

**OPTIMASI PEMBANGKIT HYBRID ENERGI TERBARUKAN  
PADA KAMPUS VOKASI ATS MENGGUNAKAN METODE  
*WILD HORSE OPTIMIZATION (WHO)***

*Optimization of hybrid renewable energy generators at ATS  
vocational campus using Wild Horse Optimization (WHO)*

**MARLIANI**

**D032211011**



**PROGRAM STUDI PASCA SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**PENGAJUAN TESIS**

**OPTIMASI PEMBANGKIT HYBRID ENERGI TERBARUKAN  
PADA KAMPUS VOKASI ATS MENGGUNAKAN METODE  
*WILD HORSE OPTIMIZATION (WHO)***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Ilmu Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

**MARLIANI**

**D032211011**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**TESIS**  
**OPTIMASI PEMBANGKIT HYBRID ENERGI  
TERBARUKAN PADA KAMPUS VOKASI ATS  
MENGUNAKAN METODE *WILD HORSE*  
*OPTIMIZATION (WHO)***

**MARLIANI  
D032211011**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 3 Juli 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D**  
Nip. 197804242001122001

Pembimbing Pendamping



**Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., MT.**  
Nip 197311181998032001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Eng.Ir.Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.,IPM**  
Nip 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Elektro



**Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng**  
Nip 197208281999031003

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Marliani

Nomor Mahasiswa : D032211011

Program studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Optimasi pembangkit hybrid energi terbarukan pada kampus vokasi ATS menggunakan metode *wild horse optimization (WHO)*” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Ardianti Arief, S.T., MTM., Ph.D. sebagai pembimbing Utama dan Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T. sebagai pembimbing Pendamping). Karya ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di *2023 International Conference on Computer Science, Information Technology, & Engineering*, Jakarta, Indonesia, 2023, pp 146-151, DOI : 10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127755 sebagai artikel dengan judul “*Implementation of wild horse optimization (WHO) method for optimal hybrid renewable energy designs*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 29 Mei 2023

Yang menyatakan



Nama: Marliani

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil alamin saya ucapkan sebagai rasa syukur bahwa tesis ini akhirnya dapat saya selesaikan dengan baik. Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan baik dan dapat selesai atas bimbingan, arahan dan diskusi dari pembimbing saya yaitu Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D selaku pembimbing 1 dan Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., MT. selaku pembimbing 2. Ucapan terimakasih dan penghargaan yang tinggi juga saya ucapkan kepada bapak Ichsan Ristiawan selaku Kapro pada kampus Akademi Teknik Sorowako yang telah mengizinkan saya untuk mengambil data pada bengkel A, ATS yang merupakan lokasi penelitian saya. Ucapan terimakasih juga saya ucapkan kepada rekan kerja saya Haeril Ade yang telah bersedia dan meluangkan waktunya untuk membantu saya dalam proses pengambilan data.

Ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga saya ucapkan kepada Akademi Teknik Sorowako yang telah memberi saya kesempatan dan beasiswa selama saya menempuh program pendidikan magister. Kepada bapak Muhammad Naim dan ibu musriyani, saya ucapkan terimakasih atas arahan dan kerjasamanya selaku pengelola beasiswa. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada pimpinan Univeristas Hasanuddin dan sekolah pasca sarjana yang telah memfasilitasi saya selama menempuh pendidikan program magister.

Akhirnya limpahan terimakasih dan sembah sujud saya atas doa, pengorbanan, dan motivasi dari kedua orang tua tercinta selama saya menempuh pendidikan. Ucapan terimakasih dan peluk hangat juga saya sampaikan untuk kakak-kakak, ipar-ipar dan keponakan-keponakanku atas dukungan yang sangat bernilai. Dan terimakasih kepada kedua keponakanku yang sama-sama berjuang menempuh pendidikan dirantau orang, dari kalian saya banyak belajar bersabar.

Penulis

Marliani

## ABSTRAK

**MARLIANI.** Optimasi pembangkit hybrid energi terbarukan pada kampus vokasi ATS menggunakan metode *wild horse optimization (WHO)* (dibimbing oleh **Ardiaty Arief** dan **Indar Chaerah Gunadin**)

Pemanfaatan energi terbarukan telah banyak diterapkan didunia untuk mengurangi penggunaan energi fosil. System tenaga listrik hybrida berbasis energi terbarukan menjadi solusi untuk menghasilkan energi yang maksimal. Dalam tesis ini, system hybrid yang dibahas adalah hybrid PV, wind turbin dan penyimpanan baterai. System desain hybrid ini sangat tergantung pada profil beban, potensi sumber energy, dan letak geografis lokasi penelitian. Penelitian ini membahas desain teknis dan *capital cost* system tenaga listrik hybrid yang akan diimplementasikan sebagai sumber energi alternatif praktikum pada kampus ATS, Sorowako. Irradiance, temperature, kecepatan angin rata-rata dan sizing komponen menjadi parameter utama pembahasan. Desain analisis teknis dan ekonomi (*capital cost*) menggunakan software MATLAB dengan algoritma *wild horse optimization (WHO)*. Hasil dari analisis WHO akan dibandingkan dengan analisis metode optimasi yang umum yaitu PSO. Dan diperoleh hasil analisis WHO dan PSO tidak jauh berbeda namun analisis WHO lebih cepat mencapai nilai konvergensinya yaitu pada iterasi ke 20 sedangkan analisis PSO mencapai nilai konvergensinya pada iterasi ke 40. Nilai capital cost yang diperoleh oleh analisis WHO yakni sebesar \$ 198,363.05 dengan jumlah PV sebanyak 772 Unit, jumlah WT sebanyak 1 unit, dan jumlah baterai sebanyak 54 unit.

**Kata kunci** : *energy terbarukan, system tenaga hybrid, MATLAB, wild horse optimization (WHO)*

## ABSTRACT

**MARLIANI.** *Optimization of hybrid renewable energy generators at ATS vocational campus using Wild Horse Optimization (WHO)* (supervised by **Ardiaty Arief** and **Indar Chaerah Gunadin**)

The use of renewable energy has been widely applied worldwide to reduce fossil energy use. A hybrid electric power system based on renewable energy is one of the solutions to produce maximum energy. In this paper, the hybrid systems discussed include photovoltaic (PV), wind turbine (WT), and battery storage (BS). This hybrid design system is very dependent on the load profile, potential energy sources, and geographical location of the research location. This research shows the technical design and capital cost of a hybrid electric power system that will be implemented as an alternative energy source for practical work on the Soroako Technical Academy or Akademi Teknik Soroako (ATS) vocational campus. Irradiance, temperature, average wind speed, and component sizing are the main parameters for the design. The technical analysis and capital cost design use MATLAB software with the wild horse optimization (WHO) algorithm. The results of the WHO analysis will be compared with the general optimization method is *Particle Swarm Optimization* (PSO). The results showed that the WHO and PSO algorithm method is not much different but WHO reaches its convergence value faster than PSO at the 20<sup>th</sup> iteration and PSO in 40<sup>th</sup> iteration. The capital cost value obtained by who analysis is \$ 198,363.05 with a total of 772 PV units, 1 unit of WT, and 54 battery units.

