



Optimasi Pembangkit Hybrid Energi Terbarukan Pada Kampus Vokasi ATS Menggunakan Metode *Wild Horse Optimization* (WHO)

Marliani ^{1*}, Muhammad Naim ², dan Abdul Tahir ³

¹ Akademi Teknik Soroako; Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan; marliani@ats-sorowako.ac.id

² Akademi Teknik Soroako; Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan; mnam@ats-sorowako.ac.id

³ Akademi Teknik Soroako; Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan; abdultahir@ats-sorowako.ac.id

* Corresponding Author : Marliani

Abstract: The use of renewable energy sources has become widespread throughout the world as a step to reduce dependence on fossil energy. Hybrid electric power systems that use renewable energy as their base have been adopted as a solution to produce energy efficiently. In this paper, the hybrid system discussed is hybrid PV, wind turbine and battery storage. This hybrid design system is very dependent on the load profile, potential energy sources, and geographical location of the research location. This research discusses the technical design and capital costs of a hybrid electric power system which will be implemented as a practicum alternative energy source on the ATS campus, Sorowako. Irradiance, temperature, average wind speed and component sizing are the main parameters discussed. Design technical and economic analysis (capital cost) using MATLAB software with the wild horse optimization (WHO) algorithm. The results of the WHO analysis will be compared with the analysis of a common optimization method, namely PSO. And the results obtained from the WHO and PSO analyzes are not much different, but the WHO analysis reaches its convergence value faster, namely in the 20th iteration, while the PSO analysis reaches its convergence value in the 40th iteration. The capital cost value obtained by the WHO analysis is \$ 198,363.05 with a total of 772 PV units, a total of 1 unit of WT, and a total of 54 batteries.

Keywords: Hybrid system; Renewable energy MATLAB; Wild horse optimization (WHO).

Abstrak: Penggunaan sumber energi terbarukan telah tersebar luas di seluruh dunia sebagai langkah untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Sistem tenaga listrik hibrida yang menggunakan energi terbarukan sebagai basisnya telah diadopsi sebagai solusi untuk menghasilkan energi secara efisien. Dalam tulisan ini, sistem 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: *System hybrid*; Energi terbarukan MATLAB; *Wild horse optimization* (WHO).

Received: 24 April 2025

Revised: 6 May 2025

Accepted: 25 June 2025

Published: 28 June 2025

Curr. Ver.: 28 June 2025



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Indonesia menargetkan bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23%, dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%, yang sesuai dengan PP no 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Total potensi energi terbarukan ekuivalen 442 GW digunakan untuk pembangkit listrik. Sedangkan yang baru digunakan pada tahun 2018 sebesar 8,8 GW atau 14% dari kapasitas pembangkit listrik (fossil dan non fossil) yaitu sebesar 64,5 GW [1].

Salah satu energi terbarukan yang paling menjanjikan di Indonesia adalah energi surya dimana potensi energi surya ini berkisar 4,8 kWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang baru dimanfaatkan sekitar 10 MWp [2]. Disamping ketersediaannya yang begitu banyak, system photovoltaik (PV) energi surya juga menawarkan system energi bersih [3]. Potensi energi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan sebagai berikut : Indonesia bagian timur sekitar 5,1 kWh/m²/hari dan Indonesia bagian barat sekitar 4,5 kWh/m²/hari [4]. Dengan kondisi tersebut maka energi surya di Indonesia sangat layak gunakan sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk penyediaan energi listrik. Begitu pula dengan energi angin, tercatat Indonesia mempunyai potensi angin sebesar 75 GW, kapasitas terpasang optimum adalah 25 MW, sedangkan kapasitas terpasang sampai saat ini adalah baru mencapai 0,6 MW [5]. Menurut skala pemanfaatan energi angin di Indonesia dikelompokkan menjadi skala kecil, menengah, dan besar seperti pada tabel di bawah ini [5].

Tabel 1. Plot kecepatan angin rata-rata

Kelas	Kapasitas (kW)	Daya Spesifik (W/m ²)	Kecepatan angin (m/s)	Lokasi
Skala Kecil	s/d 10	<75	2,5 - 4,0	Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi, Pantai Barat sumatra
Skala menengah	10 - 100	75 - 150	4,0 – 5,0	NTB, NTT, Sulsel, Sultra, Sulut, Jatim
Skala besar	>100	>150	>5,0	Sulsel, NTB, NTT, pantai selatan Jawa

Pemanfaatan pengembangan kedua potensi energi terbarukan ini sangat tergantung dari kondisi geografis atau kondisi alam karena sifatnya yang intermittent. Maka beberapa penelitian merancang energy hybrid 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 akan memperoleh sumber energi yang maksimal.

Banyak studi telah dilakukan yang mengeksplorasi optimalisasi dimensi pembangkit listrik hibrida yang menggunakan kombinasi energi PV-Wind, seperti Motaz Amer, dkk [6]. Pada penelitian ini, mereka melakukan optimasi untuk meminimalkan cost (biaya) dengan menggunakan algoritma PSO, dan didapatkanlah 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 dikatakan lemah dalam mencari global optimal [7][8].

Bernardus Galih Wicaksono, dkk juga melakukan penelitian dengan merancang sistem PV-Generator-Baterai di desa Amaru, Asmat Papua. Mereka 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 [9]. 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 [8].

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa metode optimasi khusus dapat diterapkan untuk mengurangi biaya atau meningkatkan produksi energi dalam pembangkit listrik. Salah satu biaya yang diambil menjadi fokus dalam penelitian ini adalah biaya modal awal, yang merupakan investasi awal untuk semua komponen yang diperlukan selama proyek berlangsung. Biasanya, biaya modal awal ini digunakan untuk menghitung biaya modal tahunan perusahaan [10]. 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 [11]. 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) [11].

Metode WHO atau Wild Horse Optimization adalah algoritma optimasi terbaru berbasis populasi yang terinspirasi oleh perilaku organisasi sosial kuda liar [12]. Kuda liar adalah spesies dari genus *Equus* yang mencakup subspecies kuda peliharaan modern, kuda liar Eropa yang belum dijinakkan, serta kuda Przewalski yang terancam punah [13]. WHO memiliki sejumlah kelebihan, termasuk kemampuan optimasi yang kuat, kompleksitas waktu yang rendah, kesederhanaan, kemudahan penggunaan, serta hasil yang efektif dan efisien. [11][14]. 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), salp swarm algorithm (SSA), artificial electrucity field algorithm (AEFA), dan multi-verse optimization (MVO). 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. 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-baterei.

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 [15]. 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 [16] 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.

2. Kajian Pustaka atau Penelitian Terkait

2.1. Energi Terbarukan dan Pembangkit Hybrid

Permintaan energi yang terus meningkat serta kesadaran akan pentingnya keberlanjutan lingkungan telah mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan seperti energi surya (PLTS), angin (PLTB), dan biomassa. Namun, karakteristik intermiten dari sumber energi ini menuntut adanya sistem pembangkit hybrid yang menggabungkan dua atau lebih sumber untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem.

Beberapa studi (Misra et al., 2020; Dursun & Alboyaci, 2019) telah menunjukkan bahwa sistem hybrid yang terdiri dari panel surya dan turbin angin memberikan performa yang lebih stabil, terutama di wilayah dengan fluktuasi radiasi matahari dan kecepatan angin. Pemilihan konfigurasi sistem yang optimal menjadi kunci dalam implementasi pembangkit hybrid di lingkungan terbatas seperti kampus vokasi.

2.2. Optimalisasi Sistem Energi Terbarukan

Optimasi dalam sistem pembangkit energi terbarukan diperlukan untuk meminimalkan biaya (cost), emisi karbon, dan ketergantungan pada energi fosil, sambil memaksimalkan ketersediaan dan kontinuitas pasokan energi. Parameter-parameter yang umumnya dioptimalkan meliputi kapasitas modul PV, kapasitas baterai, ukuran inverter, dan jadwal operasional sistem.

