

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terdahulu

Penulis melakukan studi literatur selanjutnya dengan mempelajari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan berkaitan dengan penelitian penulis sehingga dapat digunakan sebagai rujukan dan perbandingan pada metode penelitian serta hasil yang dicapai pada penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Sukamta (2013) yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur”. Penelitian ini membahas tentang perancangan PLTMH permanen menggunakan sistem bendungan air yang mengalir dengan kapasitas tertentu dan disalurkan dari ketinggian tertentu yang selanjutnya dibawah ke rumah instalasi yang selanjutnya air yang melesat akan menumbuk turbin untuk memutar generator yang selanjutnya akan menghasilkan energi listrik. PLTMH ini memanfaatkan arus vertikal untuk menggerakkan turbin dan bersifat permanen atau tidak bisa dipindahkan [9].

Penelitian yang dilakukan oleh Dwiyanto (2016) yang berjudul “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)”. Penelitian ini membahas tentang analisis penurunan daya listrik yang terjadi pada PLTMH tersebut. Penurunan daya listrik yang terjadi pada PLTMH disebabkan oleh tumpukan sedimen pada bendungan. PLTMH ini memanfaatkan arus vertikal untuk menggerakkan turbin dan bersifat permanen atau tidak bisa dipindahkan [10].

Penelitian yang dilakukan oleh Apriansyah (2016) yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Pada Pipa Saluran Pembuangan Air Hujan Vertikal”. Penelitian ini bekerja pada sistem memanfaatkan air hujan yang jatuh vertikal pada talang pipa bangunan untuk memutar turbin yg selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. PLTMH ini memanfaatkan arus vertikal untuk menggerakkan turbin dan bersifat permanen atau tidak bisa dipindahkan [11].

Penelitian oleh Tom Labert pada tahun (2006) yang berjudul “*Micropower System Modeling With Homer*”. Penelitian tersebut membahas tentang HOMER Pro yaitu sistem komputer yang dikembangkan oleh Amerika Serikat untuk membantu perancangan sistem tenaga mikro. HOMER Pro tidak hanya merancang sistem pembangkit listrik, namun dapat memodelkan banyak desain berdasarkan keunggulan teknis dan ekonomi. Hasil penelitiannya yaitu HOMER dapat memodelkan turbin hidro sebagai perangkat yang mengkonversi kekuatan air jatuh ke listrik AC atau DC, tanpa memodulasi output daya [12].

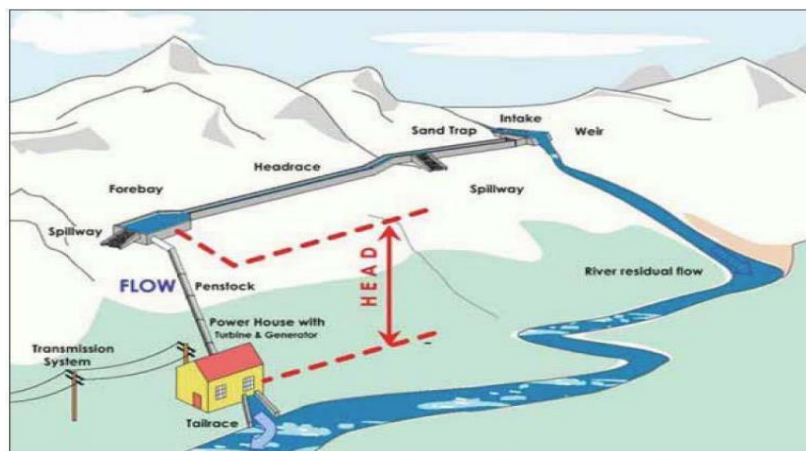
Pada penelitian yang dilakukan penulis kali ini (2022) yang berjudul tentang “Studi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Dusun KM. 44 Kecamatan Sayan Kabupaten Melawi”. Penelitian tersebut membahas tentang menganalisis produksi energi dari PLTMH dengan menggunakan bantuan *software* HOMER serta membandingkan hasil simulasi dari energi PLTMH yang sudah ada.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Secara teknis PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air , turbin, dan generator. Prinsip kerja dari PLTMH sendiri pada dasarnya sama dengan PLTA hanya saja berbeda kapasitasnya atau besarnya. Bagian – bagian terpenting pada PLTMH adalah [13]:

