

DISERTASI

**PERANCANGAN OPTIMAL ENERGI TERBARUKAN PADA
SISTEM MICROGRID**

***OPTIMAL DESIGN OF RENEWABLE ENERGY IN
MICROGRID SYSTEM***

**MANSUR
P1600316003**



**PROGRAM STUDI S3 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI
PERANCANGAN OPTIMAL ENERGI TERBARUKAN PADA SISTEM
MICROGRID

Disusun dan Diajukan Oleh

MANSUR

NIM : P1600316003

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Doktor Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 3 Februari 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

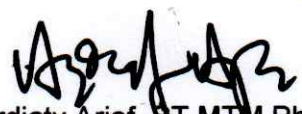
Menyetujui


Promotor,


Prof. Dr. Ir. H. Salama Maniang, MT
NIP. 19621231 199003 1 024

Co.Promotor,

Co.Promotor,


Ardiaty Arief, ST, MT, Ph.D
NIP. 19780424 2001122 001


Yusri Syam Akil, ST, MT, Ph. D
NIP. 19770322 200501 1 001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T
NIP. 19601231 198703 1002

Dekan Fakultas Teknik,


Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, MT
NIP. 19601231 198609 1001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mansur
Nomor Pokok : P1600316003
Program Studi : S3 Teknik Elektro

Menyatakan dengan ini sesungguhnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau dapat pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Januari 2022

Yang menyatakan,


Mansur

PRAKATA

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Allah S.W.T atas segala rahmat, taufik dan karuniaNya sehingga laporan akhir disertasi sebagai syarat untuk mencapai gelar Doktor pada Program Studi S3 Teknik Elektro Pascasarjana Unhas dengan judul " Perancangan Optimal Energi Terbarukan Pada Sistem Mikrogrid " sehingga dapat terselesaikan dengan baik penulisan laporannya dalam kurun waktu sesuai yang diharapkan oleh peneliti.

Laporan hasil penelitian disertasi ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, khususnya kepada kedua orang tua saya, Bapak H. Andi Abdul Rahman dan ibu Hj. Weli yang selalu mendoakan untuk penyelesaian studi S3 saya dan teristimewa kepada istri saya tercinta Andi Indasari Etong, SE., Ak, selalu memberi dukungan dan semangat untuk penyelesaian studi S3 saya dan juga doa dari ketiga anak saya Andi Nabil Muh Nabil Putra Mansur, Andi Muh Naufal Putra Mansur dan Andi Muh Nashar Putra Mansur serta keluarga yang selalu mengiringi perjalanan keberhasilan studi S3 saya di Program Studi S3 Teknik Elektro Pascasarjana Unhas. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini peneliti dengan sepenuh hati menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya serta ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu M.A, sebagai Rektor Universitas Hasanuddin

2. Bapak Prof. Dr. Muhammad Zamrun Firhu, S,Si.,M.Si.,M.Sc sebagai Rektor Universitas Halu Oleo.
3. Bapak Prof.Dr.Ir.H.Muhammad Arsyad Thaha,. M.T, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak Dr. Edward Ngii, ST., M.T, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, sebagai Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
6. Ibu Dr. Eng. Dewiani,M.T., sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin
7. Bapak Luther Pagiling, ST., M.T, sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Halu Oleo
8. Bapak Prof.Dr.Ir.H. Andani Achmad,M.T, sebagai Ketua Program Studi S3 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
9. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.sebagai Promotor
10. Ibu Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D, sebagai Co.Promotor
11. Bapak Yusri Syam Akil, S.T.,M.T.,Ph.D, sebagai Co.Promotor
12. Terkhusus buat Bapak Dr. Sarwo Pranoto, ST., M.Sc. yang telah banyak membantu dan memotivasi dalam penyelesaian disertasi ini.
13. Bapak/Ibu dosen dan seluruh staf pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin
14. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi S3 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

Atas segala bimbingan, bantuan dan jasa baik dari semua pihak maka peneliti tak lupa panjatkan doa keberhasilan, kesuksesan, kesejahteraan, keselamatan dan diangkat derajatnya oleh Allah SWT dalam menata perjalanan karir di masa datang. Peneliti selalu mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan penulisan laporan disertasi ini.

Akhirnya peneliti berharap agar laporan penelitian disertasi ini membawa manfaat bagi saya dan pembaca yang budiman.

Makassar, 17 Januari 2022

Peneliti

ABSTRAK

Mansur, Perancangan Optimal Energi Terbarukan Pada Sistem Microgrid(dibimbing oleh Salama Manjang, Ardiaty Arief, Yusri Syam Akil).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT) yang optimal berdasarkan potensi energi terbarukan pada daerah Tangkeno dan daerah Maginti, Propinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian menganalisis kombinasi optimal pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin dalam sebuah *microgrid*. Penelitian ini menggunakan metode kecerdasan buatan dengan Scilab yaitu metode BSG Starcraft PSO dan metode BSG Starcraft Radius PSO. Penggunaan BSG Starcraft PSO dan metode BSG Starcraft Radius PSO dalam penelitian untuk menentukan *optimal sizing* berdasarkan daya yang dihasilkan dari turbin angin dan panel surya. Dari hasil optimasi pengembangan metode BSG-Starcraft PSO yaitu metode BSG-Starcraft Radius PSO pada penelitian daerah Maginti provinsi Sulawesi Tenggara didapatkan hasil yang lebih baik dari metode BSG-Starcraft PSO dengan kapasitas daya maksimal sebesar 80 kW. Dari hasil yang didapat ditunjukkan bahwa metode yang telah diusulkan dengan lebih baik daripada metode BSG Starcraft PSO.

Hasil metode BSG Starcraft Radius PSO yang diusulkan 335 photovoltaic (PV) dan 186 wind turbine (WT) untuk konfigurasi daya 80 kW. Nilai investasi yang harus dikeluarkan untuk biaya pembangkit antara photovoltaic (PV) dan wind turbine (WT) untuk algoritma BSG-Starcraft PSO sebesar \$ 355.265,1 sedangkan BSG-Starcraft Radius PSO sebesar \$ 352.761,1. Maka hasil optimasi dengan metode BSG-Starcraft Radius PSO menghasilkan nilai investasi yang lebih rendah daripada metode BSG-Starcraft PSO.

Kata Kunci: BSG-Starcraft Radius PSO, Turbin Angin, Panel Surya.

ABSTRACT

Mansur, Optimal Design of Renewable Energy in Microgrid Systems (supervised by Salama Manjang, Ardiaty Arief, Yusri Syam Akil).

This study aims to obtain the optimal number of New and Renewable Energy (EBT) plants based on the potential of renewable energy in the Tangkeno and Maginti areas. The study analyzed the combination of solar power plants and wind power plants. This research uses artificial intelligencemethod in Scilab with the BSG Starcraft PSO method and the BSG Starcraft Radius PSO method. The use of BSG Starcraft PSO and BSG Starcraft Radius PSO methods in research to determine optimal sizing based on the power generated from wind turbines and solar panels. The results of the optimization of development BSG-Starcraft PSO method, namely the BSG-Starcraft Radius PSO method in the Maginti area research, the results obtained are better than the BSG-Starcraft PSO method with a maximum power capacity of 80 kW. The results obtained, it is shown that the proposed method is better than the BSG Starcraft PSO method. The method was then piloted for a microgrid on an island in Indonesia, namely Maginti Island, Southeast Sulawesi province. The results of the proposed BSG Starcraft Radius PSO method are 335 photovoltaic (PV) and 186 wind turbine (WT) for 80 kW power configuration. The investment value that must be spent for the cost of generating between photovoltaic (PV) and wind turbine (WT) for the BSG-Starcraft PSO algorithm is \$355.265.1 while the BSG-Starcraft Radius PSO is \$352.761.1. Hence, the optimization results with the BSG-Starcraft Radius PSO method has smaller investment costs compare to the BSG-Starcraft PSO method.