Pendekatan algoritma metaheuristik telah banyak digunakan untuk masalah ini karena kemampuannya dalam menangani masalah optimasi non-linear, multivariabel, dan kompleks. Beberapa metode yang sering digunakan termasuk Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), dan Ant Colony Optimization (ACO) (Bala & Siddiqui, 2018).

2.3. Metode *Wild Horse Optimization* (WHO)

Wild Horse Optimization (WHO) merupakan algoritma metaheuristik baru yang terinspirasi dari perilaku sosial dan dinamika gerakan kuda liar di alam. Algoritma ini dikembangkan oleh Kaveh dan Ghazaan (2022) dan telah terbukti memiliki kemampuan eksplorasi dan eksploitasi yang seimbang, sehingga efektif dalam menghindari jebakan lokal minimum dalam pencarian solusi optimal.

WHO bekerja dengan prinsip pembentukan kelompok (herd), di mana individu (solusi) mengikuti strategi berbeda seperti bergerak acak, mengikuti pemimpin, atau menjelajah area baru. Dalam konteks optimasi pembangkit hybrid, WHO dapat digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem yang paling efisien secara energi dan biaya, dengan mempertimbangkan variabel cuaca, pola konsumsi energi, dan biaya investasi.

2.4. Implementasi WHO pada Sistem Energi

Meskipun WHO merupakan algoritma yang relatif baru, beberapa penelitian telah mulai mengimplementasikannya dalam permasalahan teknik, termasuk pengaturan beban, penjadwalan produksi, dan optimasi desain sistem energi. Hasil-hasil awal menunjukkan bahwa WHO memiliki performa yang kompetitif, bahkan melampaui beberapa algoritma populer dalam hal kecepatan konvergensi dan kualitas solusi (Rahman et al., 2023).

Namun, penerapan WHO secara spesifik untuk optimasi sistem pembangkit hybrid energi terbarukan di kawasan kampus atau skala mikrogrid masih sangat terbatas, sehingga penelitian ini diharapkan dapat mengisi celah literatur dan menjadi kontribusi ilmiah yang signifikan.

2.5. Kampus Sebagai Lokasi Implementasi Sistem Energi Hybrid

Kampus merupakan lingkungan ideal untuk implementasi sistem energi hybrid karena memiliki pola konsumsi energi yang terprediksi, luas area yang cukup untuk instalasi PV dan turbin angin, serta potensi menjadi laboratorium hidup (living lab) untuk pengembangan teknologi energi terbarukan. Studi seperti oleh Wahyudi et al. (2021) menunjukkan bahwa kampus vokasi di Indonesia memiliki potensi besar dalam mendukung transisi energi bersih.

Bagian ini harus memuat penjelasan mengenai perkembangan terkini (state-of-the-art). Penjelasan dapat disajikan dalam beberapa cara. Pertama, Anda dapat membahas beberapa penelitian terkait, baik yang berkaitan dengan objek, metode, maupun hasilnya. Dari pembahasan tersebut, Anda dapat mengidentifikasi serta menekankan kesenjangan atau perbedaan antara penelitian Anda dengan penelitian sebelumnya. Cara kedua adalah dengan menggabungkan teori dengan literatur terkait, kemudian menjelaskan setiap teori dalam subbab tersendiri.

3. Metode yang Diusulkan

Desain atau perancangan pembangkit hybrid (surya-angin) *offgrid* ditentukan oleh kebutuhan listrik serta potensi energi surya dan angin di lokasi tersebut. Data sumber energi surya dan angin dapat diperoleh melalui website NASA dan BMKG, sementara kebutuhan listrik dihitung dari gedung praktikum bengkel A di kampus Akademi Teknik Sorowako (ATS) dengan melakukan survei langsung ke lapangan dan meminta informasi dari pengelola, dalam hal ini adalah program studi terkait. Semua data yang dikumpulkan akan digunakan untuk menghitung biaya modal sedangkan sistem menggunakan MATLAB dengan metode optimasi WHO. Hasil simulasi ini akan dibandingkan dengan metode optimasi yang umum, yaitu PSO.

3.1. Site Definition

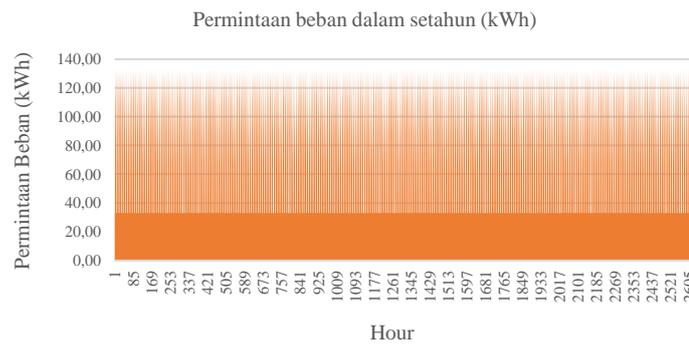
Penelitian ini dilaksanakan di kampus Akademi Teknik Sorowako (ATS), yang terletak di kota Sorowako, kecamatan Nuha, kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Lokasinya berada pada koordinat $2^{\circ}18'00''$ - $2^{\circ}39'00''$ Lintang Selatan dan $121^{\circ}3'00''$ - $121^{\circ}34'30''$ Bujur Timur, dengan luas wilayah sebesar 808,27 km² [17]. ATS dipilih sebagai lokasi penelitian karena kampus tersebut belum memiliki rancangan penyediaan energi alternatif. Gambar 1. menunjukkan lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2. Load Profile

Permintaan beban yang digunakan atau yang dipakai pada penelitian ini yaitu permintaan beban praktikum pada bengkel A, ATS, yang dimulai pada pukul 07.00 sampai pukul 15.30 (jam kerja) dengan asumsi pemakaian harian selama 6 jam. Karakteristik beban yang digunakan memiliki energi harian sebesar 792.48 kWh. Gambar 2 menunjukkan jumlah permintaan beban harian disepanjang tahun 2021 dengan mengacu pada jadwal praktikum pada kampus tersebut. Data beban tersebut di ambil dengan melakukan observasi langsung kelapangan dan melakukan wawancara dengan penanggung jawab kegiatan praktikum (dalam hal ini adalah PRODI) dan sekaligus meminta jadwal praktek yang telah disusun dalam tiap semesternya. Jadwal praktek ini menjadi acuan peneliti untuk menghitung beban yang terpakai berdasarkan peralatan praktek yang bekerja di tiap harinya yakni terdiri dari mesin-mesin konvensional dengan 15 jenis mesin (tabel 2) yang beroperasi secara bersamaan.



