



DUAL AXIS TRACKING PADA PHOTOVOLTAIC Berbasis Kecerdasan Buatan

Machrus Ali, ST., MT., IPM.

Prof. Arif Nur Afandi, S.T., M.T., MIA.Eng, MIEEE, Ph.D.

Prof. Ir. Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.

Muhammad Aziz Muslim, ST., M.T., Ph.D.

DUAL AXIS TRACKING

PADA PHOTOVOLTAIC BERBASIS KECERDASAN BUATAN

Copyright © Desember 2022

Penulis

Machrus Ali, ST., MT., IPM.

Prof. Arif Nur Afandi, S.T., M.T., MIA.Eng, MIEEE, Ph.D.

Prof. Ir. Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.

Muhammad Aziz Muslim, ST., M.T., Ph.D

Ir. Asnun Parwanti, MT.

Desain Sampul

Muzammil Akbar

Penyunting

Siti Shofiyatus Sa'diyah

Ukuran: 14.8 x 21 cm; Hal: xii + 204 (216)

Cetakan I, Desember 2022

ISBN 978-623-5451-63-3



Penerbit

Insight Mediatama

Anggota IKAPI No. 338/JTI/2022

Watesnegoro No. 6 (61385) Mojokerto

Whatsapp 081234880343

Email: insightmediatama@gmail.com

© **All Rights Reserved** Ketentuan Pidana Pasal 112-119 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.

MOTTO

“Ikatlah ilmu dengan dengan menulisnya”
(Muhammad, SAW)

Ilmu adalah buruan dan tulisan adalah ikatannya, ikatlah buruanmu dengan tali yang kuat. Termasuk kebodohan kalau engkau memburu kijang, setelah itu kamu tinggalkan terlepas begitu saja
(Imam Asy Syafi’I, Rahimahullah)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan selalu kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah yang diberikan kami, sehingga kami dapat menyelesaikan buku ini dengan sajian yang komprehensif. Tujuan penulisan buku ini tidak lain adalah untuk membantu dan memberikan pemahaman terkait dengan *photovoltaic*, *solar cell control*, dan *evolutionary algorithm*.

Secara teknis, buku ini mengupas informasi secara lengkap mengenai materi terkait yang disajikan dalam urutan bab yang terstruktur agar mudah dipelajari dan dipahami. Kajian dalam bab memiliki inti pembahasan yang berbeda-beda, namun masih satu rangkaian untuk dalam pembahasannya. Buku ini dapat digunakan sebagai referensi dalam belajar di sekolah, politeknik, universitas, atau praktisi. Oleh karena itu sangat cocok untuk dimiliki dan dijadikan sumber belajar dalam menambah wawasan ilmu pengetahuan.

Selanjutnya, buku ini memuat 18 bab dengan fokus ulasan yang berbeda-beda, sesuai dengan inti pembahasan yang disajikan. Secara struktur, Bab I: Sistem Pelacak Surya, Bab II: Konsep Pelacak Surya, Bab III: Solar Collector, Bab IV: Pelacak (Trackers), Bab V: Single-Axis Trackers, Bab VI: Dual-Axis Trackers, Bab VII: Pemodelan, Bab VIII Transfer Function, Bab IX: Ant Colony Optimization, Bab X: Imperialist Competitive Algorithm (ICA),

Bab XI: Particle Swarm Optimization (PSO), Bab XII: Firefly Algorithm (FA), Bab XIII: Bat Algorithm (BA), Bab XIV: Parameter Dan Pseudocode, Bab XV: Kontroller, Bab XVII: Kecerdasan Buatan Pada Dual Axis, Bab XVIII: Thunderstorm Algorithm.

Kami sadar bahwa penulisan buku ini tak terlepas dari peranan banyak pihak dan buku ini juga bukan merupakan buah hasil kerja keras kami sendiri. Tetapi banyak pihak yang sudah berjasa dalam proses penyelesaian dan penulisan buku ini, seperti pengambilan data, pemilihan materi, dan lain-lain. Oleh karena itu, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama ini.

Kami juga sadar, bahwa buku yang kami tulis ini masih belum sempurna, sehingga kami terbuka atas masukan dari para pembaca, agar kedepannya kami bisa lebih baik dalam menulis buku.

