Journal Geuthee of Engineering and Energy (JOGE)
Vol. 2, No. 2, November 2023, pp. 93~105
ISSN: 2964-2655, DOI: 10.52626/joge.v%vi.29

Wind Power Hybrid Power Generation System Controller - PMSG With Fuel Cell Using Fuzzy Logic Controller

Pengendali Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Angin- Pmsg Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller

Khairul Gunawan[1], Raihan Putri[2]
[1,2]Electrical Engineering Departemnt, Malikussaleh University, Indonesia.

**Corresponding Author* raihan@unimal.ac.id

ABSTRACT
The increasing of the world energy demand affects energy source, especially in conventional energy will be scarce. Various of expert innovations emerge to exploit alternative energy as an energy source changing conventional energy. However, to produces electric power depend on energy source which is received, such as wind power system can produces electiric power if there is only wind velocity and fuel cell. Hybrid system integrates both of energy sources to increase the system power and reliability. This research simulates wind power system with fuel cell in the hybrid system. This simulation uses system modelling wiht the application of Simulink MATLAB ® R2014b. The system consists of wind power system that works parallel with fuel cell, electrolyzer, storage tube and hydrogen valve controlling the hydrogen flowing system, and also switching system. In this hybrid system, if the wind power system produces electric power exceeding the load of power demands, load will be supplied by wind power system and power that is excessive will be supplied to electrolyzer to be changed into hydrogen. Conversely, if the wind power system can not supply the load demands, fuel cell will produce electricity to minimize the lack of power in the system. Hybrid power system between wind power-PMSG and fuel cell using fuzzy logic controller works good enough so that the stability and continuity of energy is maintained with a percentage 12,5% occured due to transient conditions intermediate between the wind power system and fuel cell and voltage keep.

Keywords: hybrid power system, wind power system, fuel cell, fuzzy logic controller, electrolyzer.

ABSTRAK
Permintaan energi di seluruh dunia yang meningkat mengakibatkan sumber daya energi terutama energi konvensional menjadi langka. Berbagai inovasi para ahli pun muncul dalam memanfaatkan energi alternatif sebagai sumber energi untuk menggantikan energi konvensional. Namun untuk menghasilkan daya bergantung dari sumber energi yang diterimanya,seperti PLT Angin dapat menghasilkan daya hanya jika ada kecepatan angin yang diterima oleh turbin. Sistem hibrida menggabungkan kedua sumber energi untuk meningkatkan daya dan keandalan sistem. Penelitian ini mensimulasikan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) dengan fuel cell dalam sistem hibrida. Simulasi ini menggunakan pemodelan sistem dengan aplikasi Simulink MATLAB® R2014b. Sistem ini terdiri dari wind power system yang bekerja paralel dengan fuel cell, electrolyzer, tabung penyimpanan dan katup hidrogen yang mengatur laju aliran hidrogen, serta sistem pensaklaran. Dalam sistem hibrida ini, jika wind power system menghasilkan daya listrik melebihi daya permintaan beban, maka beban akan disuplai oleh wind power system dan daya yang berlebih disuplai ke electrolyzer untuk diubah menjadi hidrogen. Sebaliknya, jika wind power system tidak mampu memenuhi permintaan beban, maka fuel cell akan bekerja menghasilkan listrik untuk mengurangi kekurangan daya pada sistem. Kinerja sistem kontrol sistem hibrida antara tenaga angin-PMSG dengan fuel cell menggunakan fuzzy logic controller cukup baik sehingga kestabilan dan kontinuitas energi tetap terjaga dengan presentase 12,5% terjadi kondisi transien akibat adanya peralihan sumber antara wind power system dengan fuel cell dan tegangan tetap konstan

Kata kunci: Sistem hibrida, wind power system, fuel cell, fuzzy logic controller, electrolyzer

1. INTRODUCTION

Seiring berjalannya waktu, pertumbuhan penduduk di dunia semakin pesat. Semakin bertambahnya penduduk maka akan semakin bertambah pula konsumsi energi listrik. Permintaan energi di seluruh dunia yang meningkat mengakibatkan sumber daya energi menjadi langka. Sedangkan sumber daya energi utama yang digunakan masih menggunakan energi konvensional. Beberapa energi konvensional seperti energi thermal yang diproduksi dari bahan bakar fosil semakin menipis dan terbatas sampai tahun 2030. Untuk mencegah krisis energi tersebut, diperlukan energi alternatif untuk mengatasi masalah tersebut. Berbagai inovasi para ahli pun muncul dalam memanfaatkan energi alternatif sebagai sumber energi untuk menggantikan energi konvensional, diantaranya energi matahari, angin, dan panas bumi yang merupakan sumber daya energi yang berlimpah di bumi. Namun, beberapa pembangkit energi alternatif bergantung pada keadaan alam dan bahan bakar tertentu saja, contohnya energi angin dan fuel cell.[1]