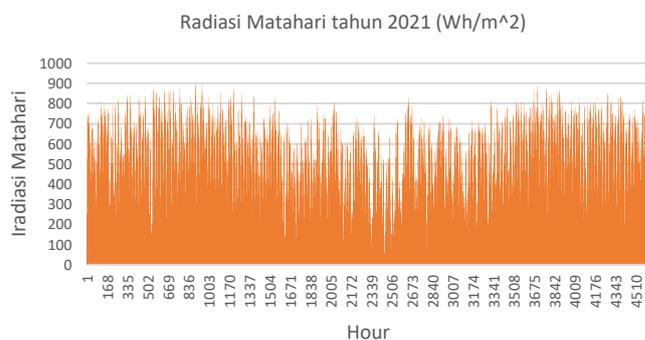
Gambar 2. Kurva permintaan beban tahun 2021

3.3. Sumber Energi Matahari dan Temperatur

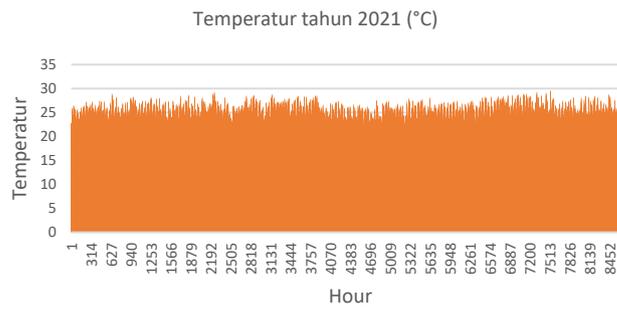
Data potensi energi PLTH (surya dan angin) di ATS, diambil melalui website NASA dan BMKG. Dan berdasarkan data NASA, ATS memiliki rata-rata radiasi matahari harian sebesar 4,21 kWh/m²/day, sedangkan rata-rata iradiasi matahari tahun 2021 sebesar 4,71 kWh/m²/day. Gambar 3 menunjukkan iradiasi matahari sepanjang tahun 2021. Iradiasi yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa range panjang gelombang, mulai dari 3 nm sampai 4 mikron. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (diffuse radiation) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*). Iradiasi merupakan sumber energi bagi sel surya, sehingga keluarannya sangat bergantung oleh besar iradiasi yang ditangkap oleh sel surya. Pengaruh besarnya tingkat intensitas cahaya terhadap besarnya daya yang dihasilkan oleh modul PV dapat dilihat pada gambar 5.

Dari gambar 5 tersebut dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan oleh PV berbanding lurus dengan iradiasi. Isc lebih terpengaruh oleh penurunan iradiasi dari pada Voc. Hal ini sesuai penjelasan bahwa cahaya matahari sebagai paket-paket foton. Pada saat iradiasi tinggi, yaitu pada saat jumlah foton banyak, arus yang dihasilkan juga besar. Sehingga daya yang dihasilkan oleh PV juga semakin besar. Begitu pula sebaliknya sehingga arus yang dihasilkan berbanding lurus terhadap jumlah foton. Iradiasi bukanlah satu-satunya parameter eksternal yang mempengaruhi kura I-V, ada juga pengaruh temperature. Temperature memiliki peranan penting untuk memprediksi karakteristik I-V.

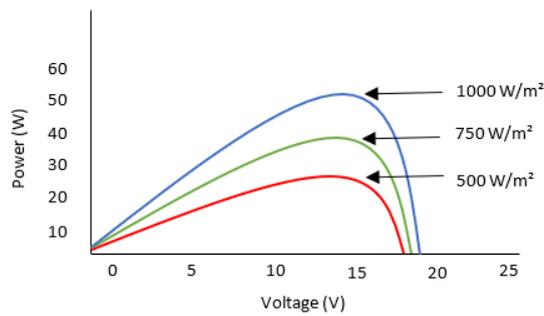
Komponen semikonduktor seperti diode sensitive terhadap perubahan temperature, begitupula dengan sel surya. Secara umum, sebuah modul surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperature yang diterimanya berada pada temperature 25°C. Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan membantu terhadap pendinginan temperature permukaan sel surya sehingga temperature dapat terjaga dikisaran 25°C. Ketika temperature berada dalam keadaan normal 25°C, maka modul PV akan menghasilkan daya kerja yang maksimal, sedangkan Ketika suhu semakin naik, daya yang dihasilkan PV akan mengalami penurunan. Data temperature pada lokasi penelitian sepanjang tahun 2021 yang diambil pada website NASA adalah rata-rata 24.39°C seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Data radiasi matahari tahun 2021



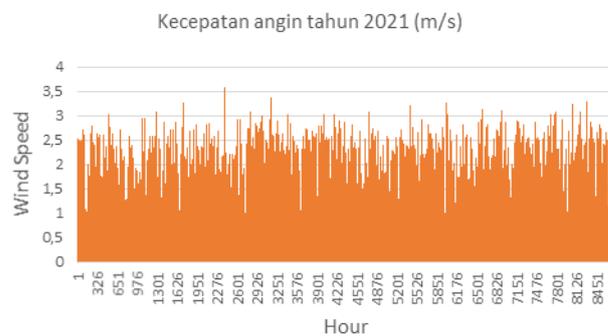
Gambar 4. Data temperature tahun 2021



Gambar 5. Kurva P-V pada suhu constant dan iradiasi berubah-ubah

3.4. Sumber Energi Angin

Data kecepatan angin rata-rata dikumpulkan untuk menghitung keluaran dari turbin angin (WT). Pengukuran kecepatan angin ini dilakukan pada ketinggian 50 meter di atas permukaan tanah. Berdasarkan data dari NASA, kecepatan angin rata-rata maksimum per hari sepanjang tahun 2021 adalah 3,21 m/s seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Syarat kecepatan angin menjadi faktor yang mempengaruhi perputaran turbin sehingga kondisi angin sangat menentukan untuk dikonversi menjadi energi listrik, kondisi angin di Indonesia seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Pada penelitian ini skala pemanfaatan energi angin di lokasi penelitian termasuk kedalam skala kecil yakni berkisar antara 2,5 – 4,0 m/s, ini juga sangat menentukan jenis turbin angin yang akan digunakan nantinya, yaitu turbin angin dengan kapasitas s/d 10 kW.



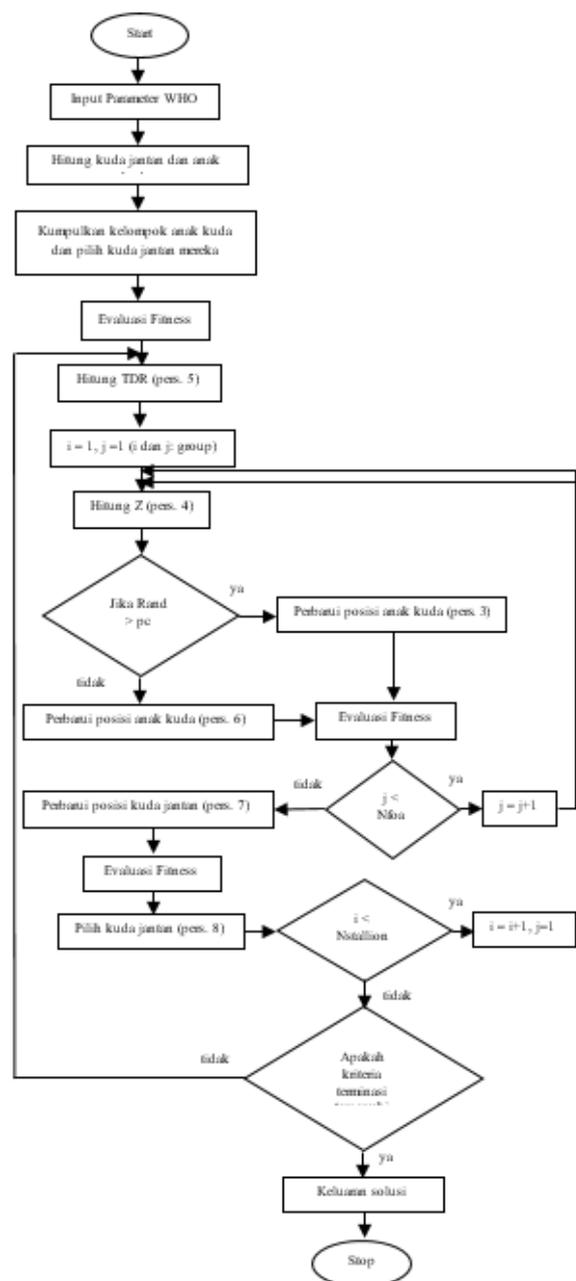
Gambar 6. Data kecepatan angin rata-rata tahun 2021