Batu, 25 Agustus 2022

DAFTAR ISI

MOTTO	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
BAB I SISTEM PELACAK SURYA	1
1.1. Sistem Pelacak Surya	1
1.2. Klasifikasi Sistem Pelacak Surya	3
1.2.2. <i>Posisi Matahari</i>	5
1.2.3. Sudut Deklinasi	6
1.2.4. <i>Sudut Elevasi, Sudut Zenith dan Sudut Azimuth</i>	7
BAB II KONSEP PELACAK SURYA	9
2.1. Konsep Dasar Pelacak Surya	10
2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pelacak Surya	12
2.2.1. <i>Solar Energy Intercepted Solar Energy Intercepted</i>	12
2.2.2. <i>Kerugian Reflektif</i>	13
2.2.3. <i>Daily East-West Sun Movement</i>	13
2.2.4. <i>Seasonal North-South Sun Movement</i>	14
2.2.5. <i>Faktor lain</i>	15
BAB III SOLAR COLLECTOR	21
3.1. Jenis Kolektor Surya	21
3.2. Kolektor Plat Datar (Flat plate collectors)	22
3.3. Evacuated tube collectors	23

3.4.	Kolektor Fokus Garis (Line focus collectors)	24
3.5.	Kolektor Titik Fokus (Point focus collectors)	25
3.6.	Non-Tracking Fixed Mount	26
BAB IV PELACAK (TRACKERS)		28
4.1.	Fixed Collector/ Moving Mirror	29
4.2.	Moving Collector	30
4.3.	Floating Mount	30
4.4.	Floating Ground Mount	31
4.5.	Pelacakan Optik Gratis Bergerak	31
4.6.	Non-Concentrating Photovoltaic Trackers	31
4.7.	Concentrator Photovoltaic (CPV) Trackers	32
4.8.	Accuracy Requirements	33
4.9.	Teknologi yang Didukung	34
BAB V SINGLE-AXIS TRACKERS		35
5.1.	Horisontal	36
5.1.1.	<i>Horizontal Single-Axis Tracker (HSAT)</i>	36
5.1.2.	<i>Horizontal Single-Axis Tracker (HTSAT)</i>	37
5.2.	Vertikal	38
5.2.1.	<i>Pelacak Sumbu Tunggal Vertikal (VSAT)</i>	38
5.2.2.	<i>Tilted Single-Axis Tracker (TSAT)</i>	39
BAB VI DUAL-AXIS TRACKERS		40
6.1.	Tip-Tilt Dual-Axis Tracker (TTDAT)	41
6.2.	Azimuth-Altitude Dual-Axis Tracker	42
6.3.	Pemilihan Jenis Pelacak Surya	43

6.4.	Multi-Mirror Concentrating PV	45
6.5.	Jenis Drive Pelacak Surya	46
6.5.1.	<i>Pelacak Aktif</i>	46
6.5.2.	<i>Pelacak Pasif</i>	49
6.5.3.	<i>Pelacakan Manual</i>	50
6.6.	Rotating Buildings	51
6.7.	Keuntungan Pelacak Surya	52
6.7.1.	<i>Efisiensi</i>	52
6.7.2.	<i>Banyak Model</i>	53
6.7.3.	<i>Penghematan Ruang</i>	54
6.7.4.	<i>Pengurangan Biaya Energi</i>	55
6.7.5.	<i>Kemajuan Teknologi</i>	56
6.8.	Kerugian Pelacak Surya	56
6.8.1.	<i>Instalasi dan Persiapan Situs</i>	57
6.8.2.	<i>Pemeliharaan</i>	58
6.8.3.	<i>Masalah Shading</i>	59
6.8.4.	<i>Ketidakstabilan</i>	60
6.8.5.	<i>Masalah Lingkungan</i>	61
BAB VII PEMODELAN		62
7.1.	Pemodelan Motor DC	62
7.2.	Pemodelan Tracking Matahari Tanpa Beban	63
7.3.	Pemodelan Solar panel Tracking Sumbu Vertikal	64
7.4.	Pemodelan Solar panel Tracking Sumbu Horizontal	65
BAB VIII TRANSFER FUNCTION		66