Keywords: BSG-Starcraft Radius PSO, Wind Turbine, Solar Panel.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRAC.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	7
E. Ruang Lingkup	7
F. Kebaruan Penelitian	8
G. Penelitian Terkait.....	9
H. Sistematilka Penulisan	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	19
A. Sistem Micro Grid	19
B. Sumber-Sumber Energi Terbarukan	22
C. Komponen Sistem Pembangkit.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	37
A. Metode	37
B. Pemodelan Sistem.....	41
C. Desain Penelitian.....	48

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	A. Kondisi Kelistrikan Tangkeno.....	59
	B. Kondisi Kelistrikan Maginti.....	69
	C. Uji Validasi Laboratorium.....	85
BAB V	KEIMPULAN DAN SARAN	90
	A Kesimpulan.....	90
	B Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA		92
LAMPIRAN-LAMPIRAN		97

DAFTAR GAMBAR

Nomor		halaman
1	Pemetaan Publikasi.....	16
2	Sistem Microgrid.....	20
3	Konsep Desain Microgrid Energi Terbarukan	21
4	Tipe Polycrystal	25
5	Tipe Monocrystal	26
6	Pemasangan Panel PV	27
7	Baterai	28
8	Inverteri	29
9	Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin	30
10	Turbin Angin Horisontal	31
11	Turbin Angin Vertikal	32
12	Konstruksi PLMTH	36
13	Diagram Alir Tahapan Penelitian	38
14	Diagram Metodologi Penelitian	39
15	Desain Microgrid Energi Terbarukan daerah Tangkeno	41
16	Desain Microgrid Energi Terbarukan daerah Maginti.....	42
17	Diagram Alir PSO	52
18	Diagram Alir BSG Starcraft PSO	56
19	Diagram Alir BSG Starcraft Radius PSO	58
20	Profil Beban Di daerah Tangkeno.....	61
21	Data Radiasi Setiap Bulan daerah Tangkeno	62
22	Data Temperatur Seiap Bulan daerah Tangkeno	63
23	Data Kecepatan Angin Setiap Bulan daerah Tangkeno	63
24	Daya yang dihasilkan Photovoltaik	64
25	Daya yang dihasilkan Turbin Angin	64
26	Kurva konvergensi Dengan Metode PSO	65
27	Kurva konvergensi Dengan Metode BSG Starcraft PSO	66
28	Kurva konvergensi Dengan Metode BSG Starcraft Radius PSO	67
29	Profil Beban pada daerah Maginti	70
30	Data Radiasi Setiap Bulan daerah Maginti	71

31	Data Temperatur Setiap Bulan daerah Maginti	71
32	Data kecepatan Angin Setiap Bulan daerah Maginti	72
33	Daya di bangkitkan Photovoltaik daerah Maginti	72
34	Daya di bangkitkan Turbin Angin daerah Maginti	73
35	Proses Konvergensi PSO	73
36	Proses Konvergensi BSG Stracraft PSO	74
37	Proses Konvergensi BSG Stracraft Radius PSO	75
38	Proses Konvergensi Biaya BSG Stracraft PSO	79
39	Profile Beban daerah Maginti	82
40	Grafik irradiasi pulau Maginti	82
41	Grafik temperatur pulau Maginti	83
42	Grafik kecepatan angin pulau Maginti	83
43	Skenario PLTS dan PLTB	84
44	Ringkasan Biaya PLTS dan PLTB	85
45	Skenario PLTS, PLTB dan PLTD	86
46	Ringkasan Biaya PLTS, PLTB dan PLTB	87
47	Diagram Sistem Hybrid Pembangkit Renewable Energy	88

DAFTAR TABEL

Nomor		halaman
1.	Spesifikasi Panel Surya	43
2.	Spesifikasi Turbin Angin	44
3.	Spesifikasi Generator Diesel	45
4.	Spesifikasi Baterai.....	46
5.	Spesifikasi Inverter	46
6.	Spesifikasi Turbin	47
7.	Spesifikasi Generator	48
8.	Kebutuhan Daya Listrik Daerah Tangkeno	59
9.	Pemakaian Daya Listrik Perhari daerah Tangkeno	60
10.	Perbandingan PSO, BSG Starcraft PSO dan BSG Starcraft PSO Radius PSO	68
11.	Perbandingan Pembulatan PSO dan BSG Starcraft PSO dan... BSG Starcraft Radius PSO	68
12.	Perbandingan BSG Starcraft PSO dan BSG Starcraft Radius PSO	75
13.	Perbandingan Pembuatan BSG Starcraft PSO dan BSG Starcraft Radius PSO.....	75
14.	Biaya investasi Pembangkit Wind Turbin (WT) dan Photovoltaic (PV)	76
15.	Jumlah biaya investasi Photovoltaic dan Wind Turbin	77
16.	Pembulatan jumlah biaya investasi Photovoltaic dan Wind Turbin.	78
17.	Jumlah investasi Photovoltaic, wind turbin dan Generator Diesel...79	
18.	Data-data Homer.....	83
19.	Nilai Net Present Cost (NPC) PV dan PLTB.....	84
20.	Nilai Net Present Cost (NPC) PV, PLTB dan PLTS.....	85
21.	Hasil Pengukuran Tegangan DC pada PLTS Pengukuran Sensor	88
22.	Hasil Pengukuran Tegangan DC pada PLTB Pengukuran Sensor	89
23.	Pengisian Baterai	89
24.	Pengukuran PLMTH	90
25.	Pengujian Beban.....	91

DAFTAR LAMPIRAN

nomor		halaman
1.	Jenis alat pembangkit	99
2.	Simulasi sistem pembangkit	101
3.	Nilai Net Present Cost (NPC)	105

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi kehidupan manusia dalam menjalankan aktivitasnya. Seiring dengan perkembangan ekonomi dan infrastruktur di segala bidang maka terjadi permintaan daya listrik semakin meningkat dengan cepat. Oleh karena itu sangat diperlukan sistem teknologi pembangkit yang andal utamanya pada daerah terpencil (Duchaud, 2018), atau daerah yang tidak terjangkau dengan jaringan listrik dan memakai pembangkit dengan sistem teknologi *microgrid*. Pengembangan teknologi *microgrid* ini diharapkan dapat menjadi solusi permasalahan pengembangan akan energi listrik di daerah terpencil dan daerah kepulauan dengan memanfaatkan energi baru terbarukan setempat untuk menentukan energi listriknya (Quoc, 2016 dan Tooryan, 2017). *Microgrid* adalah suatu teknologi sistem pembangkit yang memakai beberapa energi baru terbarukan seperti turbin angin, energi surya, mikrohidro, biomassa dan baterai sebagai penyimpanan energi. Sistem *microgrid* dapat dikembangkan di daerah terpencil dan di daerah kepulauan, namun pemanfaatan energi terbarukan mempunyai kendala yang harus dihadapi yaitu kecepatan angin dan radiasi matahari yang fluktuasi sehingga daya yang dihasilkan tidak konstan sehingga diperlukan baterai sebagai penyimpanan energi (Sing G, 2017). Sistem *microgrid* menjadi kunci sistem pembangkit sistem kelistrikan masa depan,

karena sistem *microgrid* menggabungkan beberapa jenis pembangkit dari energi terbarukan yang tidak menimbulkan polusi udara dan menambah sistem penyimpanan, pengontrolan beban dengan sistem pengaturan energi.