1. Bendungan, berfungsi untuk menyimpan air yang akan dialihkan ke turbin
2. Bak Penenang, berfungsi untuk mengalirkan air sebelum masuk ke turbin
3. Pipa Pesat, berfungsi untuk menyalurkan air dari bak penenang ke turbin
4. Pondasi dan Dudukan Pipa Pesat, berfungsi untuk menahan beban statis dan dinamis dari pipa pesat dan air yang mengalir di dalamnya
5. Rumah Pembangkit, berfungsi untuk rumah atau tempat peralatan mekanik dan elektrik PLTMH
6. Saluran Pembuang, berfungsi untuk saluran pembuang aliran air dari rumah pembangkit.
7. Turbin, berfungsi untuk mengambil energi mekanik dari aliran fluida.
8. Transmisi Daya Mekanik, berfungsi untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator.

9. Generator, berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari turbin menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Bagian Sebuah PLTMH

Pada Gambar 2.1 merupakan bagian dari sebuah PLTMH dan secara teknis, PLTMH memiliki tiga komponen utama dalam proses pembangkitan listrik yaitu air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah pembangkit. Pada rumah pembangkit, air akan memutar turbin sehingga timbul energi mekanik yang menyebabkan berputarnya poros turbin. Dari poros turbin yang berputar akan dibangkitkan energi listrik dengan bantuan generator dan akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan pada rumah – rumah masyarakat sekitar ataupun untuk keperluan lainnya [14].

2.3 Debit Air

Debit air adalah adalah banyaknya volume air yang mengalir pada suatu tempat/saluran pada satu satuan waktu tertentu. Banyaknya aliran air tiap waktu (debit) tergantung pada luas penampang aliran dan kecepatan aliran rerata. Salah satu pengukuran debit air adalah dengan menggunakan alat current meter. *Current meter* adalah alat elektronik yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air dengan memasukkan bagian tertentu dari alat tersebut ke dalam air. *Current meter* ini sesuai untuk mengukur aliran sungai pada sebuah lokasi hidro skala kecil. Ukurannya ringan, dan dapat digunakan mengukur pada sungai yang dangkal. Debit air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [15].

$$Q = A \times Vs \quad (2.1)$$

Keterangan :

Q = Debit Air ($m^3/detik$)

A = Luas Lenampang Basah (m^2)

Vs = Kecepatan Air Sebenarnya ($m/detik$)

2.4 Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Tinggi jatuh air dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh (*full head*) adalah tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan [16].

2.5 Mercu Bendung (*Weir*)

Bangunan bendung adalah bangunan yang berada melintang sungai, berfungsi untuk membelokkan arah aliran air dan meninggikan muka air. Contoh bangunan bendung dapat dilihat seperti pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Bangunan Bendung

Pemilihan Mercu Bendung tipe bulat karena mercu tipe bulat memiliki harga koefisien debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisien bendung ambang lebar. Pada sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisien debit menjadi lebih tinggi karena lengkung streamline dan tekanan negatif pada mercu bendung.

2.6 Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa (*headrace*) adalah bangunan yang berfungsi untuk mengalirkan/membawa air dari *Intake* ke *Forebay*. *Headrace* dapat juga terbuat dari pipa. Gambar 2.3 merupakan contoh saluran pembawa yang berbentuk persegi panjang.



Gambar 2.3 Bangunan Saluran Pembawa (*Headrace*)

2.7 Bak Penenang (*Forebay*)

Bak penenang (*forebay*) memiliki fungsi untuk mengurangi arus turbin sebelum aliran masuk kedalam pipa pesat (*penstock*). Bak penenang juga berfungsi sebagai saringan akhir sebelum air masuk kedalam *penstock* dan akhirnya masuk turbin. Bak penenang juga difungsikan sebagai pengatur ketersediaan air. Bak penenang dibuat pada akhir saluran tenaga dengan cara memperluas menjadi bentuk seperti sebuah cekungan kecil, yang dapat menyimpan sejumlah air untuk kebutuhan yang tidak diduga dari turbin. Bak penenang dapat dibuat dengan membangun sebuah bendungan kecil memotong saluran alami. Dengan membangun sebuah bendungan kecil, kapasitas bak penenang menjadi sangat besar. Apabila terjadi pengumpulan air yang berlebihan,

air air tersebut dapat dialirkan secara aman melalui sejumlah saluran keluaran atau pelimpah, pada Gambar 2.4 merupakan bak penenang (*forebay*).