8.1.	Transformasi Laplace:	66
8.2.	Simulink Dual Axis Tracking Solar panel	68
BAB IX ANT COLONY OPTIMIZATION		70
9.1.	Perilaku Semut	71
9.2.	Karakteristik Optimasi Koloni Semut	73
9.2.1.	<i>Aturan transisi status</i>	73
9.2.2.	<i>Aturan pembaruan pheromone lokal</i>	74
9.2.3.	<i>Aturan pembaruan pheromone global</i>	74
9.3.	Algoritma Ants Colony Optimization (ACO)	75
9.4.	Ambient networks of intelligent objects	79
9.5.	Sistem Feromon Buatan	81
9.6.	Continuous Orthogonal Ant Colony (COAC)	85
9.7.	Recursive Ant Colony Optimization	85
9.8.	Konvergensi	86
BAB X IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM (ICA)		87
10.1.	Metode Imperialist Competitive Algorithm	87
10.2.	Inisialisasi Kerajaan (Empire)	89
10.3.	Pergerakan Koloni Menuju Imperialist	92
10.4.	Revolusi	95
10.5.	Pertukaran Posisi Imperialist dan Koloni	96
10.6.	Penggabungan empire yang sama	97
10.7.	Perhitungan Kekuatan Total dari Sebuah Empire	98
10.8.	Kompetisi kekuasaan (Imperialist Competition)	99
10.9.	Eliminasi Empire Terlemah	102

10.10.	Konvergensi	103
BAB XI PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)		106
11.1.	Algoritma PSO	107
11.2.	Parameter selection	110
11.3.	Neighbourhoods and topologies	110
11.4.	Inner workings	111
11.5.	Konvergensi	113
11.6.	Mekanisme adaptif	115
11.7.	Varian	116
11.8.	Hibridisasi	117
11.9.	Meringankan konvergensi dini	117
11.10.	Penyederhanaan	118
11.11.	Optimalisasi multi-objektif	119
11.12.	Biner, diskrit, dan kombinatorial	120
BAB XII FIREFLY ALGORITHM (FA)		122
12.1.	Perilaku Kunang – Kunang	122
12.2.	Intensitas Cahaya dan Daya Tarik	125
12.3.	Binary Firefly Algorithm	126
12.4.	Keatraktifan Firefly	128
BAB XIII BAT ALGORITHM (BA)		130
13.1.	Bat Algorithm	131
13.2.	Penyesuaian parameter	132
13.3.	Penyesuaian formula	133
13.4.	Aplikasi	134

13.5.	Algoritma Kelelawar	136
13.6.	Bat Algoritma dengan Multiple Strategy Coupling	141
BAB XIV THUNDERSTORM ALGORITHM		145
14.1.	Umum	145
14.2.	Adopsi <i>Thunderstorm</i>	150
14.3.	<i>Thunderstorm Algorithm</i>	156
BAB XV PARAMETER DAN PSEUCODE		161
15.1.	Metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA)	161
15.1.1.	<i>Parameter ICA</i>	161
15.1.2.	<i>Pseudocode</i>	162
15.1.3.	<i>Setting PID Controller</i>	163
15.2.	Ant Colony Optimization (ACO)	163
15.2.1.	<i>Parameter (ACO)</i>	163
15.2.2.	<i>Pseudocode</i>	164
15.2.3.	<i>Setting PID Controller</i>	165
15.3.	Particle Swarm Optimization (PSO)	166
15.3.1.	<i>Parameter PSO</i>	166
15.3.2.	<i>Pseudocode</i>	167
15.3.3.	<i>Setting PID Controller</i>	168
15.4.	Firefly Algorithm (FA)	168
15.4.1.	<i>Parameter FA</i>	168
15.4.2.	<i>Pseudocode</i>	169
15.4.3.	<i>Setting PID Controller</i>	170
15.5.	Bat Algorithm (BA)	170

15.5.1. <i>Parameter BA</i>	170
15.5.2. <i>Pseuocode</i>	171
15.5.3. <i>Setting PID Controller</i>	172
BAB XVI KONTROLLER	173
16.1. <i>PID Controller</i>	173
16.2. <i>Fuzzy Logic Controller</i>	174
16.2.1. <i>Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy</i>	174
16.2.2. <i>Operasi Himpunan Fuzzy</i>	177
16.2.3. <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i>	178
BAB XVII ANFIS	181
17.1. <i>Mekanisme Inferensi Fuzzy TSK</i>	181
17.2. <i>Cara Kerja ANFIS</i>	183
17.3. <i>Proses Training data ANFIS</i>	185
17.4. <i>Deffuzzyfikasi</i>	187
BAB XVIII KECERDASAN BUATAN PADA DUAL AXIS	188
18.1. <i>Pemodelan dan simulasi</i>	188
18.2. <i>Hasil dan pembahasan</i>	190
INDEX	196
DAFTAR PUSTAKA	199
BIOGRAFI PENULIS	203