Wilayah Indonesia mempunyai sumber daya alam yang melimpah terutama Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti angin, sinar matahari, air dan lain-lain. Sumber energi terbarukan dapat dioptimalkan dengan menggunakan teknologi mikrogrid sehingga kapasitas jaringan listrik dapat ditingkatkan dengan efisiensi penyaluran energi dari pembangkit ke beban listrik lebih terjamin. Untuk itu daerah bebannya terisolasi sangat perlu menggunakan energi setempat utamanya daerah yang berada di kepulauan yang belum mendapatkan jaringan listrik PLN.

Pemerintah sangat memperhatikan mengenai pengembangan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi listrik alternatif yang sangat potensial di kembangkan. Sesuai Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) tahun 2021-2030 porsi pembangkit Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 20.923 MW atau 51,6 persen lebih besar dari pembangkit fosil 19.652 MW atau 48,4 persen dari total tambahan kapasitas pembangkit 40.575 MW. Dalam RUPTL terbaru tingkat penurunan tingkat emisi gas rumah kaca diperkirakan sekitar 70.23 juta ton karbon dioksida pada tahun 2030.

Pada saat ini perkembangan pembangkit energi terbarukan sangat maju pesat di seluruh dunia. Namun untuk memperoleh konfigurasi pembangkit yang optimal dibutuhkan optimasi yang lebih cepat dan lebih akurat. Dalam literatur, telah banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk mendapatkan ukuran optimal pembangkit energi terbarukan pada sistem *microgrid*. Beberapa metode optimasi yang telah dikembangkan adalah untuk meningkatkan kualitas sistem *microgrid* seperti mencari ukuran optimal untuk hibrid. (Sasidhar dan Kumar, 2015) mendesain ukuran optimal untuk sistem energi *photovoltaic* (PV) dan *wind turbine* (WT) dengan menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Kelemahan GA adalah adanya ketidakpastian untuk menghasilkan solusi global optimum dan PSO terlalu cepat mencapai local optimal yang bukan merupakan global optimal. (Karrich dan Kamel 2020) mengembangkan *Equilibrium Optimizer* untuk perencanaan sistem di Dakhla, Marocco. Metode berdasarkan *Social Spider Optimizer* diusulkan oleh (Fathy and Kanniche 2020) untuk *optimal design* pembangkit hibrid di Al Jouf Arab Saudi. (Alawani dan Kimball 2015) mempelajari ukuran optimal untuk merancang sistem *microgrid* yang terdiri dari angin/solar/baterai dengan menggunakan metode *forever power*. Selanjutnya (Samy, 2018) melakukan studi dengan menggunakan algoritma *Flower Pollination Algorithm Optimization* (FPA) untuk sistem hibrid terbarukan sel bahan bakar PV off-grid. (Xie et,al, 2015) melakukan studi dengan mengoptimalkan konfigurasi kapasitas hibrid energi

storage pada *microgrid* dengan algoritma *Quantum Particle Swarm Optimization* (PSO).

Salah satu metode optimasi yang banyak digunakan adalah algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Amer, 2014). Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) termasuk dalam kategori teknik optimasi kecerdasan kawanan burung. Pada algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) permasalahan optimasi dianggap sebagai partikel ruang pencarian, yang menyesuaikan posisinya untuk mencari ruang menurut pengalaman terbangnya sendiri dan pengalaman terbang partikel lainnya. Algoritma PSO hanya memiliki sejumlah kecil parameter yang perlu disesuaikan, untuk memudahkan aplikasinya. Namun algoritma ini mempunyai kelemahan yaitu jumlah iterasinya dibutuhkan untuk mendapatkan nilai potensi global minimum dan sangat mudah terjebak dalam local optimal. Sehingga banyak peneliti yang kemudian mengembangkan metode PSO ini. Salah satu pengembangannya adalah Algoritma BSG(Battle Star Galactica)-Starcraft Particle Swarm Optimization (BSG Starcraft PSO). Algoritma BSG Starcraft PSO dikembangkan berdasarkan *Inertia Weight Model* yang merupakan pengembangan PSO oleh S. Salmon. Kemudian dikembangkan lagi menjadi algoritma BSG-Startcraft Radius Particle Swarm Optimization (BSG Starcraft Radius PSO) juga oleh S. Salmon.

Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari ukuran optimal untuk pembangkit energi hibrid terisolasi *microgrid* dengan menggunakan

metode BSG-Starcraft Radius PSO. Metode tersebut kemudian diujicobakan untuk sebuah microgrid di sebuah pulau di Indonesia yaitu di Pulau Maginti, provinsi Sulawesi Tenggara. Fokus dari penelitian ini adalah untuk menentukan jumlah dan ukuran *photovoltaic* (PV) dan *wind turbine* (WT) dengan menggunakan metode BSG-Starcraft Radius Particle Swarm Optimization Algorithm dan dibandingkan dengan BSG-Startcraft PSO. Dari hasil simulasi, terlihat metode yang diusulkan yaitu BSG-Starcraft Radius PSO terbukti keefektifannya yaitu lebih optimal.

B. Rumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang yang terkait optimal sizing energi terbarukan pada sistem *microgrid*, sehingga dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan potensi pembangkit sistem *microgrid* di suatu daerah dengan potensi alam yang tersedia?
2. Bagaimana menentukan optimal sizing pembangkit dengan menganalisis sumber daya alam setempat berbasis energi terbarukan dengan BSG-Starcraft Radius PSO (Battle Star Galactica (BSG)-Starcraft Particle Swarm Optimization)?
3. Bagaimana mengembangkan desain algoritma untuk mengoptimalkan perencanaan pembangkit *microgrid* dengan

membandingkan antara BSG-Starcraft Radius PSO (Battle Star Galactica (BSG)-Starcraft Radius Particle Swarm Optimization) ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas maka tujuan penelitian yang akan dicapai pada penelitian ini adalah

1. Untuk menentukan potensi pembangkit sistem *microgrid* di suatu daerah dengan potensi alam yang tersedia
2. Pengembangan pembangkit sistem *microgrid* berbasis energi terbarukan dengan metode BSG-Starcraft Radius PSO (Battle Star Galactica (BSG)-Starcraft Particle Swarm Optimization)
3. Pengembangan metode baru dari hasil pembangunan *microgrid* (BSG)-Starcraft Radius Particle Swarm Optimization.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat secara luas dalam hal pada pengembangan sumber energi terbarukan adalah

1. Mengembangkan model *microgrid* energi terbarukan yang lebih efisien dan ekonomis.
2. Meningkatkan keandalan pembangkit energi terbarukan pada daerah terisolasi dari jaringan listrik.

3. Menjadikan acuan pembangkit listrik yang bersumber dari energi terbarukan yang lebih mudah didapatkan.

E. Ruang Lingkup

Pada penelitian ini dibatasi perancangan energi terbarukan dari sisi teknis, perancangan energi terbarukan pada sistem *microgrid* yaitu

1. Lokasi penelitian di desa Tangkeno Kecamatan Kabaena Tengah Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara dan daerah Maginti Kecamatan Maginti Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara.
2. Menghitung kapasitas energi matahari, energi surya, dan energi mikrohidro.
3. Menganalisis data dengan menggunakan bantuan software scilab yaitu BSG-Starcraft PSO (Battle Star Galactica (BSG)-Starcraft Particle Swarm Optimization) dan BSG-Starcraft PSO (Battle Star Galactica (BSG)-Starcraft Radius Particle Swarm Optimization)

F. Kebaruan Penelitian

1. Perancangan sistem pembangkit *microgrid* dari energi terbarukan dengan metode kecerdasan buatan untuk menentukan jumlah kapasitas pembangkit.