3.5. Wild Horse Optimization

WHO atau Wild Horse Optimization adalah teknik optimasi yang secara matematis mensimulasikan dan meniru perilaku kehidupan sosial kuda liar [18]. Pola perilaku social kuda liar ini meliputi ikatan dan pengembalaan, perilaku kawin, hirarki kepemimpinan dan dominasi. 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 [12]. Langkah-langkah WHO dapat dilihat pada Gambar 7 dengan penjelasan sebagai berikut [12]:

1. Inisialisasi masalah
2. Kebiasaan pengembalaan Kuda
3. Kebiasaan kawin Kuda
4. Pemimpin kelompok
5. Tukaran dan pemilihan pimpinan



Gambar 7. Diagram Alir WHO

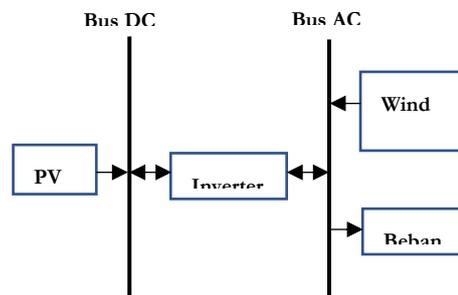
Perancangan pemodelan system terlebih dahulu ditentukan untuk menentukan scenario dan komponen yang akan dibutuhkan di dalam sistem. Profil beban, energi matahari dan kecepatan angin menjadi penentu komponen-komponen apa saja yang digunakan didalam sistem [9].

3.6. Struktur Sistem

Ada 3 model yang di usulkan pada penelitian ini yaitu :

- a. Sistem dengan kombinasi PV-Wind

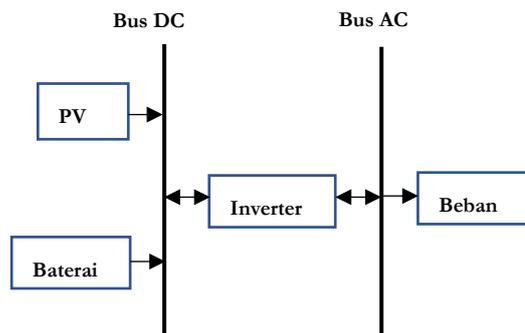
Model pertama yang diusulkan yaitu menggabungkan atau menghybrid PV dan wind dan terhubung ke sistem untuk menyuplai beban. Pada kondisi PV dan wind terhubung masing-masing ke bus DC dan AC, yang nantinya akan melayani beban. Pada kondisi angin bertiup maksimal, maka wind turbin akan mengalirkan energinya ke beban, begitu pula pada saat matahari bersinar terang maka PV akan mengalirkan energinya ke beban.



Gambar 8. Sistem kombinasi PV Wind

- b. Sistem dengan kombinasi PV- Baterai

Model yang diusulkan pada kombinasi ini yaitu menggabungkan PV dan baterai dan terhubung ke sistem untuk menyuplai beban. Pada sistem ini PV dan baterai akan terhubung ke bus DC dan inverter, yang nantinya akan melayani beban. Pada kondisi matahari bersinar maksima, PV akan mengalirkan energinya ke beban dan baterai, dan pada saat kondisi mendung baterai akan melepaskan energinya untuk melayani beban.

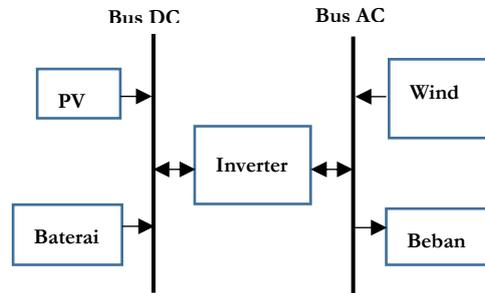


Gambar 9. Sistem kombinasi PV-Baterai

- c. Sistem dengan kombinasi PV-Wind dan Baterai

Model yang diusulkan dalam kombinasi ini yaitu menggabungkan hybrid, PV dan baterai dan terhubung ke sistem untuk menyuplai beban. Komponen yaitu PV, dan baterai terhubung ke inverter pada bus DC, dan komponen wind terhubung ke bus AC dan nantinya akan disalurkan ke beban. Pada kondisi hari biasa dimana matahari bersinar terang, maka PV dan wind turbin akan mengalirkan energi ke beban dan juga ke baterai dan pada malam hari wind turbin tetap tetap menyuplai energi ke baterai. Namun pada

saat cuaca mendung ataupun hujan maka daya solar panel akan menurun dan beban hanya di suplay melalui wind turbin saja. Jika daya wind turbin tidak mencukupi maka baterai akan melepaskan energinya ke beban.



Gambar 10. Sistem kombinasi PV-Wind-Baterai

3.7. Komponen

a. PV Surya

Sebuah panel surya mengonversi energi matahari menjadi energi listrik.. Daya keluaran yang dihasilkan panel surya tergantung pada luas permukaan panel, radiasi matahari, temperature, dan efisiensi modul surya. Daya keluaran maksimum dapat dihitung menggunakan persamaan. [19]:

$$P_{PV}(t) = Y_{PV} \times f_{PV} \times \frac{G_T}{G_{T,STC}} [1 + \alpha_P(T_C - T_{C,STC})] \quad (9)$$

Dimana Y_{PV} merupakan daya output pada pengujian dengan kondisi standart, f_{PV} adalah PV derating factor, G_T adalah radiasi sesaat pada permukaan PV, $G_{T,STC}$ adalah radiasi sessat menurut kondisi standart pengujian, T_C adalah temperature, $T_{C,STC}$ adalah temperature pengujian standart dan α_P adalah faktor temperatur.

b. Wind Turbin

Daya keluaran dari turbin angin (*wind turbine*) dihitung menggunakan persamaan (2) dan energi yang dihasilkan perjam $E_{WT}(t)$ oleh turbin angin dengan nilai daya output P_{WT} dituliskan dengan persamaan (3)[10]

$$P_{WT} = \frac{1}{2} \rho A_r C_p V_w^3 = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 C_p V_w^3 \quad (10)$$

$$E_{WT}(t) = P_{WT} \times t \quad (11)$$

Dimana P_{WT} adalah daya turbin, ρ adalah massa jenis udara, C_p adalah koefisien daya (0,2-0,4), A_r adalah luas rotor turbin dimana untuk menghitung $AR = \pi R_r^2$ dan R_r adalah jari-jari blade rotor, dan V_w adalah kecepatan angin.

c. Baterai

Pembangkit listrik hibrida (PLTS dan PLTB) memiliki kelemahan karena sifatnya yang tidak stabil. Baterai digunakan untuk mengatasi kekurangan tersebut. Jika PLTH menghasilkan energi listrik yang lebih dari kebutuhan beban, maka kelebihan energi tersebut akan disimpan didalam baterai. Sehingga jika terjadi kekurangan energi dari pembangkit, maka energi dapat diambil dari baterai. Karakteristik baterai dipengaruhi oleh SOC (state of charge). SOC menunjukkan kapasitas baterai, yang dibatasi pada rentang $20\% \leq SOC \leq 80\%$ untuk melindungi baterai dari kerusakan dan memperpanjang masa pakainya. [19]. Model matematika untuk pengosongan (discharging) dan pengisian (charging) baterai direpresentasikan dengan rumus berikut. [20]:

$$E_{batt}^d(t) = E_{Batt}(t - 1) - [E_{load}(t) - E_{PV}(t) - E_{WT}(t)]/\eta_{batt} \quad (12)$$

$$E_{batt}^c(t) = E_{Batt}(t - 1) - [E_{PV}(t) + E_{WT}(t) - E_{load}(t)] \times \eta_{batt} \quad (13)$$

Dimana $E_{batt}^d(t)$ dan $E_{batt}^c(t)$ adalah energi baterai discharge dan charge, $E_{Batt}(t - 1)$ adalah energi baterai pada waktu t, E_{PV} dan E_{WT} adalah energi PV dan WT, E_{load} adalah kebutuhan beban dan η_{batt} adalah efisiensi baterai.