*Keywords : Renewable energy, hybrid power systems, MATLAB, wild horse optimization (WHO)*

## DAFTAR ISI

PENGAJUAN TESIS.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA ...	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
1.6. <i>Novelty</i> dan Kontribusi .....	5
1.7. Sistematika Penulisan .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid .....	7
2.2. <i>State of the art</i> .....	8
2.3. Panel Surya.....	16
2.4. Turbin Angin .....	17
2.5. Baterai.....	20
2.6. Inverter .....	20
2.7. <i>Annualized capital cost</i> .....	21
2.8. WHO ( <i>Wild Horse Optimization</i> ).....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1. Tahap Penelitian .....	25
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
3.3. Jenis Penelitian .....	27
3.4. Rancangan Penelitian .....	27



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	46
4.1. Desain simulasi dengan WHO.....	46
4.2. Perhitungan nilai kWh atau <i>Cost Of Energy</i> (COE) pada setiap pemodelan.....	58
4.3. Hasil simulasi sistem dengan kombinasi PV-Grid .....	60
4.4. Perbandingan Nilai <i>Cost Of Energi</i> (COE) .....	62
4.5. Simulasi dengan metode PSO .....	62
4.6. Perbandingan hasil metode WHO dan PSO .....	64
4.7. Simulasi dengan HOMER .....	68
4.8. Perbandingan hasil simulasi WHO, PSO dan aplikasi HOMER	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1. Kesimpulan.....	71
5.2. Saran .....	72
DAFTAR PUSTAKA .....	74
LAMPIRAN .....	79

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Skema pembangkit listrik hybrid.....	7
<b>Gambar 2.</b> Panel surya.....	16
<b>Gambar 3.</b> Turbin angin horizontal dan vertikal .....	19s
<b>Gambar 4.</b> Pembentukan kelompok dari populasi asli .....	22
<b>Gambar 5.</b> Diagram alir WHO .....	24
<b>Gambar 6.</b> Diagram alir penelitian .....	25
<b>Gambar 7.</b> Lokasi kampus ATS .....	27
<b>Gambar 8.</b> Karakteristik beban harian bengkel A .....	29
<b>Gambar 9.</b> Karakteristik beban harian perjam bengkel A .....	29
<b>Gambar 10.</b> Karakteristik beban tahunan bengkel A.....	30
<b>Gambar 11.</b> Radiasi matahari harian (Juni 2022).....	30
<b>Gambar 12.</b> Radiasi matahari perjam bulan Juni tahun 2022.....	31
<b>Gambar 13.</b> Radiasi matahari tahun 2021 .....	31
<b>Gambar 14.</b> Kecepatan angin rata-rata harian (juni 2022) .....	32
<b>Gambar 15.</b> Kecepatan angin rata-rata tahun 2021 .....	32
<b>Gambar 16.</b> Temperatur rata-rata harian bulan Juni 2022.....	33
<b>Gambar 17.</b> Temperatur rata-rata tahun 2021 .....	33
<b>Gambar 18.</b> System hybrid PV-wind turbin .....	34
<b>Gambar 19.</b> System hybrid PV-baterai.....	34
<b>Gambar 20.</b> system hybrid PV, wind turbin, dan baterai .....	35
<b>Gambar 21.</b> Kurva beban dalam jam .....	46
<b>Gambar 22.</b> Kurva permintaan beban tahun 2021 .....	47
<b>Gambar 23.</b> Kurva radiasi matahari tahun 2021 .....	47
<b>Gambar 24.</b> Temperatur tahun 2021 .....	47
<b>Gambar 25.</b> Kecepatan angin tahun 2021.....	48
<b>Gambar 26.</b> Flowchart sistem.....	49
<b>Gambar 27.</b> Kombinasi PV-Wind turbine .....	50
<b>Gambar 28.</b> Kurva konvergensi kombinasi PV-Wind .....	51
<b>Gambar 29.</b> Kurva energi yang di dihasilkan kombinasi PV-Wind .....	51
<b>Gambar 30.</b> Kombinasi PV-baterai .....	52

<b>Gambar 31.</b> Kurva konvergensi kombinasi PV-baterai.....	53
<b>Gambar 32.</b> Kurva energi yang di hasilkan kombinasi PV-baterai .....	53
<b>Gambar 33.</b> Kombinasi PV-Wind Turbine-baterai.....	54
<b>Gambar 34.</b> Kurva konversgensi kombinasi PV-Wind-baterai.....	55
<b>Gambar 35.</b> Kurva energi yang di hasilkan kombinasi PV-Wind-baterai.....	55
<b>Gambar 36.</b> Kurva perbandingan capital cost tiap kombinasi.....	56
<b>Gambar 37.</b> Neraca Daya.....	57
<b>Gambar 38.</b> Kombinasi PV-Grid.....	61
<b>Gambar 39.</b> Hasil Running kombinasi PV-Grid.....	61
<b>Gambar 40.</b> Kurva konvergensi kombinasi PV-Wind-baterai metode PSO .....	64
<b>Gambar 41.</b> Kurva energi kombinasi PV-Wind-baterai metode PSO .....	64
<b>Gambar 42.</b> Kurva konvergensi metode WHO running 1 -5.....	66
<b>Gambar 43.</b> Kurva konvergensi metode PSO running 1-5.....	67
<b>Gambar 44.</b> Desain hybrid PV-Wind-baterai pada HOMER .....	69

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> State of the art.....	9
<b>Tabel 2.</b> Kecepatan angin berdasarkan keadaan alam .....	18
<b>Tabel 3.</b> Jumlah beban.....	28
<b>Tabel 4.</b> Spesifikasi panel surya [31] .....	42
<b>Tabel 5.</b> Plot kecepatan angin rata-rata .....	43
<b>Tabel 6.</b> Spesifikasi wind turbin [33] .....	43
<b>Tabel 7.</b> Spesifikasi baterai [34].....	44
<b>Tabel 8.</b> Spesifikasi inverter .....	45
<b>Tabel 9.</b> Hasil running MATLAB metode WHO kombinasi PV-Wind.....	51
<b>Tabel 10.</b> Hasil running MATLAB metode WHO kombinasi PV-baterai.....	53
<b>Tabel 11.</b> Hasil running MATLAB metode WHO kombinasi PV-WT- baterai ..	55
<b>Tabel 12.</b> Perbandingan jumlah PV, WT dan baterai setiap kombinasi .....	56
<b>Tabel 13.</b> Tabel daya .....	57
<b>Tabel 14.</b> Perbandingan nilai COE pada metode WHO .....	60
<b>Tabel 15.</b> Tabel perbandingan nilai COE.....	62
<b>Tabel 16.</b> Hasil running MATLAB metode PSO kombinasi PV-WT- baterai.....	63
<b>Tabel 17.</b> Perbandingan hasil simulasi metode WHO dan metode PSO.....	65
<b>Tabel 18.</b> Perbandingan waktu konvergensi metode WHO dan PSO .....	68
<b>Tabel 19.</b> Perbandingan hasil simulasi metode WHO dan aplikasi HOMER.....	70

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Seperti yang kita ketahui bersama bahwa Indonesia kaya akan sumber energi fosil. Penggunaan sumber energi fosil yang semakin besar, mengakibatkan cadangan sumber energi ini semakin menipis. Berdasarkan data dari Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) saat ini Indonesia memiliki kapasitas pembangkit sumber energi sebesar 70.90 GW. Dari kapasitas tersebut 35.36% energi berasal dari batu bara, 19.36 % berasal dari gas bumi, 34.38% dari minyak bumi dan 10.9 % dari EBT [1].