2. Pembuatan dengan metode baru yaitu BSG-Starcraft PSO (Battle Star Galactica (BSG)-Starcraft Radius Particle Swarm Optimization)

G. Penelitian Terkait

Tabel 1. Penelitian Terkait

No	Peneliti, Sumber Tahun	Judul Penelitian	Pokok permasalahan	Metode Solusi permasalahan	Korelasi dengan Penelitian
1	(Besu et,al, 2012)	Hybridization of bee colony Optimization and sequential Quadratic programming for Dynamic Economic Dispatch	Bagaimana penjadwalan keluaran generator dengan memprediksi kapasitas beban.	Melakukan pengoptimalan mesin diesel dan energi terbarukan.	Mengoptimasi keluaran energi terbarukan.
2	(Haves,O et,al, 2012)	Optimal Planning and design of renewable energy based supply system for microgrid	Bagaimana mengoptimalkan desain dan pengorasan energi terbarukan sebagai pembangkit Microgrid?	Melakukan metode homer untuk untuk mendapatkan optimasi yang baik.	Dalam mengoptimasi memperhatikan kapasitas daya keluaran pembangkit
3	(Tang,X, et, at, 2012).	Energy Storage in Renewable Energy Based Microgrid	Bagaimana meningkatkan kredibilitas dan peningkatan daya energi terbarukan?	Melakukan pengontrolan dengan Microgrid dengan supercapacitor, flywheel, battery etc.	Pemakaian energi storage untuk membantu suplai daya listrik ke beban.
4	(Amer,M et,al 2013).	Optimization of Hybrid Renewable Energy System (HRES) Using PSO for Cost Reduction	Bagaimana mengoptimasi daya pembangkit dari Hybrid Renewable Energi Sistem (HRES) untuk mengurangi losses antara produksi dan sisi beban?	Melakukan optimasi Particle Swarm Optimization (PSO) untuk mengurangi Levelized Cost of Energy (LCOE).	Pemakaian teknik optimasi dilakukan dengan metode Particle Swarm Optimization (PSO).

5	(Nasir, J et,al 2013).	Renewable Energy Sources Optimization : A Micro-Grid Model Design.	Bagaimana pemodelan microgrid ?	Melakukan metode matlab homer.	Mengoptimasi microgrid dengan memodelkan dengan biaya yang rendah dan mengurangi emisi CO ₂ .
6.	(Abdilahi ,A,M et,al 2014).	Feasibility Study of Renewable Energy Based Microgrid System in Somaliand's Urban Centers	Bagaimana kemungkinan suplai daya listrik dari energi terbarukan untuk mengurangi pemakaian generator diesel karena harga minyak yang berfluktuasi dari pembangkit diesel?	Melakukan sistem pada pembangkit listrik energi terbarukan dengan memakai software Homer.	Memperhitungkan kapasitas pembangkit listrik energi yang dihasilkan.
7	(Juan P et,al 2014).	Optimal scheduling of Microgrid with a fuzzy logic controlled storage system	Bagaimana mengurangi biaya pengoprasian microgrid ?	Melakukan scheduling pembangkit microgrid dengan fuzzy logic.	Memakai turbin angin, mikro turbin sebagai pembangkit.
8	(Amereh et, al 2014)	Multi Objective Design of Stand-alone PV?Wind Energy System by Using Hybrid GA and PSO.	Bagaimana desain pembangkit listrik Photovoltaik (PV) dan Wind Turbin (WT) ?	Melakukan desain dengan Genetic Alogaritma (GA) dan Particle Swarm Optimization (PSO).	Dengan pembangkit photovoltaic (PV) dan Wind Turbine (WT) dengan memakai algoritma BSG-Starcraft Radius Particle Swarm Optimization (PSO).

9	(Nnamdi,) et, al 2015).	Optimal Dispatch for Microgrid incorporating renewables and demand response.	Bagaimana mengoptimalkan energi terbarukan dan mengurangi energi konvensional, mengurangi biaya bahan bakar	Membuat model optimasi dengan melakukan penjadwalan selama interval 24 jam.	Meminimalkan pembangkit konvensional.
10	(Kumar, P,K et,al 2015).	Optimization of Renewable Energy Sources in a Microgrid Using Artificial Fish Swarm Algorithm.	Bagaimana mengoptimalkan scheduling pembangkit merupakan salah satu biaya pembangkit?	Menggunakan metode Artificial Fish Swarm Algorithm.	Melakukan optimal scheduling kapasitas daya pembangkit.
11	(Fathima,H, et,al 2015).	Optimization in Microgrids with Hybrid energy sistem	Bagaimana konsep hibrid energi baru terbarukan?	Melakukan pemodelan dan aplikasi pada pembangkit energi terbarukan dan energi storage.	Menggunakan model optimasi Homer.
12	(Rabhi, A, et,al 2015).	Energy Management for an Autonomous Renewable Energy System.	Bagaimana pengontrolan dan produksi dari energi dari pembangkit energi terbarukan ?	Membuat model matematika komponen hibrid yaitu PV generator, wind turbin, baterai, dan daya konverter.	Menggunakan software fuzzy.
13	(Abedini M, et al 2016).	Optimal management of microgrids including renewable energy sources using GPSO-GM algorithm.	Bagaimana strategi mengoptimalkan manajemen PV/Wind/Diesel ?	Melakukan optimasi dengan novel algorithm Guaranteed Particle Swarm Optimization dengan Gaussian Mutation (GPSO-GM).	Memanfaatkan energi PV, Wind.

14	(Firdaus et,al.2016)	Economic Dispatch of Multi Microgrid Systems With Renewable Energy Sources Using Particle Swarm Optimization.	Bagaimana mengurangi penggunaan pembangkit tradisional?	Meningkatkan penggunaan pembangkit energi terbarukan.	Menggunakan sumber energi terbarukan sebagai pembangkit utama.
15	(Peerapong et,al 2016).	Optimal electricity development by increasing solar resources in the diesel-based micro grid of society in Thailand.	Bagaimana mengurangi biaya pembangkit dan emisi diakibatkan pembangkit dari bahan bakar minyak ?	Melakukan optimal pembangkit yang berasal dari PV.	Sistem kelistrikan Hybrid PV/ Diesel sangat efektif digunakan pada daerah kepulauan.
16	(Quoc D, P. et,al 2016)	Optimal Design Combined with Power management for Stand Alone Microgrid.	Bagaimana teknik baru untuk meningkatkan akurasi kombinasi optimal antara PV dan WT untuk memperpanjang masa pakai baterai, turbin angin dan mengurangi konsumsi bahan bakar ?	Melakukan metode baru. berdasarkan indeks ketersediaan dan tingkat biaya energi (LCOE), jumlah PV dan WT akan dipilih. Hasil algoritma baru akan dilakukan oleh Homer.	Melakukan metode Hybrid PV, Wind Turbine.
17	(Manohar, P. at.al 2016).	Optimal sizing of Wind/Solar/Hydro/ in an Isolated Power System Using SMUGH based FPA.	Bagaimana optimal sizing antara pembangkit angin, solar, hydro untuk mengoptimalkan sistem pembangkitan?	Melakukan metode yaitu model Semi Markov and Universal Generating Function (SMUGF)	Dengan sistem microgrid PV, Wind dan Hydro.

