantian baterai setiap dua tahun.

4.3.4.3. Kapasitas

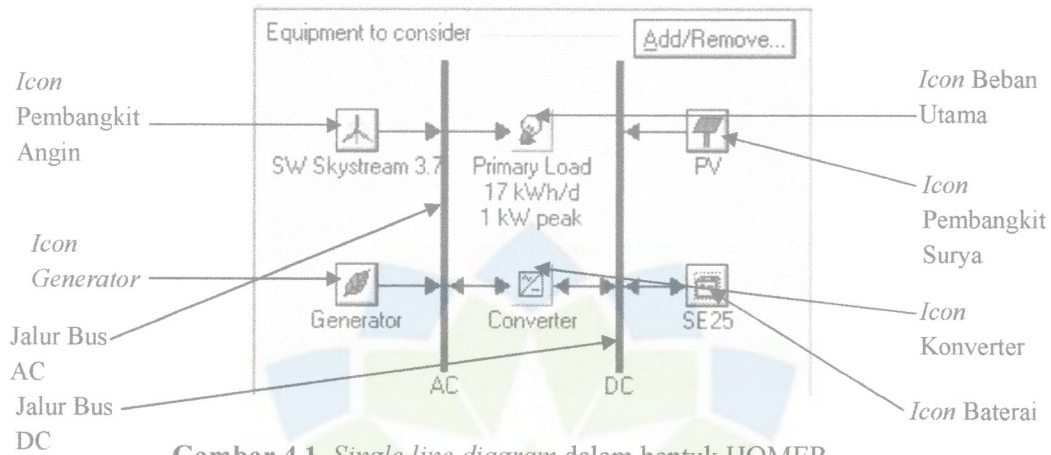
Kapasitas baterai yang digunakan adalah 825 V, 30,3 Ah, 25 kWh dengan kapasitas 2 (alternatif) hingga 4 unit baterai.

4.3.4.4. Koneksi Jalur Bus

Dari segi distribusi, baterai terkoneksi ke jalur bus DC. Dengan demikian, perangkat-perangkat rumah tangga yang menggunakan arus DC sebagai masukan energi listrik, dapat langsung menerima distribusi energi dari baterai; untuk perangkat yang menggunakan arus AC, arus DC dikonversi menjadi arus AC terlebih dahulu dengan menggunakan konverter.

4.4. Desain Pembangkit *Hybrid*

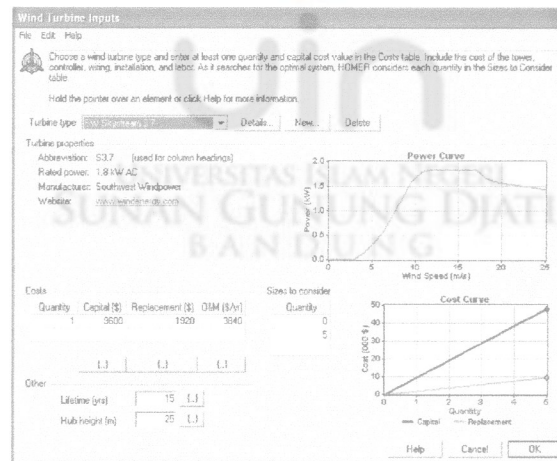
Desain pembangkit *hybrid* digambarkan dalam bentuk *single line diagram*. Gambar 4.1 menunjukkan *single line diagram* dalam bentuk HOMER.



Gambar 4.1. *Single line diagram* dalam bentuk HOMER

4.4.1. *Icon* Pembangkit Angin

Icon ini berfungsi sebagai akses untuk memilih kapasitas pembangkit, serta parameter-parameter yang meliputi: kuantitas, biaya awal, biaya penggantian, biaya operasional dan perawatan, serta parameter pertimbangan kuantitas pembangkit.



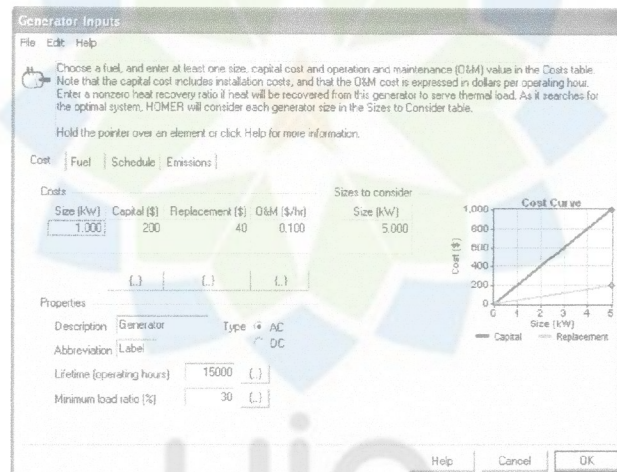
Gambar 4.2. Spesifikasi pembangkit

Kuantitas adalah banyaknya pembangkit yang akan digunakan dalam perencanaan pembangkit *hybrid* dikali kapasitas pembangkit. Biaya awal adalah harga dari pembangkit dengan jenis dan kapasitas tertentu. Biaya penggantian adalah biaya yang diperlukan apabila terjadi beberapa kerusakan pada komponen-