Sesuai PP no 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050 [2], maka sumber energi terbarukan diharapkan dapat berperan aktif dalam rencana penyediaan energi masa depan. Misalnya energi Matahari yang menjadi salah satu energi terbarukan yang paling menjanjikan, hal ini disebabkan karena system *photovoltaic* (PV) menawarkan energi bersih dan sumber energinya tersedia begitu banyak [3]. Begitu pula dengan energi angin yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Namun, pemanfaatan pengembangan kedua potensi ini sangat tergantung dari kondisi geografis karena sifatnya yang *intermittent*.

Pembangkit energy hybrid di rancang untuk menutupi kekurangan tadi dimana PLTS hanya bisa memperoleh energi di siang hari sedangkan PLTB memiliki ketersediaan energi yang tidak menentu tergantung dari kecepatan angin. Sehingga jika kedua pembangkit ini digabungkan maka akan memperoleh sumber energi yang maksimal.

Telah banyak penelitian yang mengangkat tema optimasi sizing pembangkit hybrid PV-Wind, seperti Motaz Amer, dkk [4]. Pada penelitian ini dilakukan optimasi untuk meminimalkan *Cost* (biaya) dengan menggunakan algoritma PSO, dan di dapatkan kesimpulan bahwa metode PSO efektif digunakan untuk meminimalkan biaya. Namun metode PSO ini memiliki kelemahan yaitu terlalu cepat mencapai *local optimal* yang sebenarnya bukan merupakan *global optimal*

atau dapat di katakan lemah dalam mencari *global optimal* [5][6]. Bernardus Galih Wicaksono, dkk juga melakukan penelitian dengan merancang sistem PV-Generator-Baterai di desa Amaru, Asmat Papua. Mereka juga mengoptimasi nilai NPC (*net present value*) dengan menggunakan metode P&O. Namun pada penelitian ini sumber energi terbarukan hanya diambil dari satu sumber saja dan tetap menggabungkan energi fosil sebagai kombinasinya sehingga penggunaan energi terbarukan masih kurang maksimal [7]. Sementara Ilham Payaka dkk, melakukan study optimal *sizing* dan analisis ekonomi untuk pembangkit hybrid surya dan angin dengan menggunakan metode *Differential Evolution* (DE), dan diperoleh hasil jumlah ACS (*Annualized cost of sistem*) yang rendah [6]. Dari beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa metode optimasi tertentu dapat digunakan untuk meminimalkan biaya dan atau memaksimalkan energi yang dibangkitkan. Diantara biaya-biaya tersebut terdapat biaya modal awal (*capital cost*) yang menjadi fungsi tujuan pada penelitian ini, *capital cost* itu sendiri adalah modal awal setiap komponen yang dibutuhkan selama masa proyek, yang biasanya digunakan untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan [8]. Ada beberapa kesenjangan, kekhawatiran dan masalah dalam metode optimasi berbasis swarm sebelumnya, misalnya algoritma *poor and rich algorithm* (PRO) yang disajikan, dirancang, dan di konfigurasi untuk bekerja dengan baik hanya pada beberapa fungsi pengujian sederhana dan lama sementara gagal menyelesaikan fungsi pengujian yang kompleks (misalnya CEC2017). *The harris hawk optimization* (HHO) hanya berfokus pada pemecahan masalah sederhana, lama, berdimensi tinggi, namun berkinerja buruk pada masalah kompleks. Sementara algoritma terkenal seperti *the gray wolf optimization* (GWO), *the whale optimization algorithm* (WOA), dan *the moth-flame optimization* (MFO) memiliki struktur yang sama dan satu-satunya perbedaan adalah pada rentang pencarian [9].

Persoalan-persoalan optimasi diatas memunculkan pertanyaan apa yang dibutuhkan untuk menawarkan dan menghadirkan algoritma baru. Kinerja rata-rata pengoptimalan hampir sama. Jadi ada banyak masalah yang masih belum terselesaikan dengan baik, terlepas dari algoritma populer, dan menawarkan algoritma baru yang dapat menyelesaikan masalah tersebut. Teori ini menjadi

motivasi terciptanya algoritma baru yang disebut *Wild Horse Optimization* (WHO) [9].

Metode WHO atau *Wild Horse Optimization* adalah metode optimasi algoritma berbasis populasi terbaru yang terinspirasi oleh perilaku organisasi social kuda liar [10]. Kuda liar adalah spesies dari *genus Equus* yang termasuk sebagai sub species kuda peliharaan modern juga sebagai kuda liar Eropa yang tidak dijinakkan dan juga kuda *Przewalski* yang terancam punah [11]. WHO memiliki kelebihan diantaranya kemampuan optimasi yang kuat, kompleksitas waktu yang rendah, kesederhaan, kemudahan penggunaan, serta hasil yang efektif dan efisien [9] [12]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Iraj Narue dkk, mereka melakukan beberapa set pengujian klasik dan fungsi pengujian kompleks (CEC2017) dengan menggunakan delapan algoritma terkenal atau baru untuk membuktikan hasil. Delapan algoritma itu yakni *particle swarm algorithm* (PSO), *genetic algorithm* (GA), *Levy flight distribution* (LFD), *tunicate swarm algorithm* (TSA), *gray wolf algorithm* (GWO), *the salp swarm algorithm* (SSA), *artificial electricity field algorithm* (AEFA), dan *multi-verse optimization* (MVO). Pada penelitian ini kami akan menampilkan hasil fungsi pengujian kompleks (CEC2017) yang dilakukan oleh penelitian Iraj Narue dkk yang mencakup 30 fungsi uji unimodal, multimodal, hybrid dan komposisi. Dimensi semua fungsi dianggap 10. Setiap metode diuji 30 kali dengan 1000 iterasi dan maksimum 60.000 evaluasi fungsi angka. Dari hasil penelitian Irej Narue dkk, bahwa algoritma yang diusulkan (WHO) menempati urutan pertama dalam menyelesaikan masalah unimodal dan multimodal, dan algoritma yang diusulkan (WHO) mampu menemukan nilai optimal global terdekat [9]. Dengan alasan dan hasil yang telah ditunjukkan pada penelitian tersebut, maka penulis berkesimpulan akan menggunakan metode WHO ini untuk penelitiannya yakni melakukan optimasi terhadap pembangkit hybrid surya-angin-baterai.

Akademi Teknik Soroako (ATS) adalah salah satu perguruan tinggi vokasi yang terletak di Luwu Timur, Sulsel. Seperti yang kita ketahui bersama bahwa perguruan tinggi vokasi merupakan perguruan tinggi yang memiliki karakteristik pendidikan dengan menggabungkan fungsi pendidikan dan pelatihan. Pendidikan vokasi memiliki peluang untuk mengembangkan manusia seutuhnya dengan landasan teoritis dan basis akademik yang mencukupi, dan pada saat bersamaan

mengembangkan kemampuan (kompetensi) bekerja sesuai standart kompetensi yang di tetapkan [13]. Dalam perjalanannya ATS memperoleh dukungan penuh dari PT. Vale, sebuah perusahaan besar yang bergerak dibidang pengolahan nickel, termasuk pula penyediaan energi listrik untuk kebutuhan praktikumnya. Dewan pembina sekaligus perwakilan management PT. Vale pada wisuda ke XXIV ATS, selasa 2017, menyatakan bahwa mulai tahun 2017 PT. Vale akan berupaya untuk mendorong kemandirian ATS dalam waktu lima tahun ke depan [14] termasuk untuk penyediaan energinya. Hal inilah yang mendasari peneliti untuk melakukan rencana penyediaan energi alternative yang memang belum ada pada kampus tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi *sizing* perancangan pembangkit listrik tenaga hybrid (surya, angin dan baterai) untuk meminimalkan capital cost dengan metode optimasi WHO. Data beban real akan diambil pada kampus Akademi Teknik Sorowako, dimana kampus ini belum memiliki sumber energi alternatif untuk keperluan praktikumnya, yang merupakan rencana energi masa depan. Data iradiasi matahari, kecepatan angin pada lokasi penelitian diambil dari website NASA dan BMKG.