BAB I SISTEM PELACAK SURYA

1.1. Sistem Pelacak Surya

Sumber daya energi di masa mendatang seharusnya tidak lagi dijadikan sebagai komoditas, melainkan sebagai modal pengembangan nasional. Dalam arah kebijakan energinya, Pemerintah Indonesia menetapkan target energi bauran jangka pendek sebesar 23 persen pada 2025 dengan kapasitas penyediaan energi sebesar 400 Million Tonnes of Oil Equivalent (MTOE). Untuk tahap jangka panjang, target terkait adalah sebesar 31% pada tahun 2050 dengan kapasitas produksi sebesar 1.012 MTOE. Target tersebut ditetapkan pemerintah untuk mendukung kemandirian energi nasional dan kemakmuran bangsa (Caraka & Ekacitta, 2016). Potensi tenaga surya di Indonesia cukup tinggi tetapi sumber energi surya belum dimanfaatkan secara optimal. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang mudah dipindahkan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif.

BAB III SOLAR COLLECTOR

Seperti namanya, kolektor surya adalah perangkat yang mengumpulkan dan / atau memusatkan radiasi matahari dari matahari. Perangkat ini terutama digunakan untuk pemanasan matahari aktif dan memungkinkan untuk memanaskan air untuk penggunaan pribadi. Biasanya, kolektor surya dipasang di atap dan harus sangat kokoh karena terkena berbagai kondisi cuaca yang berbeda.

Penggunaan kolektor surya ini memberikan alternatif untuk pemanas air domestik tradisional menggunakan pemanas air, sehingga berpotensi mengurangi biaya energi dari waktu ke waktu. Sama seperti di pengaturan domestik, sejumlah besar kolektor ini dapat digabungkan dalam array dan digunakan untuk menghasilkan listrik di pembangkit listrik tenaga surya.

3.1. Jenis Kolektor Surya

Ada banyak jenis kolektor surya, tetapi semuanya dibangun dengan dasar pemikiran yang sama. Secara umum, ada beberapa bahan yang digunakan untuk mengumpulkan dan memfokuskan energi dari matahari

BAB IV PELACAK (TRACKERS)

Meskipun panel datar tetap dapat diatur untuk mengumpulkan proporsi yang tinggi dari energi siang hari yang tersedia, kekuatan yang signifikan juga tersedia di pagi hari dan sore hari ketika ketidakselarasan dengan panel tetap menjadi berlebihan untuk mengumpulkan proporsi wajar dari energi yang tersedia. Misalnya, bahkan ketika matahari hanya 10° di atas cakrawala, energi yang tersedia dapat sekitar setengah dari tingkat energi siang hari (atau bahkan lebih besar, tergantung pada garis lintang, musim, dan kondisi atmosfer). Oleh karena itu, manfaat utama dari sistem pelacakan adalah mengumpulkan energi matahari untuk periode terpanjang hari, dan dengan keselarasan paling akurat ketika posisi matahari bergeser dengan musim. Selain itu, semakin besar tingkat konsentrasi yang digunakan, pelacakan akurat menjadi lebih penting. Ini karena proporsi energi yang berasal dari radiasi langsung lebih tinggi, dan wilayah di mana energi terkonsentrasi menjadi lebih kecil.

BAB V SINGLE-AXIS TRACKERS

Seperti namanya, pelacak surya sumbu tunggal berputar pada satu sumbu bergerak bolak-balik dalam satu arah. Itulah sebabnya mereka memiliki satu derajat kebebasan yang bertindak sebagai poros rotasi. Sumbu rotasi pelacak sumbu tunggal biasanya disejajarkan di sepanjang meridian utara sejati. Yang mengatakan, adalah mungkin untuk menyelaraskan mereka dalam arah mata angin apa pun dengan algoritma pelacakan lanjutan.

Ada beberapa implementasi umum pelacak sumbu tunggal. Ini termasuk pelacak sumbu tunggal horisontal (HSAT), pelacak sumbu tunggal horizontal dengan modul miring (HTSAT), pelacak sumbu tunggal vertikal (VSAT), pelacak sumbu tunggal miring (TSAT), dan pelacak sumbu tunggal berjajar kutub (PSAT) Orientasi modul sehubungan dengan sumbu pelacak penting ketika memodelkan kinerja.

BAB VI DUAL-AXIS TRACKERS

Tidak seperti pelacak sumbu tunggal, pelacak sumbu ganda terus menghadap matahari karena mereka dapat bergerak dalam dua arah yang berbeda. Dengan demikian, mereka memiliki dua derajat kebebasan yang bertindak sebagai sumbu rotasi. Sumbu ini biasanya normal satu sama lain. Sumbu yang ditetapkan sehubungan dengan tanah dapat dianggap sebagai sumbu primer sedangkan sumbu yang dirujuk ke sumbu primer dapat dianggap sebagai sumbu sekunder.