komponen pembangkit yang rentan akan kerusakan. Biaya operasional dan perawatan adalah biaya yang diperlukan selama masa operasi pembangkit serta biaya perawatan pembangkit /tahun. Parameter pertimbangan adalah rentang kemungkinan kuantitas yang digunakan sehingga pembangkit dapat beroperasi secara efisien dan optimal.

4.4.2. Icon Generator

Icon ini berfungsi sebagai akses untuk memilih kapasitas *generator*, serta parameter-parameter yang meliputi: kapasitas biaya awal, biaya penggantian, biaya operasional dan perawatan, serta parameter pertimbangan kapasitas *generator*.

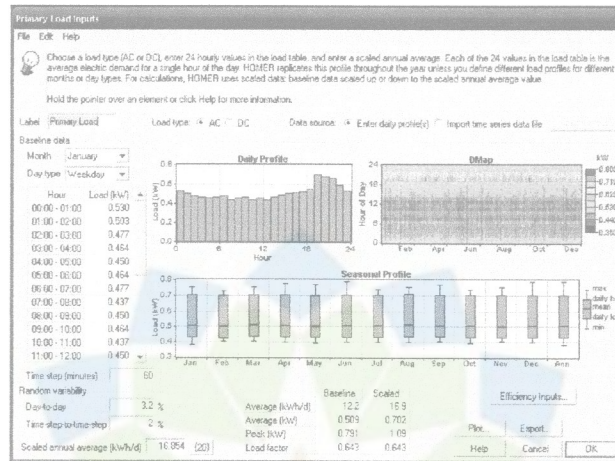


Gambar 4.3. Spesifikasi generator

Kapasitas adalah ukuran besar energi yang dapat dihasilkan *generator* yang akan digunakan dalam perencanaan pembangkit *hybrid*. Biaya awal adalah harga dari *generator* dengan kapasitas tertentu. Biaya penggantian adalah biaya yang diperlukan apabila terjadi beberapa kerusakan pada komponen-komponen *generator* yang rentan akan kerusakan. Biaya operasional dan perawatan adalah biaya yang diperlukan selama masa operasi *generator* serta biaya perawatan *generator* /jam. Parameter pertimbangan adalah rentang kemungkinan kapasitas yang digunakan sehingga *generator* dapat beroperasi secara efisien dan optimal.

4.4.3. Icon Beban Utama

Icon ini berfungsi sebagai akses untuk mengisi karakteristik beban harian, serta perencanaan masa proyek pembangkit *hybrid*.

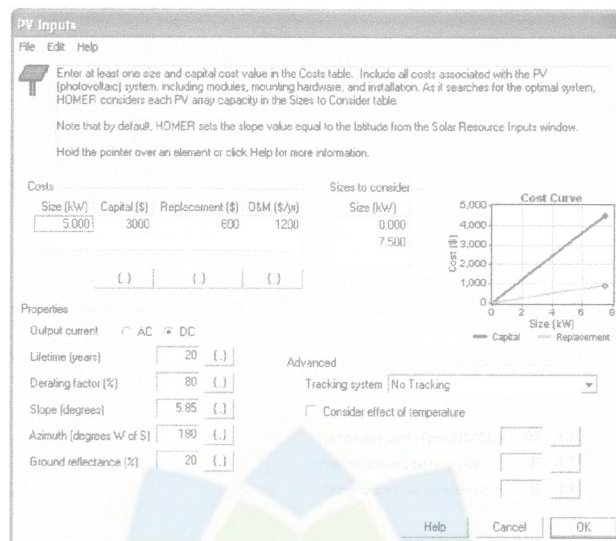


Gambar 4.4. Karakteristik beban harian

Karakteristik beban harian adalah jumlah konsumsi beban dalam satuan kW setiap jamnya. Perencanaan masa proyek adalah masukan proyeksi beban serta lamanya waktu proyek perencanaan pembangkit *hybrid*.

4.4.4. Icon Pembangkit Surya

Icon ini berfungsi sebagai akses untuk memilih kapasitas pembangkit, serta parameter-parameter yang meliputi: biaya awal, biaya penggantian, biaya operasional dan perawatan, serta parameter pertimbangan kapasitas pembangkit.