Aplikasi PLT Angin, penggunaan variable speed wind turbines atau turbin angin dengan kecepatan variabel sangat populer, terutama karena kemampuannya untuk menangkap lebih banyak daya angin menggunakan algoritma maximum power point tracking (MPPT) dan peningkatan efisiensi. Saat ini, double feed induction generator (DFIG) banyak digunakan sebagai generator dalam sistem turbin angin dengan kecepatan variabel. Dalam kasus DFIG, dibutuhkan gearbox untuk mencocokkan dengan turbin dan kecepatan rotor. Gearbox seringkali mengalami kerusakan dan membutuhkan perawatan berkala, membuat sistem tidak dapat diandalkan. Keandalan turbin angin dengan kecepatan variabel dapat ditingkatkan secara signifikan menggunakan penggerak langsung berbasis permanent magnet synchronous generator (PMSG). PMSG mendapat banyak perhatian dalam aplikasi energi angin karena kemampuan eksitasi sendiri, faktor daya dan efisiensi operasi yang tinggi.

Energi listrik yang dihasilkan oleh PLT Angin tergantung dari kecepatan angin yang diterima oleh turbin. Jika kecepatan angin angin besar, maka putaran turbin akan semakin cepat sehingga menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik yang besa, begitupun sebaliknya.[10] Namun, jika tidak terdapat angin (no wind), maka turbin angin tidak akan berputar sehingga tidak menghasilkan energi listrik. Sedangkan fuel cell hanya menghasilkan energi listrik selama terdapat gas hidrogen yang dialirkan pada fuel cell, sehingga fuel cell tidak akan bekerja jika tidak ada persediaan gas hidrogen yang cukup. Namun, kedua pembangkit ini dapat digunakan secara bersama-sama dengan menggunakan sistem hibrida.

Sistem hibrida atau hybrid power system adalah sistem dinamis yang menunjukkan perilaku dinamis kontinu dan diskrit - sistem yang dapat mengalir dan melompat. Seringkali, istilah "sistem dinamik hibrid" digunakan, untuk membedakan sistem hibrid seperti yang menggabungkan jaring saraf dan logika fuzzy, atau driveline listrik dan mekanik. Sistem hibrida PLT Angin yang menggunakan PMSG dengan fuel cell bekerja dengan memanfaatkan kelebihan daya yang dihasilkan oleh PLT Angin untuk disuplai dan disimpan pada baterai serta menghasilkan gas hidrogen, dimana gas tersebut nantinya digunakan sebagai bahan bakar fuel cel untuk membangkitkan energi listrik jika terdapat kekurangan daya pada sistem. Strategi kontrol sistem hibrida antara PLT Angin dengan fuel cell telah diteliti oleh C. N. Bhende dkk. Namun dalam perancangan sistemnya masih menggunakan PI controller dimana memiliki respon yang lambat dan tidak cukup presisi. Penelitian ini merancang sistem hibrida pembangkit listrik hibrida tenaga angin-PMSG sebagai pembangkit listrik utama dengan fuel cell sebagai pembangkit listrik cadangan menggunakan simulink MATLAB 2014 dan mengaplikasikan fuzzy logic controller sebagai pengendali sistem hibrida guna kontinuitas suplai energi pada beban tetap terjaga.[2]

1. Energi Angin

Energi merupakan suatu kekuatan yang dimiliki oleh suatu zat sehingga zat tersebut mempunyai pengaruh pada keadaan sekitarnya. Menurut mediumnya dikenal banyak jenis energi. Diantaranya, energi gelombang, energi arus laut, energi kosmos, energi yang terkandung pada senyawa atom, dan energi-energi lain yang bila dimanfaatkan akan berguna

bagi kebutuhan manusia. Salah satu dari energi tersebut adalah energi angin yang jumlahnya tak terbatas dan banyak digunakan sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan dan berfungsi untuk meringankan kerja manusia. Angin memberikan energi gerak sehingga mampu menggerakkan perahu layar, kincir angin, dan bisa dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik yaitu berupa turbin angin. Keberadaan energi angin ini terdapat di lapisan atmosfer bumi yang banyak mengandung partikel udara dan gas. Lapisan troposfer merupakan lapisan atmosfer terendah bumi dan dilapisan ini semua peristiwa cuaca termasuk angin terjadi.

Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari. Pemanasan bumi oleh sinar matahari menyebabkan perbedaan massa jenis (ρ) udara. Perbedaan massa jenis ini menyebabkan perbedaan tekanan pada udara sehingga akan terjadi aliran fluida dan menghasilkan angin. Kondisi aliran angin dipengaruhi oleh medan atau permukaan bumi yang dilalui oleh aliran angin dan perbedaan temperatur permukaan bumi.[11]

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.[3]

2. Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang memanfaatkan energi kinetik angin dan mengubahnya kedalam bentuk energi gerak putaran rotor dan poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi gerak yang berasal dari angin akan diteruskan menjadi gaya gerak dan torsi pada poros generator yang kemudian akan dihasilkan energi listrik. Turbin angin adalah mesin penggerak yang memanfaatkan angin sebagai penggeraknya.