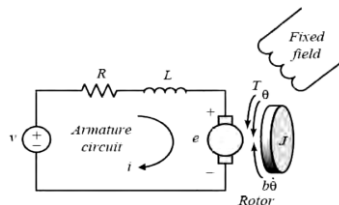
Ada beberapa implementasi umum pelacak poros ganda. Mereka biasanya diklasifikasikan berdasarkan orientasi sumbu utama mereka sehubungan dengan tanah. Dua implementasi umum adalah pelacak poros ganda tip-tilt (TTDAT) dan pelacak poros ganda azimuth-altitude (AADAT).

Orientasi modul sehubungan dengan sumbu pelacak sangat penting saat memodelkan kinerja. Secara umum, pelacak sumbu ganda memiliki modul yang paralel dengan sumbu rotasi sekunder. Karena kemampuan mereka untuk mengikuti matahari secara

BAB VII PEMODELAN

7.1. Pemodelan Motor DC

Untuk memodelkan sistem Solar panel dual axis tracking diawali dengan memodelkan motor DC sebagai penggerak, dilanjutkan model tracking matahari tanpa beban, dan terakhir pemodelan sistem Solar panel dual axis tracking dengan beban Solar panel. Berdasarkan Gambar 6. (tracking matahari dua sumbu), kedua perputaran sumbu masing-masing digerakkan oleh dua motor DC yang berbeda. Dalam buku ini kedua motor DC yang digunakan sejenis. Pemodelan motor DC cukup diwakili satu pemodelan. Rangkaian ekuivalen listrik dari dinamo dan rotor sebuah motor DC ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Motor DC.(Khushboo Sao dkk 2015)

Parameter-parameter motor DC: momen inersia (J), konstanta viskositas gesek motor (b), konstanta gaya gerak

BAB X IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM (ICA)

10.1. Metode Imperialist Competitive Algorithm

Metode *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA), yang merupakan jenis metode optimisasi yang terinspirasi dari pola kompetisi kekuasaan (*Imperialist Competitive*) suatu Negara atau kerajaan yang saling berkompetisi atau menjajah[10]. *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA) merupakan algoritma evolusioner yang terinspirasi dengan kompetisi kekuasaan (*imperialist competitive*) [24]. Algoritma optimisasi ICA dikenalkan oleh Esmail Atashpaz dan pada tahun 2007. ICA mensimulasikan proses sosial politik dari imperialisme dan kompetisi kekuasaan. Pada Metode ICA ini, seperti algoritma evolusioner lainnya yaitu dengan dimulai dengan inisialisasi populasi awal. Setiap individu dari populasi disebut dengan negara (*country*). Beberapa negara terbaik dipilih sebagai negara penjajah dan sisanya membentuk koloni yang digunakan oleh penjajah. Negara

BAB XI PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Dalam ilmu komputasi, particle swarm optimization (PSO) adalah metode komputasi yang mengoptimalkan masalah dengan secara iterative mencoba meningkatkan solusi kandidat terkait dengan ukuran kualitas yang diberikan[17]. Ini memecahkan masalah dengan memiliki populasi kandidat solusi, di sini dijuluki partikel, dan menggerakkan partikel-partikel ini di dalam ruang pencarian sesuai dengan rumus matematika sederhana atas posisi dan kecepatan partikel. Setiap gerakan partikel dipengaruhi oleh posisi lokalnya yang paling dikenal, tetapi juga diarahkan ke posisi yang paling dikenal di ruang pencarian, yang diperbarui sebagai posisi yang lebih baik ditemukan oleh partikel lain. Ini diharapkan untuk menggerakkan kawanan menuju solusi terbaik[1].

PSO awalnya dikaitkan dengan Kennedy, Eberhart, dan Shi dan pertama kali dimaksudkan untuk mensimulasikan perilaku sosial, sebagai representasi bergaya gerakan organisme dalam kawanan burung atau sekolah ikan. Algoritma disederhanakan dan diamati

BAB XII FIREFLY ALGORITHM (FA)

12.1. Perilaku Kunang – Kunang

Firefly Algorithm (FA) adalah sebuah algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku berkedip kunang-kunang. Algoritma ini dikembangkan oleh Dr Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Ada banyak spesies kunang – kunang dan sebagian besar menghasilkan cahaya dalam durasi yang pendek dan memiliki ritme tertentu. Cahaya dihasilkan dari proses *bioluminiscence*. Terdapat dua fungsi fundamental dari cahaya tersebut, yaitu untuk menarik perhatian kunang – kunang yang lain (komunikasi) dan untuk bertahan dari serangan *predator*. Fungsi lainnya untuk mekanisme peringatan bahaya. Cahaya ini dimiliki oleh *firefly*, baik jantan maupun betina.