3.8. Fungsi Tujuan

Dalam merancang pembangkit listrik baru, diperlukan perhitungan optimasi. Pada penelitian ini, tujuan utamanya adalah meminimalkan biaya modal awal (capital cost) dengan membandingkan ketiga model yang ditawarkan. Fungsi tujuan tersebut dituliskan sebagai berikut [20] :

$$\min f(N_{PV}, N_{WT}, E_{Batt}) = C_{PV} \cdot N_{PV} + C_{WT} \cdot N_{WT} + C_{Batt} \cdot E_{batt}$$

$$C_{PV} = (C_{cap}^{PV} + C_{op}^{PV}) \cdot P_{PV}$$

$$C_{WT} = (C_{cap}^{WT} + C_{op}^{WT}) \cdot P_{WT}$$

$$C_{batt} = (C_{cap}^{batt} + C_{op}^{batt}) \cdot P_{batt} \quad (14)$$

Dimana N_{PV} , N_{WT} dan E_{Batt} adalah jumlah dari PV, wind turbin dan kapasitas penyimpanan baterai. Sementara C_{PV} , C_{WT} , dan C_{batt} adalah total biaya dari PV, total biaya wind turbin, dan total biaya baterai. Nilai total biaya dari masing-masing komponen ini diperoleh melalui nilai capital cost PV, wind turbin dan baterai (C_{cap}^{PV} , C_{cap}^{WT} , dan C_{cap}^{batt}) dan ditambah dengan biaya operasinya (C_{op}^{PV} , C_{op}^{WT} , dan C_{op}^{batt}).

3.9. Kendala

Penyelesaian permasalahan optimasi system PLTH pada penelitian ini mengacu pada kendala (*constraint*) yang meliputi:

a. Daya Pembangkit dan Beban

Energi yang dihasilkan oleh pembangkit harus memenuhi kebutuhan beban, sehingga daya pembangkitannya sama dengan daya beban. [20] yang dapat dinyatakan :

$$P_{PV} + P_{WT} + P_{batt} = P_{Load} \quad (15)$$

Dimana P_{PV} , P_{WT} , P_{batt} masing-masing adalah daya PV, wind turbin dan baterai sementara P_{Load} adalah beban yang harus terpenuhi

b. Keandalan

Keseimbangan daya sangat penting dalam sebuah pembangkit. Jika permintaan beban melebihi kapasitas energi yang dihasilkan oleh PV, turbin angin, ditambah energi yang tersimpan di baterai selama jam t, akan terjadi skenario kehilangan catu daya. (*loss of power supply (LPS)*) ($P_{supplied} < P_{needed}$) [20] dapat dituliskan :

$$PS(t) = P_{Load} - [P_{PV} + P_{WT} + P_{batt}] \cdot \eta_{inv} \quad (16)$$

Loss of power supply probability (LPSP) adalah indeks keandalan sistem untuk periode waktu T yang dapat dijelaskan sebagai perbandingan antara semua nilai LPS(t) selama periode tersebut dengan permintaan beban.

$$PSP = \frac{\sum_{t=0}^T LPS(t)}{\sum_{t=0}^T P_{Load}(t)} = \frac{\sum_{t=0}^T Power\ failure\ time}{T} \quad (17)$$

3.10. Ukuran Komponen

Setiap komponen harus memiliki ukuran yang berada dalam rentang yang ditentukan. Pada penelitian ini ditetapkan ukuran nilai minimum unstuck semua komponen sebesar 1 unit dan nilai maksimum untuk PV di set pada nilai 3000 unit, untuk wind turbin di set pada nilai 1 unit, dan untuk baterai pada nilai 200 unit. Dapat dipresentasikan sebagai berikut [21] :

$$\begin{aligned}
 1 &\leq N_{PV} \leq N_{PV}^{max} \\
 1 &\leq N_{WT} \leq N_{WT}^{max} \\
 1 &\leq N_{batt} \leq N_{batt}^{max}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

4. Hasil dan Pembahasan

Tujuan simulasi pada penelitian ini adalah untuk memperlihatkan hasil dari ketiga pemodelan yang ditawarkan dan membandingkan hasilnya untuk memperoleh nilai terbaik dalam hal ini nilai kapital cost paling terkecil yang bisa memenuhi permintaan beban.

4.1. Spesifikasi komponen PLTH

Komponen penyusun PLTH pada penelitian ini terdiri dari PV, wind turbin, dan baterai. Berikut spesifikasi dari komponen-komponen tersebut :

Tabel 3. Spesifikasi komponen PLTH

Parameter	Nilai
PV	
Merk	Jinko eangle PERC 60 M
Pmax	300 W
Efisiensi	18,33%
Weight	19 kg
Dimension	1650 x 992 x 35 mm
Life time	25 thn
Harga	\$144,332
Wind Turbin	
Merk	Bergey excel 10
Start up wind speed	2,2 m/s
Rate Power	10 kW
Cut in speed	2,5 m/s
Tinggi tower	18-49 m
Life time	20 thn
Harga	\$7550,29
Baterai	
Merk	Trojan SIND 06 1225
Kapasitas	942 Ah (20jam)
Voltage	6 Volt
Energy	5,65 kWh (20jam)
DoD	80%
Dimension	10,44 x 24,01 x 27,13 inch
Life time	17 thn

Harga

\$1470,00

4.2. Sizing data

Simulasi hasil optimasi pembangkit hybrid PV-wind turbine menggunakan algoritma WHO, digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk praktikum di bengkel A ATS. Informasi mengenai lingkungan seperti radiasi matahari tahunan, suhu, dan kecepatan angin rata-rata terdokumentasi dalam gambar 3-6. Permintaan total beban harian adalah 792,48 kWh, sebagaimana terlihat pada kurva beban dalam gambar 2. Selain itu, spesifikasi ukuran dan biaya komponen didokumentasikan dalam tabel 3.

Algoritma WHO ini digunakan untuk menentukan nilai capital cost pembangkit dan jumlah pembangkit. Fungsi fitness diusulkan untuk mencari nilai paling minimal dari capital cost dan pembangkitan energi yang harus memenuhi permintaan beban. Parameter yang digunakan pada setting WHO menjadi penentu dalam proses pencarian nilai optimal. WHO merupakan pencarian secara random, yang menduplikasi pola perilaku kuda liar. Di setiap simulasi diperoleh nilai optimasi yang berbeda sehingga dibutuhkan beberapa kali simulasi untuk menghasilkan nilai yang optimal. Pada penelitian ini jumlah populasi ditetapkan sebanyak 100 kuda dengan nilai PS (*stallions percentage*) sebesar 0,2, nilai PC (*crossover percentage*) sebesar 0,13, dan maksimum iterasi diset sebanyak 100 kali. Berdasarkan nilai iradiasi matahari dan temperature maka didapatkan nilai daya panel surya (PV) berdasarkan Persamaan (9), sedangkan besarnya daya yang dihasilkan oleh wind turbine berdasarkan Persamaan (10) dengan melihat nilai kecepatan angin rata-rata. Baterai juga di gunakan pada penelitian ini Jika PLTH menghasilkan energi listrik yang lebih dari kebutuhan beban, maka kelebihan energi tersebut akan disimpan didalam baterai. Sehingga jika terjadi kekurangan energi dari pembangkit, maka energi dapat diambil dari baterai. Pengosongan dan pengisian baterai berdasarkan Persamaan (12) dan (13). Selanjutnya metode komputasi dengan menggunakan metode WHO digunakan untuk mencari kombinasi yang paling optimal antara sumber pembangkit energi sehingga diperoleh solusi optimal yang dihasilkan berdasarkan fungsi objectif Persamaan (14), dengan batasan yang telah ditentukan (*constraint*). Flowchart sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 10.