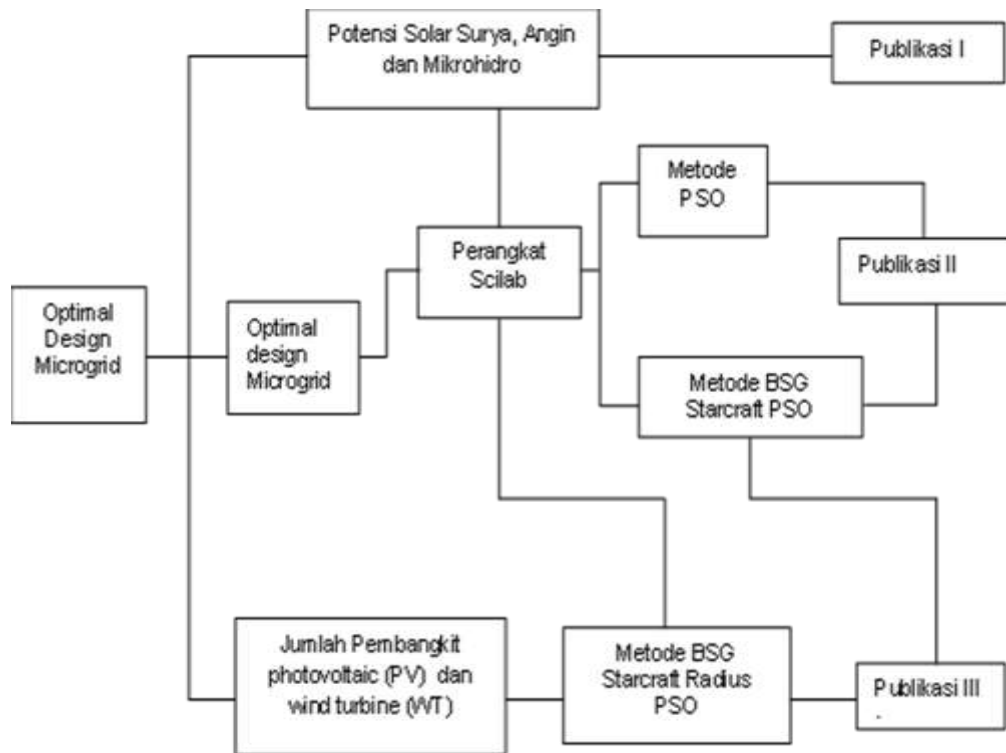
18	(Duchaud, J,L ,at.al 2018).	Wind, solar and battery microgrid optimal sizing in Tilos Island.	Bagaimana pemodelan pembangkit listrik yang fleksibel dengan multi objektif dengan konfigurasi Wind turbine, Photovoltaik dan battery?	Melakukan metode yaitu Multi objective Particle Swarm Optimization, optimalisasi ini diatur meminimalkan biaya sistem energi.	Menerapkan sistem pembangkit Wind Turbin, Solar dan battery pada microgrid.
19	(Alalwani, S,M, ,at.al 2015)	Optimal sizing of a Wind/Solar/Battery Hybrid Microgrid System Using The Forever Power Method	Bagaimana mengoptimalkan sizing dengan memakai pembangkit wind turbine, solar dan battery?	Melakukan metode dengan sistem Forever Power Method.	Penentuan jumlah pembangkit wind turbine dan photovoltaic.
20	(Xie, X, at,al, 2015)	Optimal Capacity Configuration of Hybrid Energy Storage for Isolated Microgrid Based on QPSO Algorithm	Bagaimana mengoptimalkan konfigurasi energi storage pada microgrid isolated?	Melakukan dua metode yaitu Particle Swarm Optimisation (PSO) dan Quantum Particle Swarm Optimisation (QPSO). Particle Swarm Optimisation (PSO).	Mencari perbandingan dan menerapkan metode tradisional Particle Swarm Optimization (PSO) dan metode pengembangan Particle Swarm Optimisation (PSO).

21	(Karve, G,M, at,al, 2019)	Implementation of Analytical Method and Improved Particle Swarm Optimization Method for Optimal Sizing of a Standalone PV/Wind and Battery Energy Storage Hybrid System.	Bagaimana mengoptimalkan jumlah pembangkit PV/Wind dan battery Energy Storage Hybrid System?	Melakukan dua metode yaitu Analytical Method (AM) dan Improved Particle Swarm Optimization (IPSO) kemudian membandingkan hasil simulasi kedua algoritma.	Mencari jumlah pembangkit photovoltaic (PV) dan wind turbine (WT).
----	------------------------------	--	--	--	--

PENELITIAN YANG DIAJUKAN	KEBARUAN YANG DITAWARKAN
OPTIMAL DESAIN ENERGI TERBARUKAN PADA SISTEM MICROGRID	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="805 459 1327 884">1. Optimal sizing dengan menentukan jumlah pembangkit dengan memakai metode Particle Swarm Optimization (PSO), BSG-starcraft of Particle Swarm Optimization dan BSG Starcraft Radius of Particle Swarm Optimization. <li data-bbox="805 896 1327 1220">2. Metode ini merupakan pengembangan dari Particle Swarm Optimization (PSO), sebagai metode baru dibidang Optimal Sizing Energy Terbarukan pada Microgrid.

Hasil penelitian yang telah dibahas pada naskah disertasi ini telah memenuhi unsur kebaruan dengan menggunakan metode BSG-starcraft of Particle Swarm Optimization dan BSG Starcraft Radius of Particle Swarm Optimization untuk menyelesaikan untuk mengoptimalkan ukuran pembangkit listrik tenaga surya (PV) dan pembangkit listrik tenaga angin (WT) pada daerah kepulauan atau daerah isolated.

Hasil penelitian mencakup unsur-unsur kebaruan dan bentuk publikasi di jelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemetaan Publikasi

H. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan laporan penelitian disertasi ini disusun berdasarkan dengan lima bab yaitu teori-teori terkait, metode, hasil penelitian dan kesimpulan. Penjelasan dari dari setiap bab tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab satu memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, kebaruan hasil penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab dua menjelaskan tentang teori dan konsep yang terkait dengan hasil studi literatur penelitian yang telah dilakukan. Adapun teori yang terkait adalah energi terbarukan seperti energi surya, energi angin, energi mikrohidro untuk mencari jumlah optimal pembangkit energi terbarukan.

BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab tiga menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, tahapan penelitian, dan objek penelitian. Pada bab ini juga menjelaskan secara detail potensi pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin, pengolahan data menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) dan BSG starcraft PSO.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab empati menjelaskan hasil simulasi menggunakan data potensi sel surya dan potensi angin.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab lima menjelaskan kesimpulan dan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Microgrid

Microgrid adalah suatu sistem teknologi yang menggabungkan beberapa sumber energi baik energi fosil maupun energi terbarukan. Adapun kapasitas pembangkit pada sistem *microgrid* maksimal 100 kW dan terletak disekitar beban. Microgrid dapat dioperasikan secara *hybrid*, *island mode(off grid)*, atau terhubung dengan jaringan atau interkoneksi dengan kapasitas daya yang besar (*on grid*).