Berdasarkan arah sumbu geraknya, turbin angin terbagi menjadi 2, yaitu: turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki sumbu putar yang sejajar dengan tanah. Turbin angin sumbu vertikal memiliki sumbu putar yang arahnya tegak lurus dengan tanah.

Berdasarkan prinsip gaya aerodinamik yang terjadi pada rotor, turbin angin terbagi dua yaitu drag dan lift. Pengelompokan berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor adalah apakah turbin angin menangkap energi angin dengan hanya memanfaatkan gaya drag dari aliran udara yang melalui rotor atau memanfaatkan gaya lift yang dihasilkan dari aliran udara yang melalui bentuk aerodinamis sudu. Dua kelompok ini memiliki perbedaan yang jelas pada kecepatan putar rotornya.

Rotor turbin angin jenis drag berputar dengan kecepatan putar rendah sehingga disebut juga turbin angin putaran rendah. Rotor turbin angin jenis lift pada umumnya berputar pada kecepatan putar tinggi bila dibandingkan dengan jenis drag sehingga disebut juga sebagai turbin angin putaran tinggi. Setiap jenis turbin angin memiliki perancangan, kekurangan dan kelebihan masing-masing.[4]

3. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator pada pembangkit listrik tenaga angin berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang ditangkap oleh rotor turbin angin menjadi listrik yang akan dimasukkan ke jaringan. Pada aplikasi daya yang besar digunakan generator sinkron, dimana eksitasi diciptakan oleh rotor sehingga menimbulkan medan putar yang akan menghasilkan tegangan bangkit di stator.

Pada tugas akhir ini digunakan generator sinkron jenis magnet permanen (PMSG). Jenis generator ini tidak memerlukan sistem eksitasi dikarenakan sumber eksitasi telah disediakan

oleh magnet yang terdapat pada rotor. Kontrol tegangan tidak diperlukan, sehingga mengurangi kesulitan dalam pengendalian. Pada umumnya PMSG digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin yang rendah. Keuntungan penggunaan PMSG adalah biaya yang rendah, ketahanan, kesderhanaan, dan lebih mudah dalam mengkopling grid, namun PMSG juga memiliki kekurangan yaitu masih membutuhkan kompensator faktor daya dan efisiensi yang lebih rendah.

Seperti halnya prinsip generator sinkron terdapat hubungan antara frekuensi dan kecepatan yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:[5]

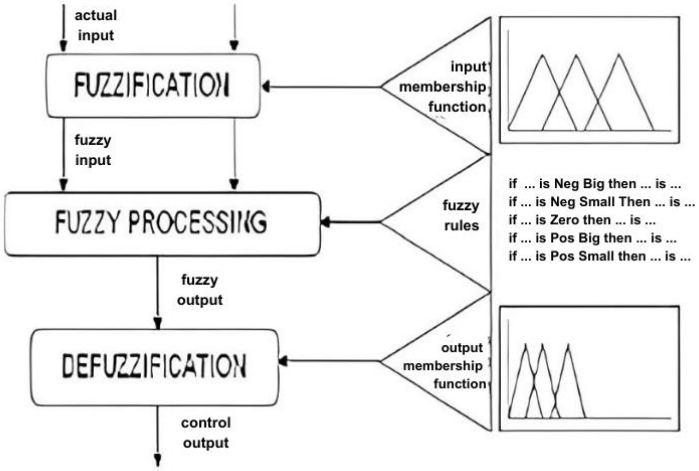
$$Ns = Nr = \frac{120\ f}{p} \quad (2.1)$$

Dimana:

Nr= Kecepatan medan rotor
Ns= Kecepatan medan stator (Rpm)
P = Jumlah kutub (Rpm)
f = Frekuensi (Hz)