Gambar 2.4 Bak Penenang (*Forebay*)

2.8 Pipa Pesat (*Penstock*)

Pada Gambar 2.5 pipa pesat dirancang untuk mengalirkan air dari pintu pengambilan Pipa Pesat ke gedung sentral dengan mempertimbangkan hal – hal sebagai berikut:

1. Pipa Pesat dirancang sependek mungkin atau bisa sepanjang mungkin sesuai kebutuhan
2. Aman terhadap momen lentur, baik vertikal maupun horizontal
3. Mempunyai tahanan hidrolik minimum tertentu untuk menghindari tekanan udara dibawah atmosfer
4. Efek terhadap turbin
5. Kenaikan tekanan akibat *water hammer*
6. Kenaikan tekanan pada saat pengetesan



Gambar 2.5 Pipa *Penstock*

2.9 Turbin Air

Turbin adalah mesin berputar yang berfungsi untuk mengambil energi mekanik dari aliran fluida. Dalam Pembangkit Listrik Tenaga mikrohidro digunakan turbin air. Turbin ini akan mengkonversikan menjadi energi gerak angular (melingkar). Turbin air memiliki bentuk berupa baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluida [3].

Sedangkan turbin yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Dusun KM 44 Kecamatan Sayan Kabupaten Melawi ini menggunakan jenis turbin *Crossflow* G1 dengan kapasitas daya sebesar 200 kW. Turbin *cross flow* ini adalah turbin jenis implus dan juga dikenal dengan nama turbin *Michell-Banki*, turbin ini mengalami modifikasi oleh Michell berasal dari Australia dan Banki berasal dari Honggaria. Selain itu juga disebut turbin *Ossberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *Cross flow*. Turbin *cross flow* dapat digunakan pada debit 20 liter/detik hingga 10 m^3 dan *head* antara 1 sampai dengan 200 m.

Turbin *cross flow* menggunakan *nozzle* persegi panjang dengan lebar sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran turbin masuk pada turbin mengenai sudut sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan tekanan (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* pada turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang dengan sepasang piringan *parallel*. Turbin *cross flow* digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang dari 750 kW. Pembuatan

dan pemasangan kontruksi sangat sederhana, dan biaya pembuatan murah. Kontruksi turbin secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kontruksi Turbin *Cross Flow*

Output daya turbin mikro hidro dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_{hyd} = \frac{\eta_{hys} \times \rho_{water} \times g \times h_{net} \times Q_{turbine}}{1000} \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{hyd}	= Daya Turbin (kW)
η_{hys}	= Efisiensi Turbin (%)
ρ_{water}	= Kepadatan Air (1000 kg/m^3)
g	= Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
h_{net}	= Tinggi Jatuh Air (m)
$Q_{turbine}$	= Debit Air (m^3/s)

2.10 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik bisa berasal dari panas, air, uap, dll. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa Listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik, efisiensi generator secara umum dapat dilihat pada tabel 2.1 dan pada Gambar 2.7 merupakan generator PLTMH [4].

Table 2.1 Efisiensi Generator

1. Aplikasi < 10 KVA	efisiensi 0,70 - 0,80
2. Aplikasi 10 – 20 KVA	efisiensi 0,80 - 0,85
3. Aplikasi 20 – 50 KVA	efisiensi 0,85
4. Aplikasi 50 – 100 KVA	efisiensi 0,85 - 0,90
5. Aplikasi > 100 KVA	efisiensi 0,90 - 0,95

**Gambar 2.7** Generator PLTMH

Adapun rumus untuk menghitung *output* daya listrik yang dihasilkan oleh generator sebagai berikut.

$$P_{Gen} = g \times Q_{turbine} \times h_{net} \times \eta_{hys} \times \eta_{belt} \times \eta_G \quad (2.3)$$

Keterangan:

P_{Gen} = Daya generator (*kW*)

g = Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

$Q_{turbine}$ = Debit Air (m^3/s)

h_{net} = Tinggi Jatuh Air (m)

η_{hys} = Efisiensi Turbin (%)

η_{belt} = Efisiensi transmisi mekanik (%)

η_G = Efisiensi generator (%)

2.11 Rumah Pembangkit (*Power House*)

Bangunan rumah pembangkit merupakan tempat yang di dalamnya terdapat turbin, generator dan peralatan control. Berikut ini Gambar 2.8 menampilkan contoh dari rumah pembangkit .