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang optimasi *sizing* system pembangkit listrik tenaga hybrid (surya dan angin) dengan menggunakan metode optimasi WHO?
2. Bagaimana efisiensi hasil penggunaan metode baru (WHO) dibanding dengan metode lain? (dalam penelitian ini metode WHO di bandingkan dengan aplikasi HOMER).

## **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Merancang model optimasi system hybrid baru dengan menggunakan metode WHO (*Wild Horse Optimization*) sebagai sumber energi alternatif yang belum ada untuk praktikum pada kampus ATS.
2. Menganalisis efesiensi dari system metode baru (WHO) dibandingkan system lainnya (HOMER).



#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dalam hal ini energi surya dan energi angin dan meminimalkan penggunaan energi fosil.
2. Memperoleh optimasi konfigurasi system baru dalam hal ini penerapan WHO dibanding system lainnya.
3. Bagi institusi (ATS) akan memperoleh referensi alternatif penyediaan energi untuk praktikum pada kampus tersebut.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yakni:

1. Jenis pembangkit yang digunakan adalah pembangkit tenaga surya dan pembangkit tenaga angin (*Hybrid*).
2. Beban yang digunakan adalah kebutuhan praktikum di bengkel A, ATS.
3. Data radiasi matahari dan data potensi angin di ambil dari website NASA dan BMKG.
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB.
5. Hasil simulasi metode WHO akan dibandingkan dengan hasil simulasi metode PSO dan HOMER.

#### **1.6. Novelty dan Kontribusi**

Penelitian ini memiliki beberapa kontribusi yaitu:

1. Merancang model optimasi system hybrid baru dengan menggunakan metode WHO (*While Horse Optimization*) di kampus vokasi ATS yang merupakan sumber energi alternatif yang belum ada pada kampus tersebut dan menggunakan metode WHO yang belum pernah digunakan untuk optimal *sizing* system hybrid PV-wind.
2. Menilai/menganalisis system yang diusulkan dengan menggunakan profil beban yang real, harga komponen dan sumber daya yang sebenarnya.

3. Membandingkan efisiensi system baru ini dengan system lainnya (*HOMER*)

### 1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini terdiri dari 5 bab yang masing-masing terdiri dari sub-bab dengan sistematika sebagai berikut:

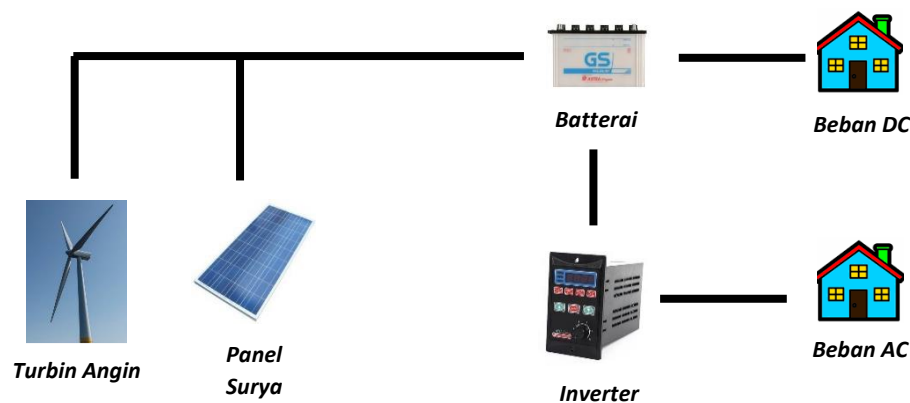
- a. **Bab I Pendahuluan:** menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan masalah pada penelitian ini.
- b. **Bab II Tinjauan Pustaka:** menguraikan dan membahas teori dan konsep yang relevan dengan permasalahan yang diteliti dan penelitian terdahulu.
- c. **Bab III Metode Penelitian:** menguraikan tentang metode yang digunakan baik yang berhubungan dengan teknik pengumpulan data sampai dengan teknik analisis data dan informasi yang digunakan.
- d. **Bab IV Hasil dan Pembahasan:** menguraikan hasil simulasi berdasarkan pemodelan yang dibuat dan membandingkannya atau memverifikasinya dengan metode lain, penelitian ini menggunakan aplikasi HOMER sebagai pembanding.
- e. **Bab V Kesimpulan dan Saran:** bab ini menjelaskan kesimpulan penelitian dan memberikan saran yang dapat dilakukan pada penelitian berikutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Untuk meminimalkan penggunaan listrik PLN, dan memaksimalkan penggunaan energi terbarukan, maka system hybrida di terapkan. Pembangkit listrik hybrida yaitu menggabungkan dua atau lebih jenis pembangkit listrik yang berbeda. Tujuannya adalah agar masing-masing pembangkit dapat menutupi kelemahan masing-masing system sehingga diperoleh efisiensi ekonomi.

Pembangkit listrik energi terbarukan yang paling banyak dikembangkan saat ini adalah PLTS dan PLTB. Disamping memiliki kelebihan, kedua jenis pembangkit ini juga memiliki kelemahan masing-masing sehingga kontribusi daya yang diberikan tidak menetap. PLTS hanya bisa memperoleh energi di waktu tertentu saja yaitu disiang hari ketika cuaca cerah sedangkan PLTB memiliki ketersediaan energi yang tidak menentu tergantung dari kecepatan angin. Sehingga jika kedua pembangkit ini digabungkan maka akan memperoleh sumber energi yang maksimal. Berikut gambar skema dari PLTH.



**Gambar 1.** Skema pembangkit listrik hybrid

## ***2.2. State of the art***

Berikut merupakan beberapa penelitian terkait studi tentang pembangkit energi terbarukan dan system hybrid beserta penggunaannya yang di rangkum ke dalam *state of the art*.

**Tabel 1.** State of the art

Nama Peneliti	Judul	Identifikasi Masalah	Tujuan	Metode	Hasil yang dicapai
B.G.D. Wicaksono, D.H. Arthono, A.I. Malakani, A. Purwadi	<i>Study and design of an off-grid hybrid system for administrative load at Amaru Village, Asmat, Papua [7].</i>	Papua salah satu provinsi di Indonesia yang baru memiliki 57,03% daerah yang telah dialiri arus listrik. Desa Amaru memiliki rasio elektrifikasi 0%.	Makalah ini bertujuan untuk membangun pembangkit listrik off-grid dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan yang tersedia pada desa Amaru.	Merancang system PV-Generator dan battery Storage dengan mengumpulkan data potensi energi surya dari NASA, menghitung beban gedung administrasi yang diambil dari survei Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. Data dikelola dengan menggunakan Homer dan hasil dari Homer didesain ulang secara identic di MATLAB dengan lebih teknis. Algoritma P&O	System menunjukkan bukti yang layak karena nilai LCOE dan NPC-nya berturut-turut adalah Rp 5.127 dan Rp 465.784.400 paling murah dibandingkan degan system lain. System diasumsikan berumur 25 tahun dengan RF 89.1% yang berarti bahwa system ramah terhadap lingkungan.