Dr Xin-She Yang mengembangkan *Firefly Algorithm* berdasarkan kebiasaan dan pola kehidupan *firefly* tersebut. Dalam merumuskan *Firefly Algorithm*, Dr Xin-She Yang mengasumsikan beberapa aturan :

1. Semua *firefly* itu berjenis kelamin satu sehingga kunang- kunang akan tertarik pada *firefly* lain

BAB XIV THUNDERSTORM ALGORITHM

14.1. Umum

Petir adalah pelepasan muatan listrik statis yang terjadi secara alami ketika dua daerah bermuatan listrik bersentuhan dengan atmosfer atau tanah, dan pelepasan ini dapat memancarkan berbagai radiasi elektromagnetik, mulai dari panas yang dihasilkan oleh elektron yang bergerak cepat hingga semburan cahaya tampak yang terang. Sambaran petir kedua menyambar tanah dari awan dan kembali ke awan melalui jalur yang sama dengan sambaran pertama. Panas yang dihasilkan oleh listrik pada langkah balik ini menaikkan suhu udara di sekitarnya, menyebabkan kenaikan tekanan udara yang cepat. Selanjutnya, proses tergantung pada jarak dari petir dan karakternya, petir dapat menghasilkan guntur yang berkisar dari gemuruh yang panjang dan dalam hingga retakan yang tiba-tiba dan keras. Karena peningkatan suhu dan tekanan yang tiba-tiba, petir menyebabkan ekspansi udara yang cepat di jalur sambaran petir. Guntur, dengan kata lain, adalah suara yang dihasilkan oleh gelombang kejut yang terjadi ketika gas di sekitar

BAB XV PARAMETER DAN PSEUCODE

15.1. Metode Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

Agar sebanding antar metode kecerdasan buatan, maka diperlukan parameter-parameter standar yang dimiliki masing-masing kecerdasan buatan. Hal ini agar bisa dipakai sebagai takaran pembandingan tiap-tiap kecerdasan buatan.

15.1.1. Parameter ICA

Parameter parameter sangat diperlukan untuk memberi batasan batasan agar program sesuai dengan standar yang direncanakan. Parameter ICA dapat dilihat pada table 15.1.

Table 15.1. ICA Parameters

Parameters	Value
Number of Countries	50
Number of Imperialists	6
Number of Colonies	$50-6=44$
Revolution rate	0,3
Assimilation Coefficient (β)	2
Assimilation coefficient (γ)	0,5
Zeta ζ	0.01
Kp_{ica}	0 - 600
Ki_{ica}	0 - 10
Kd_{ica}	0 - 10

BAB XVI KONTROLLER

16.1. PID Controller

PID Kontroler adalah system kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran kontrol PID dirumuskan sebagai:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_p} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (16.1)$$

Dengan:

$u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PID

K_p = konstanta proporsional

T_i = waktu integral

T_d = waktu turunan

K_i = konstanta integral

K_d = konstanta turunan

$e(t)$ = sinyal kesalahan

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (16.2)$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 16.1

BAB XVII ANFIS

ANFIS adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. System inferensi fuzzy yang digunakan adalah system inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi.(Machrus Ali & Nurohmah, 2017)

ANFIS adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. System inferensi fuzzy yang digunakan adalah system inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi.[21]

17.1. Mekanisme Inferensi Fuzzy TSK

Mekanisme inferensi fuzzy TSK orde satu dengan dua masukan x dan y (Gambar 9.6). Basis aturan dengan dua aturan fuzzy if-then seperti dibawah ini :

Rule 1 : if x is A_1 and y is B_1 then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Rule 2 : if x is A_2 and y is B_2 then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Input : x dan y . Consequent-nya adalah f