Gambar 2.8 Bangunan *Power House*

2.12 Daya PLTMH

Berikut ini ada beberapa daya yang terdapat pada PLTMH atau PLTA antara lain:

1. Daya maksimum adalah sama dengan daya *output* yang dapat dibangkit oleh PLTMH atau PLTA tersebut
2. Daya pasti (*firm output*) adalah sama dengan daya yang dibangkitkan selama 355 hari untuk PLTA jenis aliran sungai langsung dan 365 hari dalam 1 tahun untuk PLTA jenis waduk
3. Daya puncak adalah sama dengan hasil daya yang dibangkitkan selama waktu-waktu tertentu setiap hari
4. Daya puncak khusus adalah sama dengan daya yang dibangkitkan setiap hari tanpa pembatasan waktu operasi dalam musim hujan dikurangi daya pasti
5. Daya penyediaan (*supply output*) adalah sama dengan hasil daya yang dibangkitkan di musim kemarau dengan menggunakan simpanan air waduk yang dikumpulkan selama musim hujan dikurangi daya pasti
6. Daya penyediaan puncak dan daya waduk

2.12.1 Daya Listrik 3 Phase PLTMH

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Dusun KM 44 Kecamatan Sayan Kabupaten Melawi ini menggunakan sistem kelistrikan 3 fasa untuk menyediakan daya listrik yang besar. Listrik 3 fasa adalah jaringan listrik yang menggunakan tiga kawat fasa (R,S,T) dan satu kawat netral (N) atau sering dibilang kawat *ground*. Listrik 3 fasa adalah listrik AC (*Alternating Current*), masing-masing kawat mempunyai tegangan sama 380 Volt tetapi berbeda dalam sudut fasanya sebesar 120 derajat. Adapun rumus untuk menghitung daya listrik 3 fasa adalah:

$$P = V \times \sqrt{3} \times I \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

Keterangan:

P = Daya Listrik (*watt*)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya (φ)

$\sqrt{3}$ = Konstanta Yang Digunakan Apabila Menggunakan Listrik 3 Fasa

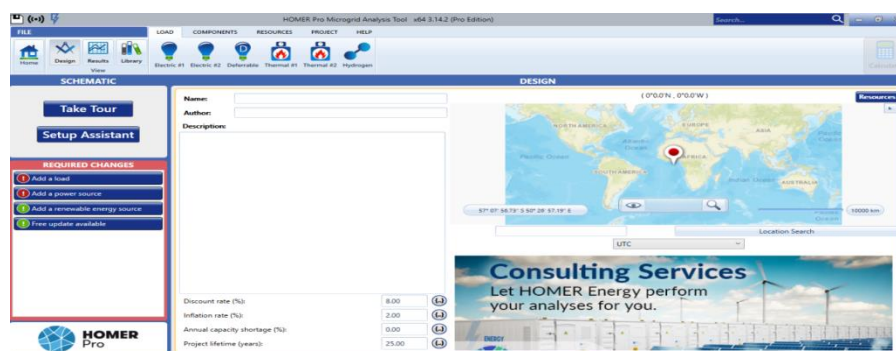
2.13 HOMER (*Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables*)

The Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables atau disingkat HOMER adalah salah satu aplikasi yang biasa digunakan oleh *engineer* untuk mendesain sistem PLTH dengan menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikro hidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal [5].

HOMER ini biasa digunakan untuk simulasi desain *mikro grid* pada berbagai sektor, seperti pedesaan utilitas pulau, kampus, dan pangkalan militer yang terhubung dengan jaringan listrik. HOMER dapat mempertimbangkan suatu desain mikro *grid* baik dari sisi teknis maupun ekonomi, sehingga HOMER sangat cocok untuk dijadikan sebagai *software* untuk studi kelayakan. HOMER adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membantu permodelan dari sebuah sistem