				( <i>perturbation &amp; observation</i> ) juga di terapkan untuk menentukan titik daya maksimum (MPPT).	
N. Winanti, A. Purwaadi	<i>Study and Design of Distributed Hybrid PV-Generator-Battery System for Communal and Administrative Load at Sei Bening Village , Sajingan Besar , Indonesia Comunal Load Profile [15]</i>	Banyaknya pulau dan wilayah di Indonesia maka menyebabkan ketidak seimbangan rasio elektrifikasi, termasuk di daerah perbatasan Sei Bening. Pola distribusi rumah di desa Sei Bening tersebar sehingga pembangkit	Tujuan dari penelitian ini akan membahas tentang perbandingan antara system PTS-Generator-batery hybrid terpusat dan terdistribusi di Sei Bening	Perancangan system pembangkit ditentukan oleh kebutuhan listrik di lokasi tersebut yang di ambil dari survei kemntrian energi dan sumber daya mineral dan juga potensi energi matahari yang dikumpulkan dari NASA. Semua data dikumpulkan dan di olah menggunakan software Homer Pro. Simulasi akan membandingkan system terpusat dan metode terdistribusi. Selain itu	Hasil yang diperoleh bahwa system PLTS-Generator-baterai hybrid terdistribusi lebih cocok dan aplikatif untuk wilayah penelitian karena terdapat selisih sekitar 186 juta dengan PLTS-Generator-baterai hybrid terpusat. Dan tidak ada perbedaan yang berarti antara analisis dengan menggunakan Homer Pro dan PvSyst.

		listrik terpusat tenga surya akan memakan biaya yang besar.		system juga di analisis menggunakan PvSyst yakni software untuk menganalisis system PLTS	
G.N.Sava, G. Ionescu, H. Necula, M. Scripcariu, M.Q. Duong, S.L.M. Mussetta	<i>Efficiency Analysis of a Hybrid Power System for a Campus in Romania</i> [16]	Pedoman kinerja energi bangunan 2010/31/EU menetapkan kondisi untuk menerapkan bagunan hampir nol energi yakni mendefenisikan jenis bangunan harus mencakup kekhasan lokal tertentu	Tujuan dari makalah ini adalah menentukan studi kasus spesifik konfigurasi system independen yang optimal untuk mencapai tagihan energi rendah yang mengintegrasikan sumber terbarukan untuk menghasilkan energi yang mencakup permintaan beban dalam konteks persyaratan komisi Eropa untuk membangun	Data kebutuhan total beban listrik Gedung untuk mahasiswa kampus universitas POLITEHNICA Bucharest disajikan, data surya di kumpulan dari laboratorium di univ. Bucharest, begitu pula dengan sumber utama biomassa yang dianggap sampah organic yang dikumpulkan. Dan berdasarkan data yang dikumpulkan untuk kecepatan angin, radiasi	Dengan menggunakan aplikasi Homer Pro mereka mendesain system hybrid yang optimal terdiri dari modul PV 50 kW dan converter 50 kW, baterai penyimpanan 1 kW dan generator biogass 110 kW. System ini menyediakan kebutuhan energi awal sekitar 60% dari biomassa, 25 % dari panel PV, dan 15% dari grid. Tujuannya adalah untuk mengurangi

			peningkatan efisiensi energi.	matahari, profil beban, lokasi dan karakteristik iklim, model system hybrid diimplementasikan dalam perangkat lunak Homer	ketergantungan pada satu sumber energi saja.
M. Abujabbeh, V.T. Marazanye, Z. Qadir, M. Fahrioglu, C. Batunlu	<i>Techno-Economic Feasibility Analysis of Grid-Tied PV-Wind Hybrid System to Meet a Typical Household Demand: Case Study – Amman, Jordan</i> [17]	Di Yordania terjadi peningkatan populasi sebesar 8% pada tahun 2017 yang diakibatkan pergerakan pengungsi dari Irak dan Suriah. Permintaan energipun bertambah sementara negara	Mengimplementasikan system PV-angin yang terhubung ke jaringan untuk memenuhi permintaan energi rumah tangga biasa. System akan di evaluasi sesuai dengan parameter teknis dan ekonomi.	Efektivitas system hybrid yang diusulkan dalam pemenuhan kebutuhan energi rumah tangga dan penyediaan profitabilitas ekonomi yang signifikan, dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak <i>RETScreen</i> yang dikembangkan oleh pemerintah Kanada untuk pengelolaan energi terbarukan	Hasil analisis system hybrid PV dan energi angin LCOE 0,159 \$/kWh dengan <i>Payback Period</i> (PBP) selama 6,4 tahun. Sedangkan untuk nilai NPV investasi simulasi menunjukkan nilai \$24.618 dengan IRR 16.3% yang menunjukkan kelayakan ekonomi dan system hybrid ini. Kelebihan energi dari PV-angin ini di ekspor



		ini sangat bergantung pada impor gas alam dan minyak berat yang mencapai 97% dari total pasokan energi.			ke jaringan nasional yang menghasilkan arus kas tahunan \$2.789
R. Syahputra, I. Soesanti	<i>Renewable energy system based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas : a case study in Yogyakarta, Indonesia</i> [18]	Tenaga listrik untuk provinsi D.I. Yogyakarta merupakan bagian dari system interkoneksi Jawa-Madura-Bali yang mencakup tujuh wilayah dipulau Jawa, Madura	Tujuan dari makalah ini adalah untuk merancang model system pembangkit listrik yang terhubung ke jaringan untuk mendukung radiasi matahari dan penggunaan energi air. Tujuan lainnya adalah untuk mengetahui perkiraan manfaat yang diperoleh dari	Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tiga tahapan utama yaitu studi beban dinamis, studi potensi energi terbarukan, dan desain system. Ketiga tahapan tersebut di fokuskan pada lokasi penelitian di Dusun Semawung, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Prosedur	Dengan menggunakan aplikasi Homer biaya modal dari system pembangkit energi terbarukan dengan kombinasi grid, generator mikrohidro dan generator photovoltaic dengan kapasitas 40 kW tertinggi adalah US\$ 1.515.961. Kapasitas pembangkit listrik tenaga PV