Setiap pemodelan akan dilakukan 5 kali running simulasi untuk mencari nilai terbaik (yang ditandai dengan angka bold berwarna biru), dan hasil running terbaik dari masing-masing pemodelan ini adakan dibandingkan lagi untuk mencari pemodelan paling terbaik. Tabel 4 adalah hasil running dari masing-masing pemodelan dan Tabel 5 adalah perbandingan dari ketiga pemodelan dengan hasil terbaik di tabel 4. Sementara gambar 8 dan gambar 9 memperlihatkan kurva konvergensi terbaik dan kurva energi terbaik dari masing-masing pemodelan.

Dari hasil perbandingan ketiga pemodelan tadi maka diperoleh nilai terbaik terdapat pada pemodelan ketiga yaitu kombimnasi PV-WT-baterai dengan rincian sebagai berikut : total biaya awal (capital cost) sistem adalah sebesar \$198,363.05, dengan jumlah PV terpasang sebanyak 772 unit dengan capital cost PV sebesar \$111,422.76 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 513,820.32 kWh/yr. Adapun jumlah wind turbin terpasang sebanyak 1 unit dengan nilai capital cost WT sebesar \$7,560.29 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 3,042.34 kWh/yr. Baterai yang digunakan sebanyak 54 unit dengan nilai capital cost baterai sebesar \$79,380.00 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 4,383.37 kWh/yr.

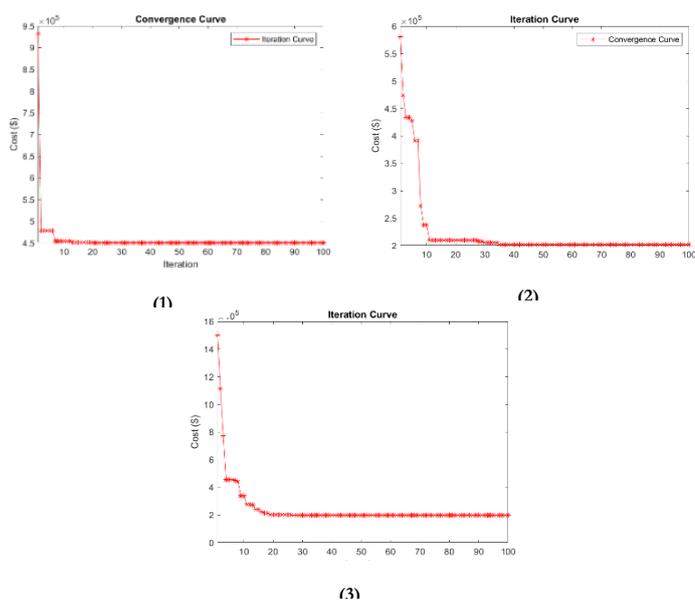
Tabel 4. Running WHO ketiga pemodelan

No	Jmlh	Jmlh	Jmlh	Capital Cost (\$)	Produksi energi
	PV (unit)	WT (unit)	Batt (unit)		pertahun (kWh/yr)
Kombinasi PV-WT					
1	3079	1	-	451,952.36	2,050,668.00
2	3152	1	-	462,488.45	2,102,404.02

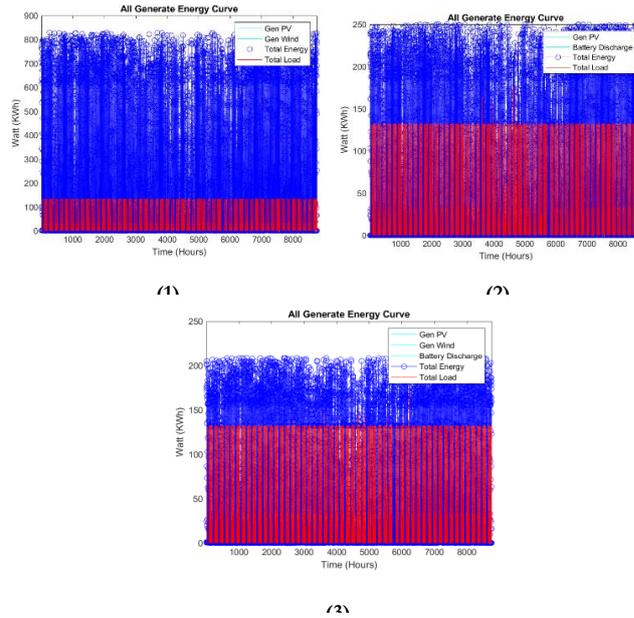
3	3080	1	-	452,096.69	2,048,029.45
4	3078	1	-	451,808.03	2,050,120.21
5	3071	1	-	450,797.72	2,047,845.11
Kombinasi PV-Baterai					
1	1027	-	40	207,026.91	684,857.86
2	1005	-	41	205,321.65	671,688.75
3	703	-	68	201,423.99	473,841.54
4	926	-	46	201,269.58	620,509.42
5	984	-	42	203,760.72	654,551.59
Kombinasi PV-WT-Baterai					
1	785	1	53	198,769.43	529,102.89
2	772	1	54	198,363.05	521,246.03
3	767	1	55	199,111.40	517,418.84
4	752	1	58	201,356.45	508,231.85
5	800	1	52	199,464.29	538,593.15

Tabel 5. Perbandingan ketiga pemodelan terbaik

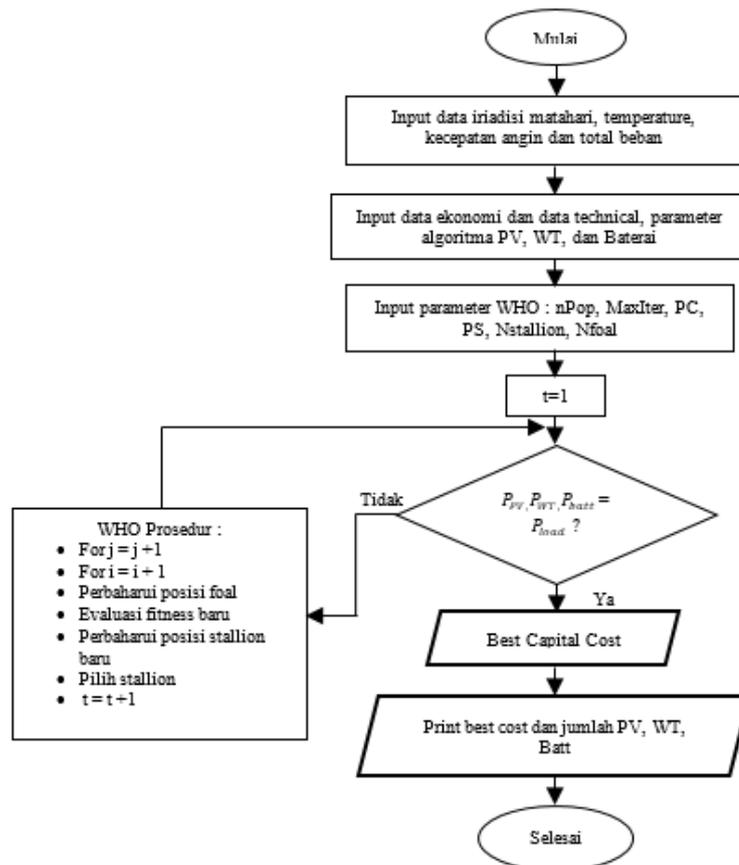
Kombinasi	PV (unit)	WT (unit)	Baterai (Unit)	Capital Cost (\$)
PV-WT	3017	1	0	450,797.72
PV-Batt	926	0	46	201,269.58
PV-WT-Batt	772	1	54	198,363.05



Gambar 10. Kurva konvergensi terbaik dari masing-masing



Gambar 11. Kurva energi terbaik dari masing-masing pemodelan



Gambar 12. Flowchart Sistem

4.2. Perbandingan dengan metode PSO

Pada penelitian ini, peneliti juga melakukan simulasi dengan menggunakan metode optimasi yang umum yakni metode PSO atau Particle Swarm Optimization, tujuannya adalah

untuk mengetahui apakah metode yang ditawarkan penulis lebih optimal dibanding metode yang lebih umum. PSO itu sendiri adalah salah satu algoritma metaheuristik atau algoritma pencarian stokastik yang berbasis populasi dan berkembang mencari jawaban optimal berdasarkan tujuan dan kendala kompleksitas serta masalah variable multi dimensi. Konsep PSO ditiru dari kelompok sosial atau perilaku kawanan seperti ikan atau burung. PSO mengemulasi populasi atau sekelompok partikel dalam ruang pencarian [22].