Gambar 4.5. Spesifikasi pembangkit

Kapasitas adalah ukuran energi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit yang akan digunakan dalam perencanaan pembangkit *hybrid*. Biaya awal adalah harga dari pembangkit dengan kapasitas tertentu. Biaya penggantian adalah biaya yang diperlukan apabila terjadi beberapa kerusakan pada komponen-komponen pembangkit yang rentan akan kerusakan. Biaya operasional dan perawatan adalah biaya yang diperlukan selama masa operasi pembangkit serta biaya perawatan pembangkit /tahun. Parameter pertimbangan adalah rentang kemungkinan kapasitas yang digunakan sehingga pembangkit dapat beroperasi secara efisien dan optimal.

4.4.5. Icon Konverter

Icon ini berfungsi sebagai akses untuk memilih kapasitas konverter, serta parameter-parameter yang meliputi: biaya awal, biaya penggantian, biaya operasional dan perawatan, serta parameter pertimbangan kapasitas konverter.

Converter Inputs

File Edit Help

☒ A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs			
Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
3,700	1,000	200	700
()	()	()	()

Sizes to consider

Size (kW)
1,000
5,000

Cost Curve

Cost (\$)

Size (kW)

— Capital — Replacement

Inverter inputs

Lifetime (years) 15 ()

Efficiency (%) 90 ()

☒ Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) 100 ()

Efficiency (%) 95 ()

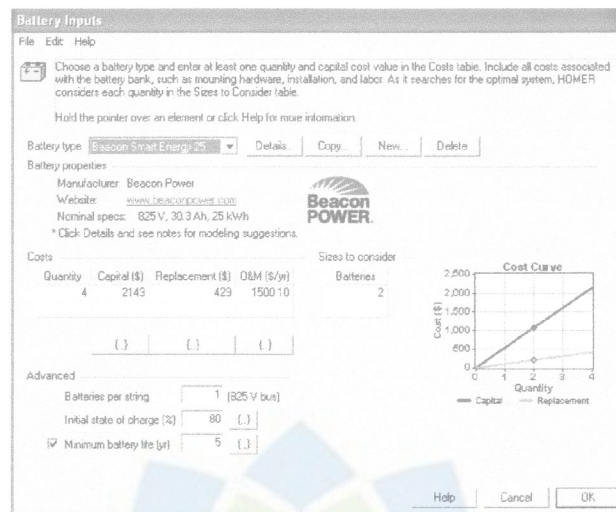
Help Cancel OK

Gambar 4.6. Spesifikasi konverter

Kapasitas adalah ukuran energi yang dapat dikonversi oleh konverter dalam perencanaan pembangkit *hybrid*. Biaya awal adalah harga dari konverter dengan kapasitas tertentu. Biaya penggantian adalah biaya yang diperlukan apabila terjadi beberapa kerusakan pada komponen-komponen konverter yang rentan akan kerusakan. Biaya operasional dan perawatan adalah biaya yang diperlukan selama masa operasi konverter serta biaya perawatan konverter /tahun. Parameter pertimbangan adalah rentang kemungkinan kapasitas yang digunakan sehingga konverter dapat beroperasi secara efisien dan optimal.

4.4.6. Icon Baterai

Icon ini berfungsi sebagai akses untuk memilih kapasitas baterai, serta parameter-parameter yang meliputi: kuantitas, biaya awal, biaya penggantian, biaya operasional dan perawatan, serta parameter pertimbangan kuantitas baterai.



Gambar 4.7. Spesifikasi baterai

Kuantitas adalah banyaknya baterai yang akan digunakan dalam perencanaan pembangkit *hybrid*. Biaya awal adalah harga dari baterai dengan jenis dan kapasitas tertentu. Biaya penggantian adalah biaya yang diperlukan apabila terjadi beberapa kerusakan pada komponen-komponen baterai yang rentan akan kerusakan. Biaya operasional dan perawatan adalah biaya yang diperlukan selama masa operasi baterai serta biaya perawatan baterai /tahun. Parameter pertimbangan adalah rentang kemungkinan kuantitas yang digunakan sehingga baterai dapat beroperasi secara efisien dan optimal.

4.4.7. Jalur Bus AC dan DC

Jalur bus merupakan jalur yang menghubungkan antar pembangkit ke beban serta mengidentifikasi jenis arus keluaran pembangkit ataupun jenis masukan ke beban. Jalur bus AC mengelompokkan *icon-icon* berjenis AC dan jalur bus DC mengelompokkan *icon-icon* berjenis DC.