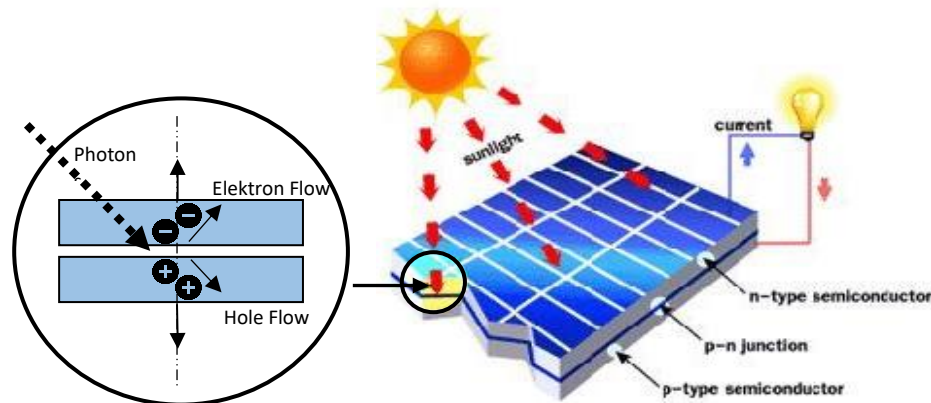
		<p>dan Bali. Ini adalah system tenaga listrik terluas di Indonesia dan mengkomsumsi hampir 80% dari total produksi listrik Indonesia. Yogyakarta sendiri melayani kebutuhan listrik dengan 8 gardu, dengan total kapasitas mencapai 616 MW. Karena peningkatan kapasitas ini</p>	<p>pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan.</p>	<p>Langkah-langkah pengujian dan analisis dalam penelitian ini meliputi perhitungan data beban, pengambilan dan pengukuran debitair, pengambilan data intensitas cahaya matahari. Pemodelannya menggunakan Software Homer Energy LLC, Boulder, Colorado USA. Metode PSO juga diterapkan untuk optimasi perhitungan COE dan NPV.</p>	<p>menentukan nilai biaya investasi yang harus dikeluarkan, semakin besar kapasitasnya maka semakin tinggi pula biaya investasinya. Hal ini dikarenakan dalam penelitian ini kapasitas pembangkit mikrohidro dianggap tetap sebesar 622 kW karena memperhitungkan potensi saluran irigasi yang digunakan sebagai sumber untuk pembangkit mikrohidro. Kelebihan energi dari system ini dapat dijual ke PLN</p>
--	--	--	--	---	---

		maka pemenuhan kebutuhan energi harus diimbangi dengan penambahan sumber energi terbarukan.			melalui sistem distribusi grid
--	--	---	--	--	--------------------------------

### 2.3. Panel Surya

Pembangkit listrik tenaga surya PV adalah system pembangkit listrik yang bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel *fotovoltaik*. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkannya [19]. Jumlah total radiasi yang diterima dipermukaan bumi tergantung dari jarak matahari, dimana radiasi matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses termonuklir yang terjadi di matahari. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik.

Energi surya dapat digunakan secara langsung untuk menghasilkan listrik. Cara paling sederhana adalah dengan mengkonversi energi panas dalam radiasi surya, tetapi listrik juga dapat dihasilkan langsung dari cahaya surya menggunakan perangkat yang di sebut panel surya [20][21]. Berikut adalah gambar panel surya



**Gambar 2.** Panel surya

Panel surya merupakan kumpulan sel surya (solar cell/sel PV) yang dirangkai menjadi panel surya. Panel surya ini berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip photoelektrik. Umumnya sel surya terdiri dari lapisan silikon semikonduktor, metal, anti reflektif, dan strip konduktor metal. Setiap sel surya bisa menghasilkan listrik sekitar 0,5 Volt maka semakin banyak sel surya yang digunakan, maka semakin banyak pula energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik.

Daya yang dibangkitkan dari panel surya sangat tergantung dari jumlah matahari yang mencapai panel surya, semakin tinggi radiasi matahari maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan panel surya sehingga panel surya sangat bekerja efektif pada siang hari. Factor lain yang mempengaruhi kinerja dari panel surya yakni suhu panel surya, jenis bahan pembuat panel surya, kondisi cuaca, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, bayangan, dan kebersihan panel surya. Ada beberapa jenis panel surya yang umumnya dijual dipasaran yakni *Monocrystalline Silicon*, *Polycrystalline*, dan *Thin Film Solar Cell*.

#### **2.4. Turbin Angin**

Angin adalah aliran udara dalam jumlah besar yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Energi matahari yang jatuh kebumi menghasilkan gerakan atmosfer berskala besar, yang menyebabkan perbedaan suhu antara satu tempat dengan tempat lainnya. Proses terjadinya angin selanjutnya adalah akibat perbedaan suhu udara, dimana daerah yang memperoleh sinar matahari lebih banyak akan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Pada daerah bersuhu lebih tinggi, udara bergerak mengembang atau memuai sehingga tekanan udaranya rendah dan begitu pula sebaliknya pada daerah yang suhu udaranya lebih rendah tekanan udaranya lebih tinggi. Perbedaan tekanan udara ini akan mengakibatkan terjadinya Gerakan udara dari daerah yang tekanan udaranya lebih tinggi ke daerah yang tekanan udaranya lebih rendah atau disebut gerakan angin.

Kekuatan angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan atau kecepatan angin, oleh karena itu penting untuk mengetahui pengetahuan rinci tentang angin dan karakteristiknya jika kinerja turbin akan diestimasi secara akurat. Hal yang perlu diketahui kecepatan angin tertinggi pada umumnya ditemukan dipuncak bukit, pantai terbuka, dan di laut. Parameter kecepatan angin juga perlu diketahui antara lain kecepatan angin rata-rata, data arah, variasi rata-rata jangka pendek (hembusan), variasi harian, musiman dan tahunan, serta variasi ketinggian. Parameter ini sangat spesifik dan hanya dapat ditentukan dengan akurasi yang cukup dengan pengukuran di lokasi tertentu selama periode yang cukup lama

Parameter-parameter ini digunakan untuk menilai kinerja dan ekonomi pembangkit listrik tenaga angin [22]. Syarat kecepatan angin menjadi faktor yang mempengaruhi perputaran turbin sehingga kondisi angin sangat menentukan untuk bisa dikonversi menjadi energi listrik, kondisi angin dapat ditunjukkan pada Tabel 2. berikut [23]

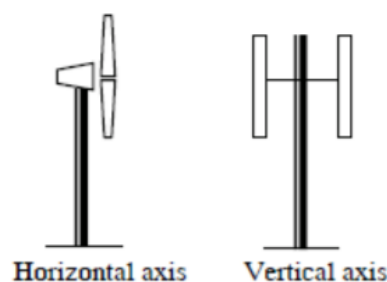
**Tabel 2.** Kecepatan angin berdasarkan keadaan alam

<b>Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan tanah</b>		
<b>Kelas</b>	<b>Kecepatan (m/s)</b>	<b>Kondisi</b>
1	0.00 – 0.02	-
2	0.3 – 1.5	Angin lebih tenang, jika ada asap maka gerakannya lurus ke atas
3	1.6 – 3.3	Pergerakan asap mengikuti arah angin
4	3.4 – 5.4	Wajah dapat merasakan angin, daun-daun bergerak perlahan, alat penunjuk mata angin dapat bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu dijalan dan kertas dapat berterbangan, ranting-ranting pohon bergerak
6	8.7 – 10.7	Bendera pada tiang dapat berkibar-kibar
7	10.8 – 13.8	Air yang terdapat pada kolam akan berombak kecil dan ranting pohon besar bisa bergoyang
8	13.9 – 17.1	Telinga akan merasakan hembusan angin, terjadi lengkungan pada ujung pohon
9	17.2 – 20.7	Ranting pohon dapat patah dan ketika berjalan Langkah menjadi berat ketika melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat merubuhkan rumah dan ranting pohon patah
11	24.5 – 28.4	Pohon dapat tumbang dan dapat mengakibatkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Kerusakan parah dapat terjadi
13	32.7 – 36.9	Menghasilkan angin tornado

Berdasarkan tabel di atas kita dapat melihat dampak kecepatan angin sehingga tidak semua kelas dapat dimanfaatkan untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. Dan saat ini kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan adalah kelas no 3 sampai 8 [23].