Data-data komponen PLTH yang digunakan pada simulasi metode PSO ini sama dengan data yang digunakan pada metode WHO. Peneliti melakukan simulasi dengan mengacu pada hasil terbaik pada pemodelan metode WHO, yakni pemodelan ketiga kombinasi PV-WT-baterai. Peneliti juga melakukan 5 kali running terhadap metode PSO untuk mencari hasil terbaiknya. Hasil simulasi PSO dapat dilihat pada Tabel 6, dengan data hasil terbaik sebagai berikut : total awal capital cost adalah sebesar \$198,769.34 dengan jumlah unit PV terpasang sebanyak 785 unit dengan capital cost PV sebesar \$113,299.05 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 523,945.10 kWh/yr. Adapun jumlah wind turbin terpasang sebanyak 1 unit dengan nilai capital cost WT sebesar \$7,560.29 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 3,042.34 kWh/yr. Baterai yang digunakan sebanyak 53 unit dengan nilai capital cost baterai sebesar \$77,910.00 dengan produksi energi pertahunnya sebesar 4,147.50 kWh/yr. PSO mengkonversi nilai fitness sebagai biaya kapital cost terhadap sumber energi. Dan berdasarkan kombinasi PV-WT-baterai sistem menghasilkan nilai konvergensinya pada iterasi ke 40.

Setelah hasil terbaik diperoleh pada simulasi PSO, maka berikutnya hasil tersebut dibandingkan dengan metode WHO seperti pada Tabel 7. Berdasarkan data yang diperoleh, hasil dari metode WHO dan hasil dari metode PSO tidak jauh berbeda, namun seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7 hasil simulasi dari metode WHO dengan lima kali running, keluarannya lebih stabil di banding metode PSO yang keluarannya cenderung lebih bervariasi. Dan juga hasil dari metode WHO rata-rata lebih cepat memperoleh nilai konvergensinya yaitu sekitar iterasi ke 20 sedangkan metode PSO memperoleh nilai konvergensinya rata-rata pada sekitar iterasi ke 40 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Maka dapat dikatakan bahwa metode WHO lebih efektif dalam waktu pencarian nilai optimal sebuah sistem dibanding metode PSO. Gambar 11 memperlihatkan perbandingan kurva konvergensi terbaik pada masing-masing metode.

Tabel 6. Running metode PSO kombinasi PV-WT-Baterai

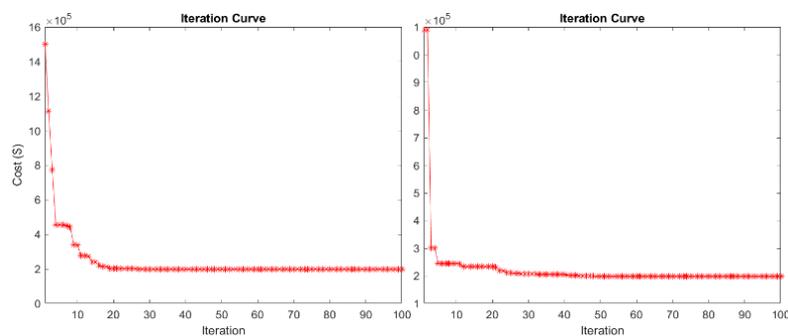
No	Jmlh PV (unit)	Jmlh WT (unit)	Jmlh Batt (unit)	Capital Cost (\$)	Produksi energi pertahun (kWh/yr)
1	848	1	50	203,452.13	571,671.82
2	911	1	56	206,664.92	612,084.44
3	785	1	53	198,769.34	513,134.94
4	802	1	52	199,752.95	540,074.43
5	1242	1	28	227,978.15	829,154.88

Tabel 7. Perbandingan metode WHO dan PSO

Urutan running	Capital Cost (\$)		Produksi Energi Pertahun (kWh/yr)	
	WHO	PSO	WHO	PSO
1	198,769.43	203,452.13	529,102.89	571,671.82
2	198,363.05	206,664.92	521,246.03	612,084.44
3	199,111.40	198,769.34	517,418.84	513,134.94
4	201,356.45	199,752.95	508,231.85	540,074.43
5	199,464.29	227,978.15	538,593.15	829,154.88

Tabel 8. Perbandingan nilai waktu konvergensi masing-masing metode

Urutan running	Waktu konvergensi (Second)	
	WHO	PSO
1	10	38
2	20	45
3	20	40
4	15	35
5	10	50



Gambar 10. Perbandingan kurva konvergensi metode WHO dan PSO (kiri : metode WHO, kanan : metode PSO)

5. Perbandingan

Penelitian ini membedakan diri dari studi sebelumnya yang umumnya menggunakan GA, PSO, atau ACO, dengan menerapkan metode Wild Horse Optimization (WHO) untuk mengoptimalkan sistem pembangkit hybrid energi terbarukan pada kampus vokasi ATS. Pendekatan ini menawarkan alternatif baru yang lebih adaptif dan efisien dalam merancang sistem energi bersih berbasis karakteristik lokal kampus.

6. Kesimpulan

Pada Penelitian ini diusulkan untuk mencari sizing pembangkit hybrid dengan tiga pemodelan yakni kombinasi PV-wind, PV-baterai dan PV-Wind-baterai dengan menggunakan metode WHO. Lokasi penelitian dilakukan di kampus ATS dengan menggunakan data real pada kampus tersebut dan data-data yang diperlukan melalui website NASA dan BMKG. Penelitian ini dilakukan untuk mencari pemodelan terbaik diantara 3 pemodelan yang ditawarkan dengan menggunakan energi listrik hybrid berbasis energi terbarukan sebagai salah satu energi alternatif pada kampus tersebut. Dengan menggunakan aplikasi MATLAB, Semua komponen yang dirancang dalam sistem hybrid telah dilakukan dengan baik, di uji, dan di analisis untuk memenuhi permintaan beban.

Diperoleh hasil sistem terbaik yakni pemodelan ketiga PV-wind-baterai dengan menggunakan metode WHO yang sangat layak untuk diimplementasikan. Diperoleh nilai capital cost sebesar \$198,363.05 dengan tidak ada (0) nilai unmet energi (energy yang tidak terpenuhi) selama satu tahun. Hasil penelitian ini juga dibandingkan dengan metode umum yakni metode PSO dan diperoleh hasil bahwa metode WHO dan PSO tidak jauh berbeda hanya saja simulasi dari metode WHO dengan lima kali running, keluarannya lebih stabil di banding metode PSO yang keluarannya cenderung lebih bervariasi. Dan juga hasil dari metode WHO rata-rata lebih cepat memperoleh nilai konvergensinya yaitu sekitar iterasi ke 20 sedangkan metode PSO memperoleh nilai konvergensinya rata-rata pada sekitar iterasi ke 40.