Microgrid adalah salah satu teknologi pembangkit yang digunakan untuk mengatasi kekurangan pasokan daya listrik, dan telah menjadi inovatif bagi para peneliti di seluruh dunia untuk mengembangkan teknologi microgrid khususnya pada sumber energi baru terbarukan. Tantangan permintaan energi listrik semakin meningkat sedangkan energi fosil semakin berkurang maka pemanfaatan energi baru terbarukan harus dioptimalkan dengan baik. Pemakaian energi baru terbarukan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca untuk bencana akibat perubahan iklim menjadi proses yang sulit dan mahal. Dengan konsep teknologi microgrid diharapkan akan dapat terwujud daerah mandiri energi untuk mendukung perekonomian yang optimal dan lingkungan yang nyaman.

Pada sistem *microgrid* digunakan adalah pembangkit berbahan bakar dan pembangkit energi baru terbarukan dan disertai dengan tempat penyimpanan energi yang dihasilkan oleh pembangkit. Daya listrik yang

dibangkitkan oleh pembangkit yang berskala kecil harus memakai sistem mikrogrid untuk meningkatkan keandalan dan mengurangi rugi-rugi jaringan, *microgrid* juga dapat disebut dengan jaringan mikro. Pada jaringan *microgrid* dengan *Distributed Energy Resources* (DER) terdiri dari beberapa pembangkit terdistribusi dengan penyimpanan energi *Energy Storage* (ES) yang ditempatkan di daerah lokasinya dekat pusat beban. Keuntungan dari *Microgrid* adalah dapat meningkatkan ketahanan sistem daya listrik.

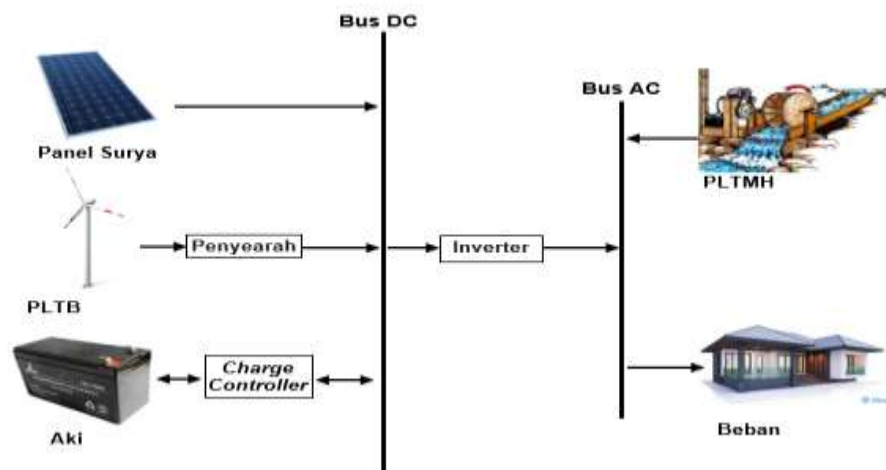


Gambar 2. Sistem microgrid
(Sumber: Di Zang 2013)

Microgrid terdiri dari beberapa sumber energi dengan beban yang terpisah kemudian dapat dioperasikan dengan cara terkoordinasi dan termonitor. Microgrid dapat dioperasikan dengan jaringan listrik utama atau dapat dioperasikan dengan secara mandiri (*Islanded mode*) yang artinya dapat difungsikan secara mandiri atau tidak terhubung sama sekali dengan jaringan utama.

Sistem jaringan *microgrid* terputus dengan jaringan distribusi *interconnection switch* (grid) dalam keadaan terbuka, *microgrid* harus mampu menyuplai daya beban lokal dengan pembangkit sendiri, kondisi ini disebut *islanded mode*. Selain *microgrid* kebutuhan beban harus terpenuhi, kualitas frekuensi dan tegangan harus terjamin karena pada saat proses pergantian dari kondisi terkoneksi dari keadaan grid ke kondisi *islanded mode*. Ada empat teknologi yang sangat penting pada sistem jaringan *microgrid* yaitu: *Distributed Generation* (DG), *Distributed Storage* (DS), *Interconnection Switch* (IS), dan *System Control* (SC), semua sistem tersebut harus bekerja dengan baik secara optimal.

Pada sistem *microgrid* ada beberapa sumber energi yang dapat dimodelkan seperti energi surya, energi angin, dan energi mikrohidro. Sistem pemodelan pada sistem jaringan kelistrikan dapat mendekati kondisi nyata pada sistem kelistrikan yang berada di daerah kepulauan, yang tidak mendapatkan suplai daya listrik dari PLN.



Gambar 3. Konsep desain *microgrid* energi terbarukan.

B. Sumber-Sumber Energi Terbarukan

a. Energi matahari.

Sinar matahari dapat membangkitkan energi listrik dengan sebuah proses yang disebut photovoltaik (PV). Photovoltaik terdiri dari photon menggambarkan sebagai cahaya sedangkan photovoltaic menggambarkan sebagai tegangan. Secara terminologi disebut sel elektronika yang dapat menghasilkan energi listrik arus searah yang dihasilkan oleh radiasi matahari. *Photovoltaik* (PV) terbuat dari lapisan semikonduktor. Apabila cahaya matahari sampai ke cell maka terjadi elektron bebas dari atom silikon kemudian mengalir membentuk aliran listrik sehingga menghasilkan energi listrik.

Photovoltaik (PV) didesain untuk mengubah cahaya menjadi menjadi energi listrik, pemasangannya dapat dipasang secara seri atau paralel dengan nilai tegangan dan arus sesuai kebutuhan yang diinginkan, sesuai dengan penelitian yang lakukan oleh (Chenni et.al, 2007). Prinsip kerja dari photovoltaik tergantung pada radiasi matahari yang diterima. Keadaan iklim sangatlah penting misalnya cuaca berawan dan berkabut berpengaruh besar terhadap jumlah energi matahari yang diterima oleh photovoltaik yang dapat dikonversi menjadi listrik (Yohannes et.al, 2005)

b. Energi Angin

Angin terjadi karena adanya udara yang bergerak disebabkan oleh perbedaan antara temperatur udara panas dan temperatur dingin. Adanya

perbedaan temperatur udara yang terjadi di permukaan bumi. Udara mengalami pergerakan dari daerah memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah memiliki tekanan udara yang rendah.

c. Energi Air

Energi air merupakan salah satu sumber energi yang diperoleh dari air yang mengalir atau air terjun. Air yang mengalir dapat memutar turbin dan menghasilkan tenaga mekanis menghasilkan energi listrik. Tenaga air sudah dikembangkan dan telah banyak digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro di seluruh Indonesia. Tenaga hidro menggunakan air yang diakibatkan oleh gerakan air yang gaya gravitasi yang diberikan pada substansi dimana kurang lebih 1000 kali lebih berat dari udara, sehingga seberapa lambat aliran air tetap menghasilkan sejumlah besar energi.

Energi air adalah merupakan sumber energi yang ramah lingkungan yang tidak menimbulkan polusi udara sehingga tidak menimbulkan pencemaran dan sudah lama digunakan sebagai sumber pembangkit tenaga air.

C. Komponen Sistem Microgrid

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya. Pada prinsipnya sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah melalui panel surya dengan merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit yang ramah lingkungan, karena pada prinsipnya tidak memakai bahan bakar dan sangat mudah didapatkan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan gabungan dari beberapa *photovoltaik* (PV) (Arief, A. 2020). Untuk menghasilkan daya yang besar sel photovoltaik (PV) akan dipasang secara seri atau paralel. Panel Surya merupakan gabungan dari beberapa modul yang dipasang seri atau paralel untuk mendapatkan daya yang lebih besar.