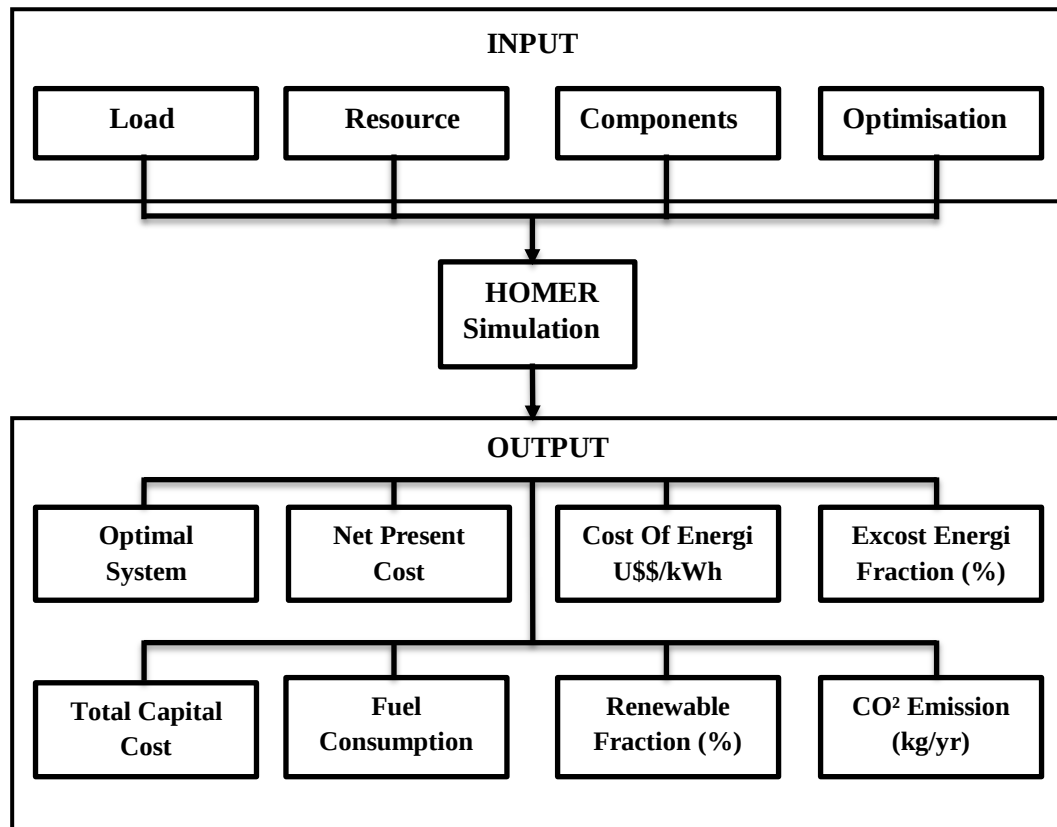
tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik mandiri maupun tersambung ke sistem yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *mikro hidro*, *photovoltaic*, *biomass* dll. Dalam banyak penelitian baik dari akademisi maupun praktisi penggiat energi terutama energi terbarukan *software* HOMER merupakan alat yang sangat membantu dalam proses pemodelan sistem energi terbarukan. Tingkat sensitifitas HOMER sangat tinggi sehingga sangat baik dalam mendesain ataupun menganalisa kelayakan sebuah pembangkit listrik dengan mempertimbangkan daya keluaran, biaya produksi energi, waktu pengembalian modal dalam investasi, limbah yang di hasilkan dari pembangkit diesel dan banyak lagi.

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energi *balance* untuk setiap jam dalam setahun. HOMER juga dapat menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama pengoprasiannya (*life cycle cost*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen, biaya operasional dan perawatan, serta biaya bahan bakar dll. Ekonomi memegang peranan penting dalam proses simulasi HOMER, dimana dalam proses pengoperasian *Net Present Cost* (NPC) terendah. Sumber energi tak terbarukan dan sumber energi terbarukan memiliki karakteristik biaya yang berbeda. Sumber energi terbarukan memiliki biaya modal yang tinggi dan biaya operasi yang rendah, sedangkan sumber energi tak terbarukan konvensional memiliki biaya modal yang rendah dan biaya operasi yang tinggi. Dalam proses optimasi ini akan diperhitungkan semua biaya termasuk biaya siklus hidup peralatan, Gambar 2.9 merupakan Tampilan Awal *Homer Energy Modelling* [6].



Gambar 2.9 Tampilan Awal *Homer Energy Modelling*

Kemudian analisis sensitivitas, HOMER melakukan beberapa optimasi dari berbagai asumsi masukan lalu mengukur efek dari ketidakpastian atau perubahan dalam model input seperti pada Gambar 2.10 Diagram Alur Simulasi Optimasi Pada HOMER



Gambar 2.10 Diagram Alur Simulasi Optimasi Pada HOMER

Dalam pengoperasiannya, HOMER memiliki 3 tugas utama yaitu :

2.13.1 Simulasi (*Simulation*)

Pada proses simulasi untuk menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem yang ekonomis, kombinasi dari besarnya nilai kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut bisa bekerja bersama-sama dalam periode waktu tertentu [12].