Turbin angin atau kincir angin adalah mesin yang merubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik yang nantinya akan memutar generator dan menghasilkan listrik. Turbin angin pertama kali dibuat di Denmark oleh Pour La Cour diabad ke 19 untuk digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah terpencil. Secara sederhana turbin angin memiliki beberapa bagian utama yaitu poros, bilah, tiang penyangga dan generator. Energi kinetik yang dihasilkan oleh angin menabrak bilah turbin angin sehingga menghasilkan putaran pada prososnya. Putaran dari poros inilah yang diteruskan ke generator dan menggerakkannya sehingga menghasilkan listrik.

Berdasarkan arah putarannya, turbin angin dapat di golongan menjadi dua yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal yaitu turbin angin dengan poros rotor utama dan generator listrik yang terletak di puncak Menara dan diarahkan ke arah datangnya angin untuk memperoleh energi angin. Turbin ini memiliki rotor yang rotasinya paralel dengan permukaan tanah. Selanjutnya Turbin Angin Sumbu Vertikal yakni turbin angin yang sumbu rotornya memiliki rotasi lurus dengan permukaan tanah. Turbin ini memiliki keunggulan diantaranya posisinya tidak memerlukan mekanisme tambahan jika arah angin berubah, struktur menaranya tidak perlu besar, model turbin anginnya sederhana, kemungkinan untuk menyimpan komponen mekanik dan elektronik bisa disimpan di dekat permukaan tanah karena turbin ini bisa ditaruh dekat dengan permukaan tanah. Gambar 3 menunjukkan gambar turbin angin Horizontal dan vertical.



**Gambar 3.** Turbin angin horizontal dan vertikal

## 2.5. Baterai

Pembangkit listrik hibrida (PLTS dan PLTB) selain memiliki kelebihan juga mempunyai kelemahan masing-masing sehingga kedua jenis pembangkit ini memberikan kontribusi daya yang tidak menetap. PLTS hanya bisa memperoleh energi di waktu tertentu saja yaitu di siang hari ketika cuaca cerah sedangkan PLTB memiliki ketersediaan energi yang tidak menentu tergantung dari kecepatan angin. Jika PLTH menghasilkan energi listrik yang lebih dari kebutuhan beban maka kelebihan energi tersebut disimpan didalam baterai. Baterai digunakan untuk menyimpan separuh energi yang akan menggantikan PLTH dalam waktu tertentu dan jika diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban yakni ketika sudah tidak ada energi yang dapat dikonversikan menjadi listrik lagi, tentu dengan waktu pengisian dan pengosongan tertentu. Energi yang tersimpan di dalam baterai ini berupa energi listrik DC. Penentuan jumlah penggunaan baterai tergantung pada kebutuhan beban setiap pembangkit, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 berikut [24]

$$N_B = \frac{E_M \times D_{oA}}{V_B \times I_B \times D_{oD}} \quad (1)$$

- Dimana
- $N_B$  = Jumlah Baterai
  - $E_M$  = Beban Total (Wh)
  - DOA = hari otonomi (*day of autonomi*)
  - DOD = *depth of discharge*
  - $V_B$  = Tegangan baterai
  - $I_B$  = Arus baterai

Kebutuhan baterai akan diketahui setelah menentukan besar kapasitas beban yang akan digunakan pada proses praktikum di bengkel A, ATS.

## 2.6. Inverter

Inverter adalah alat yang merubah tegangan DC yang dikeluarkan oleh *battery* menjadi tegangan AC atau sebaliknya yaitu merubah tegangan yang



dikeluarkan generator untuk dilakukan pengisian energi tegangan DC ke *battery* [8].

## 2.7. *Annualized capital cost*

*Annualized capital cost* merupakan modal awal setiap komponen selama masa proyek untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan [8]. *Annualized capital cost* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 berikut :

$$C_{acap} = C_{cap} \times CRF(i, R_{proj}) \quad (2)$$

Dimana:

- $C_{cap}$  = biaya awal komponen
- CRF = faktor pemulihan modal
- $i$  = tingkat bunga
- $R_{proj}$  = umur proyek

## 2.8. **WHO (Wild Horse Optimization)**

WHO atau *Wild Horse Optimization* merupakan teknik pengoptimalan yang secara matematis mensimulasikan dan menduplikasi perilaku kehidupan sosial kuda-kuda liar [25]. Pola perilaku sosial kuda liar ini meliputi ikatan dan pengembalaan, perilaku kawin, hirarki kepemimpinan, dan dominasi [10].

Kuda hidup dalam kelompok yang dianggap keluarga. Sebuah kelompok keluarga berisi usia yang berbeda seperti kuda jantan, kuda betina dan keturunan. Kelompok lain, yang disebut kelompok tunggal berisi kuda jantan dan dewasa. Dalam kelompok keluarga, kuda jantan dan kuda betina tetap dekat satu sama lain untuk memungkinkan komunikasi dan anak kuda merumpuk didekatnya sampai mereka sedikit lebih besar. Ketika anak kuda tumbuh, mereka meninggalkan keluarga mereka dan bergabung dengan kelompok tunggal untuk membangun keluarga baru. Anak kuda jantan dan betina dari satu keluarga bergabung dengan kelompok tunggal yang berbeda. Perilaku ini untuk mencegah ayah kawin dengan anak [10].

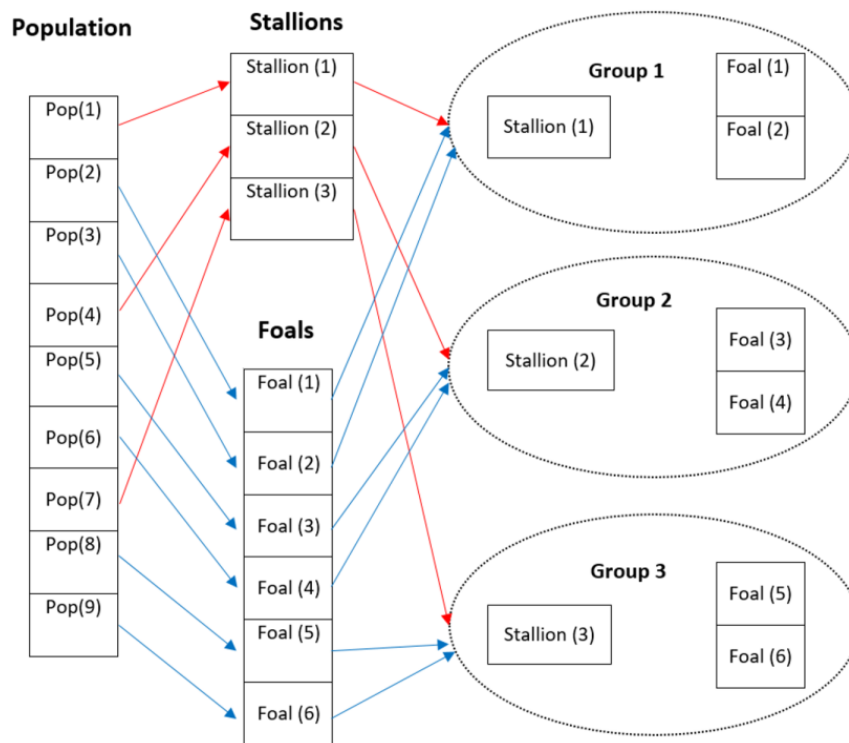
Langkah-langkah WHO di jelaskan sebagai berikut [9]:

1. Membuat populasi awal dan membentuk kelompok kuda dan memilih pemimpin
2. Perkawinan dan penggembalaan kuda
3. Kepemimpinan kelompok (kuda jantan)
4. Memilih pemimpin dan melakukan pertukaran
5. Memperoleh solusi terbaik

Berikut penjelasan dari langkah-langkah WHO

#### 1. Membuat populasi awal/Inisialisasi Masalah

Kerangka dasar dari semua algoritma optimasi adalah sama yaitu membentuk sebuah populasi acak awal. Pada fase ini, solusi acak untuk masalah dibuat berdasarkan jumlah populasi. Solusi terbaik dievaluasi dengan memilih solusi yang paling mungkin terlebih dahulu, kemudian memperbaruinya dengan algoritma. Jumlah kelompok ini dianggap sebagai  $G = [N \times PS]$ , dimana  $G$  adalah nomor kelompok,  $N$  adalah jumlah populasi kuda, dan  $PS$  adalah persentase kuda jantan dari total populasi.