Dari karakteristik *photovoltaik* (PV) pada saat operasi menunjukkan bahwa daya keluaran tidak selamanya sama dengan kondisi standar yaitu 1000 W/m^2 dengan temperatur sel sekitar 25°C ini karena dipengaruhi oleh radiasi dan temperatur dan berpengaruh terhadap karakteristik dari photovoltaik (PV). Daya yang dihasilkan oleh modul dapat hitung dengan menggunakan rumus.

$$P_{pv} = \eta_{PV} AI(t)(1 - 0,005(T_o(t) - 25) \forall t > 0 \quad (1)$$

Dimana P_{pv} adalah daya keluaran dari modul saat radiasi (W), η_{pv} adalah efisiensi panel (%), A adalah luas permukaan panel surya (m^2), I adalah radiasi aktual (W/m^2), T_o adalah temperatur sel dalam $^{\circ}C$.

1.2 Jenis panel surya.

Panel surya terdiri dari dua macam tipe yang masing masing mempunyai kekurangan dan kelebihan antara lain

1.2.1 Tipe Polikristal (*Polycrystalline*)

Merupakan panel surya yang mempunyai susunan kristal secara acak. Pada tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal menghasilkan energi listrik yang sama, akan tetapi kelebihanannya masih dapat menghasilkan listrik pada saat cuaca lagi mendung.



Gambar 4. Tipe polikristal (*Poly-crystalline*)
(Sumber: www.saurenergi.com)

1.2.2. Tipe Monokristal (*Monocrystalline*)

Merupakan panel surya yang paling efisien untuk menghasilkan energi listrik yang paling tinggi. Tipe ini memiliki efisiensi sampai dengan

15%. Akan tetapi tipe ini mempunyai kekurangan yaitu tidak akan berfungsi dengan baik pada tempat yang penyinaran matahari yang kurang (teduh), pada saat cuaca berawan efisiensinya akan turun drastis.



Gambar 5, Tipe Monokristal (*Mono-crystalline*)
(Sumber: www.surya.utama.putra.ac.id)

1.2.3. Teknik Pemasangan Panel Surya.

Pemasangan panel surya dapat dipasang secara tetap (*fixed*) pada tempatnya. Pada setiap daerah atau negara mempunyai sistem pemasangan yang berbeda-beda tergantung tempat dan kondisi penyinaran mataharinya (Fachrul, A.P. 2015). Seperti daerah atau negara yang mempunyai empat musim teknik pemasangan pada umumnya adalah menghadapkan panel tersebut ke arah selatan untuk negara yang berada belahan bumi utara dan ke arah utara bagi negara yang berada di belahan bumi selatan sesuai penelitian (Teckle and Shaw 2007). Panel surya diposisikan letaknya tegak lurus terhadap arah datangnya matahari tepat siang hari.



Gambar 6. Pemasangan Panel PV.
(Sumber : Fahrul Adi Putra 2015)

1.2.4. Baterai

Baterai merupakan peralatan pembangkit listrik tenaga surya yang mempunyai fungsi yaitu menyimpan energi listrik yang telah dihasilkan sumber energi terbarukan. Baterai mempunyai siklus saat pengisian (*charging*) dan saat pengosongan (*discharging*). Jadi siklus yang terjadi pada baterai berupa pengisian dan pengosongan.

Baterai yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terdapat dua jenis yaitu; baterai Asam Timbal (*Lead Acid*) dan baterai Nickel –Cadmium). Baterai dengan tipe Nickel Cadmium memiliki nilai efisiensi yang rendah dan harga yang mahal, sehingga penggunaannya jarang dipakai pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Sedangkan baterai Asam Timbal mempunyai nilai efisiensi yang tinggi dengan harga yang lebih murah sehingga jenis baterai ini dipakai

pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berukuran daya menengah dan besar.

Pada baterai memiliki nilai tingkat pemakaian (pengosongan) ini disebut dengan *Depth of Discharge* (DOD), mempunyai nilai sebesar 80%. Ini menunjukkan bahwa hanya 80% energi yang dapat digunakan sedangkan nilai sebesar 20% harus masih tersimpan pada baterai. Pengaturan daripada *Depth of Discharge* (DOD) digunakan untuk menjaga umur baterai (life time) dari baterai.

Kapasitas battery (Ah) dapat ditentukan dengan rumus persamaan:

$$KapasitasBattery(Ah) = \frac{E_{Load} \times Daysofautonom}{Daysofautonom \times \eta_{bat} \times V_{bat-nom}} \quad (2)$$

Dimana

$$Daysofautonom = 4, DOD_{max} = 0,85, v_{bat} = 12$$

Jumlah battery yang dibutuhkan adalah

$$N_{bat} = \frac{batterycapacity}{nominalbatterycapacity} \quad (3)$$



Gambar 7. Baterai
(Sumber: www.trojanbattery.com)

1.2.5. Inverter

Inverter merupakan suatu alat elektronika yang berfungsi merubah tegangan DC menjadi tegangan bolak balik AC dengan frekuensi 50 Hz/60 Hz. Pemakaian alat inverter tergantung pada sistem jaringan ke beban, apakah alat inverter merupakan bagian dari sistem jaringan atau pemakaian berdiri sendiri dan pemilihan inverter harus disesuaikan dengan kapasitas daya yang dibutuhkan. Pengoprasian dari inverter sebesar 90% dari kapasitasnya akan tetapi pemakaiannya masih dapat disesuaikan kapasitas beban yang dibutuhkan (Omar, 2007, Yasin, 2008) Kapasitas inverter dapat dihitung dengan mempertimbangkan penambahan 15% dari kapasitas daya terlayani dengan asumsi nilai efisiensi inverter 0,95. Kapasitas inverter dapat ditentukan dengan persamaan:

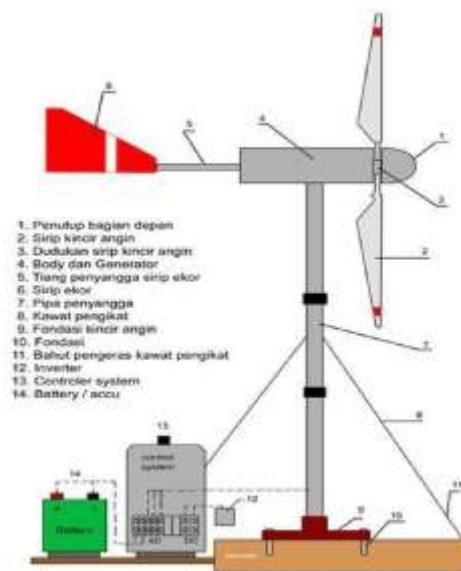
$$P_{inv} = \frac{P_{Peak-Load} \times 1,15}{\eta_{nv}} \quad (4)$$



Gambar 8. Inverter.
(www.elsaelektronik.com)

2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga angin adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi angin sebagai sumber energi listrik untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik ini mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin.



Gambar 9. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin
(Sumber : Maldi, UTU , Aceh 2016)

Pembangkit listrik tenaga angin ini memanfaatkan turbin angin (wind turbin) sebagai peralatan utama pada sistem pembangkit listrik tenaga angin. Turbin angin adalah alat yang dapat dimanfaatkan energi kinetik dari angin dan kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Turbin angin dibagi beberapa jenis antara lain :

2.1. Turbin angin jenis horizontal.

Pemakaian jenis turbin angin ini memiliki ciri-ciri antara lain antara poros dan generator listrik berada pada daerah puncak menara. Keuntungan pemakain jenis turbin ini adalah dapat dipasang pada daerah ketinggian dengan ukuran lebih besar dari 15 meter, maka daerah paparan angin akan lebih besar.