2.13.2 Optimisasi (*Optimisation*)

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses ini pengguna merancang konfigurasi sistem yang khusus, maka untuk proses optimasi

dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi pada sistem. Pada hasil optimisasi ini, HOMER akan menggunakan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. jika salah satu konfigurasi sistem memiliki nilai NPC terendah pada jangka waktu yang telah ditentukan maka hasil akan dapat dikatakan optimal, variabel nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna [12].

2.13.3 Analisis Sensitivitas (*Sensitivity Analysis*)

Proses selanjutnya adalah proses analisis sensitivitas. Proses hasil konfigurasi pada sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (*input*) berbeda-beda. Dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukan beberapa nilai variabel sensitivitas seperti nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel. Contohnya seperti perbedaan harga tenaga listrik pada jaringan (*grid*), perbedaan biaya bahan bakar, perbedaan nilai suku bunga per tahun, dan lain-lain [18].

2.14 Aspek Ekonomi

2.14.1 *Capital Cost* (C_C)

Capital Cost adalah total biaya komponen yang terpasang pada awal proyek. Untuk mengetahui biaya modal awal dari sistem PLTMH dapat diketahui dengan persamaan berikut ini [19].

$$C_C = C_{C,Bnd} + C_{C,SP} + C_{C,PP} + C_{C,TUR} + C_{C,GEN} \quad (2.5)$$

Keterangan:

C_C	= Total biaya modal awal (Rp)
$C_{C,Bnd}$	= Biaya modal awal bendungan (Rp)
$C_{C,SP}$	= Biaya modal awal saluran pembawa (Rp)
$C_{C,PP}$	= Biaya modal awal pipa pesat (Rp)
$C_{C,TUR}$	= Biaya modal awal turbin (Rp)
$C_{C,GEN}$	= Biaya modal awal generator (Rp)

2.14.2 Operation & Maintenance Cost ($C_{O\&M}$)

Biaya operasi dan perawatan adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin pada waktu tertentu dengan jumlah biaya yang relatif sama, dan dapat diketahui dengan persamaan berikut ini [19].

$$C_{O\&M,tot} = C_{O\&M,BND} + C_{O\&M,SP} + C_{O\&M,PP} + C_{O\&M,TUR} + C_{O\&M,GEN} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$C_{O\&M,tot}$	= Biaya total operasi dan perawatan (Rp)
$C_{O\&M,BND}$	= Biaya operasi dan perawatan bendungan (Rp)
$C_{O\&M,SP}$	= Biaya operasi dan perawatan saluran pembawa (Rp)
$C_{O\&M,PP}$	= Biaya operasi dan perawatan pipa pesat (Rp)
$C_{O\&M,TUR}$	= Biaya operasi dan perawatan turbin (Rp)
$C_{O\&M,GEN}$	= Biaya operasi dan perawatan generator (Rp)

2.14.3 Net Present Cost (NPC)

Net present cost adalah biaya total dari seluruh biaya yang dikeluarkan selama masa penggunaan yaitu biaya modal awal proyek, biaya untuk penggantian, biaya untuk pengoperasian dan perawatan, biaya untuk bahan bakar, biaya denda emisi, dan biaya pembelian daya dari jaringan listrik. *Homer* menghitung NPC dengan menggunakan persamaan berikut ini [18].

$$C_{NPC,tot} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,Rproj)} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$C_{NPC,tot}$	= Total biaya keseluruhan selama umur proyek (Rp)
$C_{ann,tot}$	= Total biaya tahunan (Rp/tahun)
CRF	= Faktor pemulihan modal
i	= Tingkat bunga (%)
$Rproj$	= Umur/masa manfaat proyek (tahun)

2.14.4 *Annualized Cost (AC)*

Annualized cost digunakan untuk mengetahui total biaya tahunan dari pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*. Biaya tahunan adalah biaya yang, jika terjadi sama di setiap tahun seumur hidup proyek, akan memberikan biaya sekarang yang sama dengan urutan arus kas aktual yang terkait dengan komponen itu [19].

2.14.5 *Levelized Cost of Energy (LCOE)*

Levelized cost of energy merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan energi listrik per kWh. LCOE dapat diketahui dengan membagi biaya tahunan dengan total beban listrik yang dilayani per tahun oleh pembangkit *hibrid*. Nilai LCOE dapat diketahui dengan persamaan [19].

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{served}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

COE = Biaya per kWh (Rp)

$C_{ann,tot}$ = Biaya tahunan (Rp)

E_{served} = Total beban listrik yang dilayani (kWh)