BAB XVIII KECERDASAN BUATAN PADA DUAL AXIS

18.1. Pemodelan dan simulasi

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan sistemnya yang modular dan mudah dipindahkan merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternative. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi panel surya yaitu dengan menambahkan sistem kendali tracking matahari. Sistem kendali tracking matahari adalah sistem kendali yang selalu mengikuti posisi matahari. Tujuan dari sistem tracking matahari ini adalah untuk menempatkan penampang agar selalu dalam posisi menghadap ke arah sinar matahari. Tracking matahari jenis azimuth-elevation terdiri dari sumbu putar horisontal dan sumbu putar vertikal. Sumbu putar horisontal pada tracking matahari dimaksudkan untuk mengikuti ketinggian matahari atau sudut elevasi atau altitude matahari yang di ukur dari utara ke selatan. Sedangkan sumbu putar vertikal pada tracking matahari dimaksudkan untuk mengikutti sudut azimuth matahari

INDEX

A

ACO · iii, 72, 75, 83, 164, 165,
166, 167, 190, 191, 192, 194,
196, cc, cci
ACS · 83, 86
agen-swarm · 82
algoritma · 185, 186, 188
Algoritma · 187
algoritma genetika · 119, 131,
142, 143
Algoritma kelelawar · 130, 136
Ambient networks · 79
ANFIS · 182, 184, 186, 187, 188
Ant Colony Optimization · iii,
72, 85, 164, 190, cci, ccii
Ant Colony System · 83
Ant System · 83, 84
arsitektur · 182
Artificial Intelligence · 2
Atmosphere · 16
Avalance Phase · 158
azimuth-elevation · 4, 189

B

BA · iii, 130, 131, 132, 133, 134,
136, 137, 140, 171, 172, 173,
190, 191, 194, 196
Bat Algorithm · iii, 131, 171, 190
boolean · 175

C

center of area · 181
Cloud Phase · 157, 161
COAC · 85

D

Defuzzifikasi · 181
Deklinasi · 6, 7
derivative · 174
developing stage · 152
Discharge channel · 156
dissipating stage · 152
distribusi · 181
Dual axis · 68, 69

E

Efisiensi · 17, 18, 19, 52
EIASC · 188
EKMANI · 188
Empire · 89, 92, 98, 102
Evacuated tube collectors · 23

F

Firefly Algorithm · iii, 3, 122,
124, 126, 127, 169, 190
Fixed Collector · 29
Flat plate collectors · 22

Fleksibilitas · 81
Floating Mount · 30
FLS · 188
Fuzzy · 175, 178, 179, 180, 182,
188
fuzzy logic · 175

G

gravitasi · 181
Guntur · 145

H

hybrid · 187

I

ICA · iii, 87, 88, 89, 93, 95, 97,
102, 103, 104, 105, 162, 164,
171, 190, 191, 192, cc, cci
Imperialist · iii, 87, 92, 96, 97,
99, 162, 190, cc, cci
Imperialist Competitive
Algorithm · iii, 87, 162, 190,
cc, cci
integral · 174

K

Kecerdasan buatan · 3
KMA · 188
Koloni · 72, 73, 76, 80, 91, 92,
93, 94, 95, 96
konstanta · 174
konvergensi · 88

L

Leader formation · 156
Line focus collectors · 24
LSTM · 6

M

Maximum Power Point Tracker ·
2, cc
mekanisme · 182
membership function · 176, 177,
179
MMAS · 84, 86
Moving Mirror · 29
MPPT · 2

O

One Axis · 4
optimisasi · 88, 90

P

Panel surya · 26
parameter · 176, 177, 185, 186,
187
Particle Swarm Optimization ·
iii, 115, 167, 190, ccii
pheromone · 71, 72, 74, 75, 76,
78
Photovoltaic · i, iii, 9, 17, 18, 19,
20, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 44,
49, 50, 57, 58, 65, 66, cc
PID · 145, 150, 156, 174, 175
proporsional · 174

Pseudocode · 163, 165, 168, 170, 172
PSO · iii, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 133, 143, 167, 168, 169, 190, 191, 192, 193, 196, cc, ccii
PV · 2, 12, 30, 32, 45, 47, 191

R

Recursive Least Square Estimator · 187
Revolusi · 8, 95, 96
RLSE · 187, 188
Rule · 182

S

Sambaran petir · 145

Simulink · iii, 68, 164, 166, 169, 171, 173
Single-cell Thunderstorms · 148
sinyal · 174, 184, 185, 186
Solar Tracker · 2, 3, 4, 5
Streamer Phase · 157, 158, 161
Struktur · 179, 183
Sudut Azimuth · 7
Sudut Elevasi · 7
Sudut Zenith · 7
Supercell thunderstorm · 150
swarm intelligence · 70
system · 174, 179, 182, 184