Gambar 10. Turbin Angin Horizontal.
(Sumber : Wikipedia)

2.2. Turbin angin jenis vertikal.

Pemakaian jenis turbin angin ini memiliki ciri-ciri antara lain antara poros dan generator listrik dipasang berdiri atau tegak lurus. Keuntungan pemakaian jenis turbin ini adalah dapat menerima angin dengan hembusan angin yang berbeda.



Gambar 11. Turbin Angin Vertikal.
Sumber : Wikipedia

Angin terjadi karena adanya udara yang bergerak disebabkan oleh perbedaan antara temperatur udara panas dan temperatur dingin, perbedaan temperatur udara ini yang terjadi di permukaan bumi. Udara mengalami pergerakan dari daerah memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah memiliki tekanan udara yang rendah.

$$P_{wt}(t) = \begin{cases} 0 & V(t) < V_{ci} \\ \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta_w & V_{ci} \leq v(t) < V_r \\ P_{rated} & V_r \leq v(t) \leq V_{co} \\ V_{co} & v(t) > V_{co} \end{cases} \quad (5)$$

Dimana P_{rated} adalah daya keluaran dari turbin angin (W), V_{ci} adalah cut in (m/s), V_{co} adalah kecepatan cut-out (m/s), V_r adalah rating kecepatan angin (m/s), η_w adalah efisiensi wind turbin, ρ adalah kecepatan udara (kg/m^3). N_{wt} adalah jumlah dari wind turbin. A adalah daerah sapuan (m^2).

2. 3. Biaya Pembangkit

Besar biaya yang harus dikeluarkan untuk photovoltaic (PV) adalah

$$C_{PV} = N_{PV} \cdot Cost_{PV/Unit} \quad (6)$$

C_{PV} adalah biaya photovoltaic (PV) (\$), N_{PV} adalah jumlah photovoltaic (PV) terpasang (unit), $Cost_{PV/Unit}$ adalah harga photovoltaic (PV) per Unit (\$).

Besar biaya yang harus dikeluarkan untuk wind turbin (WT) adalah

$$C_{WT} = N_{WT} \cdot Cost_{wt/Unit} \quad (7)$$

C_{WT} adalah biaya wind turbin (WT) (\$), N_{WT} adalah jumlah wind turbin (WT) terpasang (unit), $Cost_{WT/Unit}$ adalah harga *wind turbine* (WT) per Unit (\$). Besar total biaya yang harus dikeluarkan antara photovoltaic (PV) dan *wind turbine* (WT) adalah

$$C_{Total} = C_{PV} + C_{wt} \quad (8)$$

C_{Total} adalah total biaya pembangkit (\$), C_{PV} adalah biaya *photovoltaic* (PV) terpasang (\$), C_{wt} adalah biaya *wind turbine* (WT) terpasang (\$)

3. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

3.1. Pengertian PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro)

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah suatu pembangkit listrik yang dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Kapasitas daya mikrohidro mempunyai yang dibangkitkan tidak terlalu besar atau daya yang dihasilkan kecil. Tenaga air yang dihasilkan bersumber pada aliran sungai kecil yang dibendung kemudian dari ketinggian tertentu kemudian

memiliki debit air yang akan menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator untuk membangkitkan listrik.

3.2. Prinsip Kerja PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro)

Pembangkit listrik mikrohidro prinsip kerjanya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah aliran debit air per detik yang ada pada sumber air tenaga aliran sungai atau air terjun. Aliran air yang mengalir akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik energi ini selanjutnya menggerakkan dan menghasilkan energi listrik (Akbar. M, 2020) .

3.3. Bagian peralatan pada PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro)

Peralatan dan bangunan pada PLTMH adalah;

1. Bendungan..

Bendungan untuk PLTMH berfungsi untuk menyimpan dan mengatur aliran debit air sehingga sesuai dengan debit air yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin.

2. Saringan (*Sand Trap*).

Pemasangan saringan ini dipasang sebelum pengambilan air atau ditempatkan pada di depan pintu pengambilan air, tujuannya untuk menyaring kotoran atau sampah yang terbawa oleh air sehingga air menjadi bersih dan mengganggu pengoprasian PLMTH.

3. Pintu pengambilan air (*Intake*)

Pintu pengambilan air dipasang pada ujung pipa dipakai pada saat pipa pesat pada dikosongkan dan diadakan pembersihan pada saat perbaikan.

4. Pipa pesat (*Penstock*).

Pipa pesat berfungsi untuk mengalirkan air dari penampungan air (kolam tando) kemudian menuju ke turbin sebagai penggerak mula untuk generator. Peletakan pipa pesat harus mempunyai posisi miring agar kecepatan dan tekanan air yang tinggi agar dengan mudah memutar turbin.

5. Katup Utama (*Main Value atau Inlet*)

Pemasangan katup utama dipasang sebelum atau didepan turbin yang berfungsi untuk membuka aliran air. Pada saat menjalankan turbin dan perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Tekanan air dapat diatur dengan pompa hidrolik pada katup utama.

6. Rumah Pembangkit (*Power House*).

Rumah pembangkit (*Power House*) adalah merupakan gedung sentral yang berfungsi sebagai tempat peralatan instalasi seperti turbin air, generator, peralatan kontrol, peralatan bantu, dan ruangan pemeliharaan.

3.4. Perhitungan Teknis

Analisa daya potensi energi air yang dihasilkan dapat dihitung dengan memakai persamaan daya:

$$P = 9,81 \times Q \times \rho \times H_n \times \eta \quad (9)$$

Dimana :

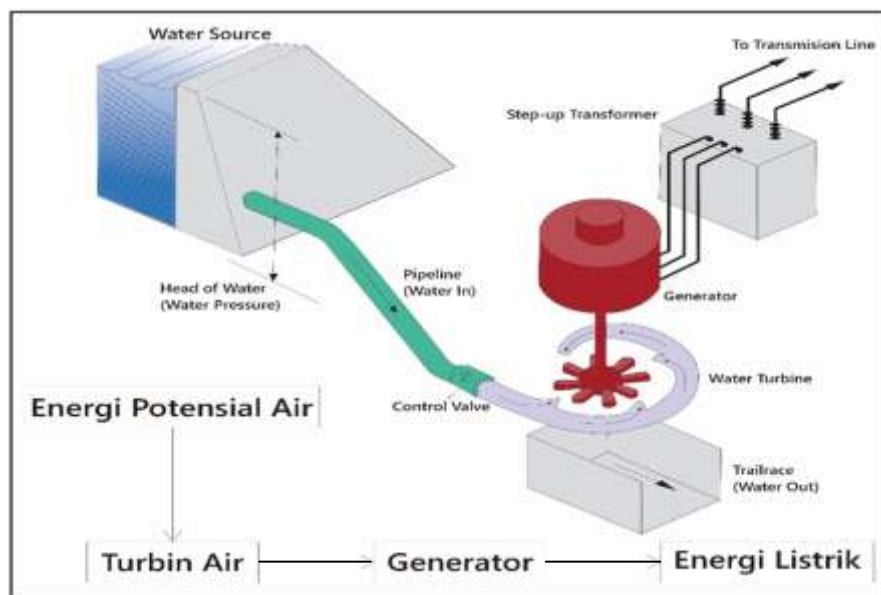
P = Daya (kW)

Q = Debit aliran air (m³/detik)

H_n = Head net (m)

g = Konstanta gravitasi

η = Efisiensi turbin.



Gambar 12. Konstruksi PLTMH
(Sumber: www.rimbakita.com)