Bagian ini harus merangkum isi dokumen atau esai secara singkat dan jelas. Kesimpulan dapat mencakup: (1) Ringkasan hasil utama, temuan, dan bukti dari penelitian atau analisis yang dilakukan. (2) Sintesis temuan, yaitu hubungan antara temuan dan tujuan penelitian, serta bagaimana temuan tersebut mendukung argumen atau hipotesis. (3) Implikasi dari hasil penelitian terhadap manfaat penelitian. Apa kontribusi atau dampaknya terhadap pengetahuan atau topik yang dibahas?. (4) Keterbatasan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

Kontribusi Penulis : Kontribusi penulis dalam penelitian ini adalah mengusulkan penerapan algoritma Wild Horse Optimization (WHO) untuk mengoptimalkan desain sistem pembangkit hybrid energi terbarukan di kampus vokasi ATS, dengan mempertimbangkan data riil sumber energi dan kebutuhan beban. Penelitian ini memberikan pendekatan baru yang dapat meningkatkan efisiensi sistem dan mendukung penerapan energi bersih di lingkungan pendidikan.

Pendanaan : Penelitian ini didanai secara mandiri oleh penulis dengan dukungan fasilitas dari Kampus Vokasi ATS, termasuk akses terhadap data konsumsi energi, lokasi potensial instalasi, serta perangkat lunak pendukung analisis dan simulasi. Pendanaan ini mencerminkan komitmen penulis dan institusi dalam mendorong pengembangan energi terbarukan dan inovasi teknologi di lingkungan pendidikan vokasi.

Pernyataan Ketersediaan Data : Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk data konsumsi energi, potensi energi surya dan angin, serta parameter teknis sistem, tersedia berdasarkan pengukuran dan dokumentasi internal Kampus Vokasi ATS. Data dapat diberikan kepada pihak yang berkepentingan atas permintaan yang wajar kepada penulis.

Ucapan Terima Kasih : Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Kampus Vokasi ATS atas dukungan fasilitas dan data yang diberikan, serta kepada seluruh dosen pembimbing dan rekan sejawat yang telah memberikan masukan berharga selama proses penelitian ini. Dukungan dan kolaborasi tersebut sangat berarti dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Konflik Kepentingan : Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini. Seluruh proses penelitian dilakukan secara independen tanpa adanya pengaruh dari pihak luar yang dapat memengaruhi hasil atau kesimpulan penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Team Secretary General of the National Energy Council, "Indonesia Energy Out Look 2019," J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [2] K. E. dan S. daya Mineral, "Matahari untuk PLTS Indonesia," 19 Juni, 2012. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>
- [3] A. Luckins and S. P. Duttgupta, "Multisensor data fusion for parametric evaluation and optimization of hybrid solar and wave power source," ISPTS 2015 - 2nd Int. Symp. Phys. Technol. Sensors Dive Deep Into Sensors, Proc., pp. 125–128, 2015, doi: 10.1109/ISPTS.2015.7220096.
- [4] N. Winanti, "Study and Design of Distributed Hybrid PV-Generator-Battery System for Communal and Administrative Loadat Sei Bening Village , Sajingan Besar , Indonesia Comunal Load Profile," pp. 129–133, 2018.
- [5] Usman, "perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid di pulau maginti menggunakan software homer," universitas Hasanuddin, 2014.
- [6] M. Amer, A. Namaane, and N. K. M'Sirdi, "Optimization of hybrid renewable energy systems (HRES) using PSO for cost reduction," Energy Procedia, vol. 42, pp. 318–327, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.11.032.
- [7] MANSUR, S. MANJANG, A. ARIEF, and Y. S. AKIL, "Hybrid renewable energy generation planning for isolated microgrid in indonesia with metaheuristic approach," Prz. Elektrotechniczny, vol. 97, no. 11, pp. 45–50, 2021, doi: 10.15199/48.2021.11.08.
- [8] I. Pakaya, Z. Has, and A. A. Putra, "Sizing optimization and operational strategy of hres (PV-WT) using differential evolution algorithm," Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics, vol. 2018-October, pp. 182–188, 2018, doi: 10.1109/EECSI.2018.8752850.
- [9] B. G. Dwi Wicaksono, A. Iman Malakani, D. H. Arthanto, and A. Purwadi, "Study and Design of an Off-Grid Hybrid System for Administrative Load at Amaru Village, Asmat, Papua," Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019, pp. 310–315, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011067.
- [10] B. Kahar and R. Hantoro, "Study And Modeling Of Energy Supply At Moti Island-Ternate Based On Renewable Energy," IPTEK J. Technol. Sci., vol. 27, no. 1, 2016, doi: 10.12962/j20882033.v27i1.1186.
- [11] F. K. iraj Naruei, "12 Wild horse optimizer a new meta-heuristic algorithm for solving .pdf." 2021.

- [12] A. Ramadan, S. Kamel, I. B. M. Taha, and M. Tostado-Véliz, "Parameter estimation of modified double-diode and triple-diode photovoltaic models based on wild horse optimizer," *Electron.*, vol. 10, no. 18, 2021, doi: 10.3390/electronics10182308.
- [13] C. S. V. Prasad Rao, A. Pandian, C. R. Reddy, F. Aymen, M. Alqarni, and M. M. Alharthi, "Location Determination of Electric Vehicles Parking Lot With Distribution System by Mexican AXOLOTL Optimization and Wild Horse Optimizer," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 55408–55427, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3176370.
- [14] R. C. Yacang Li, Qiuyu YUan, Muxuan Han, "07 Advanced Intelligent Systems - 2022 - Li - Hybrid Multi-Strategy Improved Wild Horse Optimizer.pdf." 2022.
- [15] P. Nurwardani and Dkk, "Buku Panduan Teknologi Pembelajaran Pendidikan Tinggi Vokasi Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan," pp. 5–30, 2016.
- [16] Ivan Ismar, "Diploma III ATS Luwu Timur Diwisuda, 14 Raih Cum Laude, <https://makassar.tribunnews.com/2017/10/03/83-mahasiswa-dipl>," *Tribun Lutim*, 2017. <https://makassar.tribunnews.com/2017/10/03/83-mahasiswa-diploma-iii-ats-luwu-timur-diwisuda-14-raih-cum-laude> (accessed Mar. 14, 2022).
- [17] East Luwu Government, "Nuha District Profile," East Luwu Regency Government, 2019. <https://portal.luwutimurkab.go.id/index.php/en/pemerintahan/kecamatan/tomoni/9-uncategorised/273-nuha> (accessed Nov. 02, 2012).
- [18] M. H. Ali, S. Kamel, M. H. Hassan, M. Tostado-Véliz, and H. M. Zawbaa, "An improved wild horse optimization algorithm for reliability based optimal DG planning of radial distribution networks," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 582–604, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2021.12.023.
- [19] Ashar AR, "Optimal Design of Microgrid Power Generation System As an Alternative Energy Source in Campus 2 State Polytechnic of Ujung Pandang," Universitas Hasanuddin, 2019.
- [20] A. Traoré, H. Elgothamy, and M. A. Zohdy, "Optimal Sizing of Solar/Wind Hybrid Off-Grid Microgrids Using an Enhanced Genetic Algorithm," *J. Power Energy Eng.*, vol. 06, no. 05, pp. 64–77, 2018, doi: 10.4236/jpee.2018.65004.
- [21] S. Singh, M. Singh, and S. C. Kaushik, "Feasibility study of an islanded microgrid in rural area consisting of PV, wind, biomass and battery energy storage system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 128, pp. 178–190, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.09.046.
- [22] S. Pookpant, "Optimal design for hybrid renewable energy system using particle swarm optimization," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 1616–1625, 2019.