T

TA · 153, 155, 157, 160
the mature stage · 152
Tracking System · cci

DAFTAR PUSTAKA

- Adhim, A., & Musyafa, A. (2016). Optimization of PID Controller Based on PSO for Photovoltaic Dual Axis Solar Tracking in Gresik Location - East Java. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 16(1), 65-72.
- Ajiatmo, D., & Robandi, I. (2015). Optimisasi Maximum Power Point Tracker (Mpppt) Sistem Photovoltaic (Pv) Algoritma Pada Pengisian Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Firefly. *Prosiding SENTIA 2015 - Politeknik Negeri Malang*, 7(July), 91-95.
- Ali, M., Ajiatmo, D., & Djalal, M. R. (2017). Aplikasi Modified-Imperialist-Competitive-Algorithm (MICA) Untuk Merekonfigurasi Jaringan Radial Tenaga Listrik Pada Penyulang Mojoagung. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 1(2), 17. <http://doi.org/10.21070/jeee-u.v1i2.1020>
- Ali, M., Hunaini, F., Robandi, I., & Sutantra, N. (2015). Optimization of active steering control on vehicle with steer by wire system using Imperialist Competitive Algorithm (ICA). In *2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2015* (pp. 500-503).
- Ali, M., & Muhlasin, M. (2017). Auto-Tuning Method for Designing Matlab DC Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative). *ADRI International Journal of Sciences, Engineering and Technology*, 1(2), 5-8.
- Ali, M., & Nurohmah, H. (2017). The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind - Diesel

Hybrid Power System. In *Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)* (pp. 215–218). Retrieved from http://fortei.org/v2/wp-content/uploads/2017/12/41-Fullpaper_Machrus_Ali_Paper_Machrus_fortei_wind-diesel_ACO_ANFIS.pdf

- Ali, M., Soedibyo, & Robandi, I. (2015). Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA). *SENTIA-2015, Polinema, Malang, 7*, B128–B131.
- Ali, M., Umami, I., & Sopian, H. (2015). Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO). *Jurnal Intake : Jurnal Penelitian Ilmu Teknik Dan Terapan, 6*(1), 34–50.
- Andrik, M., Farul, M., Cahyono, I., & Rukslin, R. (2018). Optimasi Load Frequency Control (LFC) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis PID-ANFIS. *Jurnal Rekayasa Mesin, 9*(1), 61–64.
- Caraka, R. E. K. O., & Ekacitta, P. C. (2016). Simulasi Kalkulator Energi Baru Terbarukan (EBT) Guna Memenuhi Ketahanan Energi di Indonesia. *Statistika, 16*(2), 77–88.
- Catarius, A. (2010). Azimuth-altitude dual axis solar tracker. A *Master Qualifying Project: Submitted to the Faculty of WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE, 27–39*.
- Chong, K. K., & Wong, C. W. (2009). General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector. *Solar Energy, 83*(3), 298–305. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2008.08.003>
- Chong, K., & Wong, C. (2010). General Formula for On-Axis Sun-Tracking System. *Solar Collectors and Panels, Theory and Applications, 444*. <http://doi.org/10.5772/10341>

- Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28–39. <http://doi.org/10.1109/MCI.2006.329691>
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2018). The Ant Colony Optimization Metaheuristic. In *Ant Colony Optimization*. <http://doi.org/10.7551/mitpress/1290.003.0004>
- Kusuma, D. H., Ali, M., & Sutantra, N. (2017). The comparison of optimization for active steering control on vehicle using PID controller based on artificial intelligence techniques. In *Proceedings - 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016* (pp. 18–22). <http://doi.org/10.1109/ISEMANTIC.2016.7873803>
- Nurohmah, H., Raikhani, A., & Ali, M. (2017). Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Menggunakan Modified Firefly Algorithms (MFA) Pada Penyulang Tanjung Rayon Jombang. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 1(2), 13. <http://doi.org/10.21070/jeee-u.v1i2.1064>
- Rukslin, Haddin, M., & Suprajitno, A. (2017). Pitch angle controller design on the wind turbine with permanent magnet synchronous generator (PMSG) base on firefly algorithms (FA). In *Proceedings - 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016* (pp. 13–17). <http://doi.org/10.1109/ISEMANTIC.2016.7873802>
- Siswanto, T., Kusuma, D. H., Rukslin, & Raikhani, A. (2016). Desain Optimal Load Frequency Control (Lfc) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) B-35 B-36. *Prosiding SENTIA 2016 – Politeknik Negeri Malang*, 8, 35–39.

Yang, X.-S. (2014). Firefly Algorithms. In *Nature-Inspired Optimization Algorithms* (pp. 111–127).