**Gambar 4.** Pembentukan kelompok dari populasi asli

2. Perilaku pengembalaan Kuda

Fase ini menggambarkan pengembalaan anak kuda dalam keluarganya. Kuda jantan berada ditengah dan dikelilingi oleh anak kuda (X). Posisi baru anggota kelompok dapat dituliskan dengan persamaan:

$$X_{i,G}^j = 2Z \cos(2\pi RZ) x Stallion^j - X_{i,G}^j + Stallion^j \quad (3)$$

Dimana Z adalah mekanisme adaptif, R adalah nilai acak dan nilai rentang (-2,2). TDR adalah parameter adaptif yang diinisialisasi dengan 1 dan menurun berdasarkan persamaan sedangkan maxiter adalah jumlah maksimum iterasi yang dipilih.

$$P = R_1 < TDR; IDX = (P = 0); Z = R_2 IDX + R_3 (\sim IDX) \quad (4)$$

$$TDR = 1 - iter \times \left(\frac{1}{Maxiter}\right) \quad (5)$$

3. Perilaku kawin kuda

Fase ini menggambarkan perilaku anak kuda ketika mereka meninggalkan keluarga mereka dan bergabung dengan kelompok tunggal. Dapat dijelaskan oleh persamaan berikut :

$$X_{G,k}^p = \text{Crossover}(X_{G,i}^q, X_{G,j}^z) \quad i \neq j \neq k, p = q = \text{endCrossover} = \text{mean} \quad (6)$$

4. Kepemimpinan kelompok

Fase ini menggambarkan pergerakan kelompok oleh pemimpinnya ke ruang-ruang tertentu. Dapat di jelaskan dengan persamaan berikut

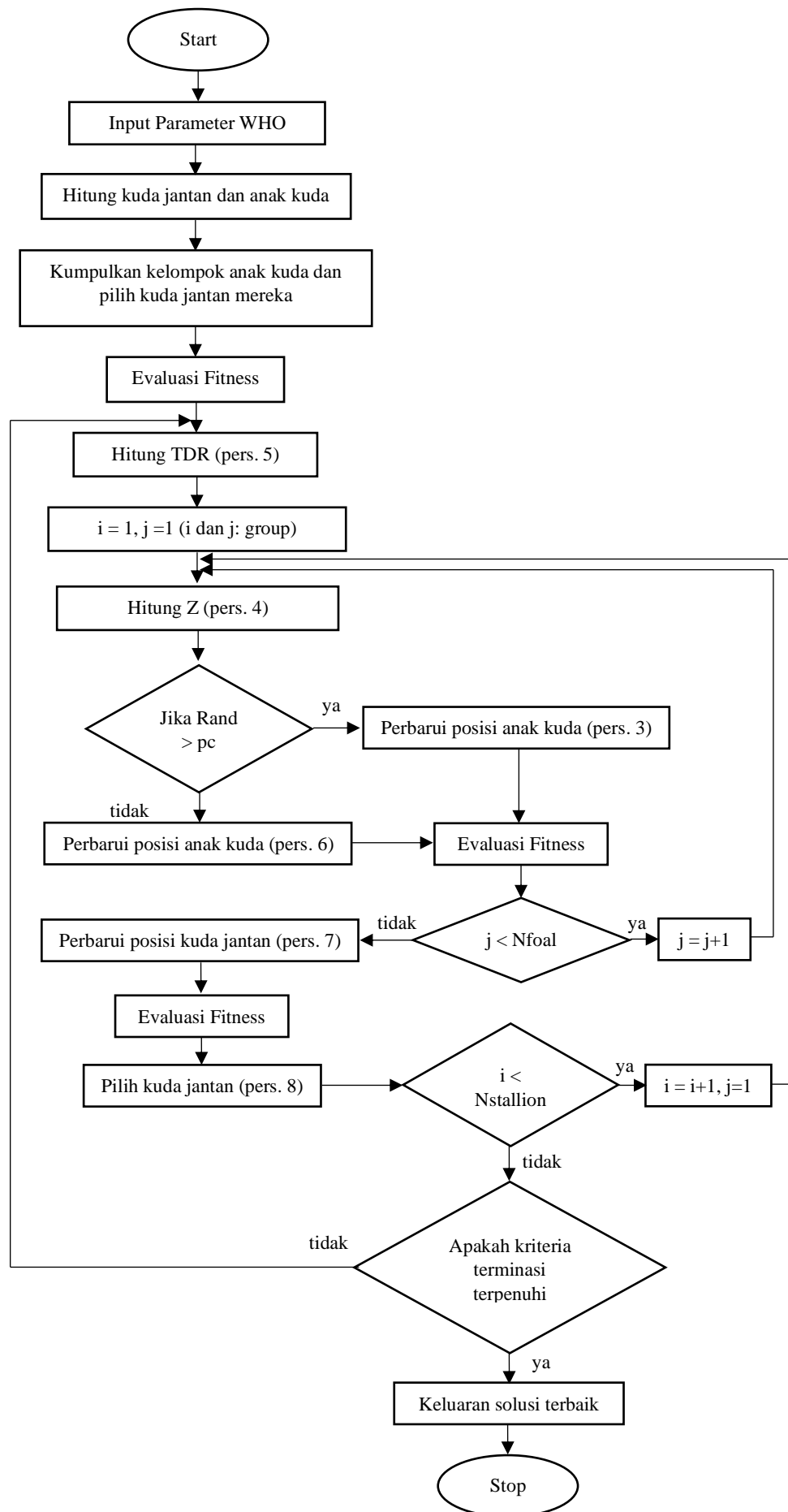
$$Stallion_{Gi} = \{2Z \cos(2\pi RZ) x (WH - Stallion_{Gi}) + WH \text{ if } R_3 > 0.5\}$$

$$Stallion_{Gi} = \{2Z \cos(2\pi RZ) x (WH - Stallion_{Gi}) - WH \text{ if } R_3 \leq 0.5\} \quad (7)$$

5. Memilih dan bertukar pimpinan

Fase ini menggambarkan pemilihan pemimpin kelompok. Ketua kelompok di pilih secara acak dengan persamaan

$$\begin{aligned} Stallion_{Gi} &= X_{G,i} \text{ if } \cos t(X_{G,i}) < \cos t(Stallion_{Gi}) \\ Stallion_{Gi} &= Stallion_{Gi} \text{ if } \cos t(X_{G,i}) > \cos t(Stallion_{Gi}) \end{aligned} \quad (8)$$



**Gambar 5.** Diagram alir WHO