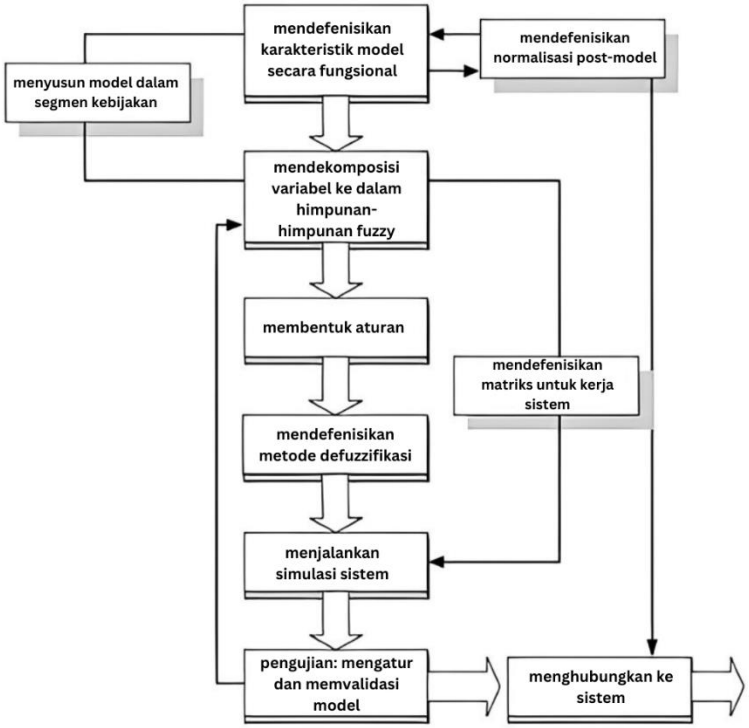
4. Fuzzy Logic Controller (FLC)

Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh seorang kebangsaan Iran yang menjadi guru besar di University of California at Berkeley pada tahun 1965. Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (Artificial Intelegent) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin (Jantzen.Jan,1998). Adapun proses fuzzyfiksi ini kurang lebih digambarkan pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Operasi kendali logika fuzzy[6]

Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika fuzzy menginterpretasikan statement yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Adapun poin-poin dan tahapan dalam pengaturan dengan menggunakan logika fuzzy ini serta Alur pemprosesan pada penolahan data dengan menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) ditunjukan pada Gambar 2.2 berikut ini :



Gambar 2.2 Metodologi pengembangan sistem fuzzy[6]

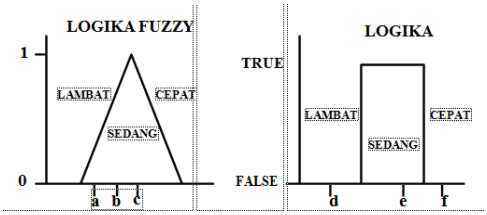
Fuzzy Logic Controller merupakan sebuah cara untuk mengatur beberapa input sehingga dihasilkan output yang sesuai. Apabila fuzzy logic digabungkan ke sebuah sistem, maka pemodelan sistem sistem sebagai media utama harus ada terlebih dahulu. Pemodelan sistem ini harus sesuai/mendefinisikan normalisasi post model yang digunakan, artinya nilai yang nantinya masuk ke dalam fuzzy harus jelas terlebih dahulu. Operasi fuzzy logic perlu dilakukan jika bagian antecedent lebih dari satu pernyataan. Hasil akhir dari operasi ini adalah derajad kebenaran antecendent yang berupa bilangan tunggal. Pada Gambar 2.2 di atas merupakan pengembangan sistem fuzzy.

Bilangan ini nantinya diteruskan ke bagian concequent. Masukan operator fuzzy adalah dua atau lebih derajad keanggotaan dari variable-variabel inputnya. Keluarannya berupa nilai kebenaran tunggal. Setelah itu variable-variabel tersebut diterjemahkan ke dalam fungsi fuzzy dengan beberapa tahap sebagai berikut :

Mendekomposisi variable-variabel ke dalam Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy (fuzzy set) adalah sekumpulan obyek x dimana masing- masing obyek memiliki nilai keanggotaan (membership function) “μ” atau disebut juga dengan nilai kebenaran. Himpunan Crisp dapat dinyatakan sebagai nilai yang sebenarnya untuk menyatakan konsep relative, misalnya seperti kecepatan dan posisi. Di dalam penggunaannya, himpunan ini sangatlah terbatas berbeda dengan ekspresi “cepat”, “lambat”, “jauh”, “dekat” ataupun “besar”, “kecil” yang merupakan nilai pendekatan dan tergantung pada konteks pembicaraan. Himpunan fuzzy memberikan kerangka untuk menyatakan ekspresi.[6]

Himpunan fuzzy merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan Fuzzy adalah rentang nilai-nilai, masing-masing nilai tersebut mempunyai derajat keanggotaan (membership). Ungkapan logika Boolean menggambarkan nilai-nilai “Benar” atau “Salah”. Ilustrasi antara keanggotaan fuzzy dengan Boolean set dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Pendefinisian kecepatan dalam bentuk logika fuzzy dan logika Boolean.[7]

a. Menerjemahkan ke dalam Variabel Linguistik

Suatu himpunan fuzzy bisa didefinisikan berdasarkan variabel linguistiktertentu. Variabel linguistik didefinisikan sebagai:

$$(u, T(u), U, R, S) \qquad (2.2)$$

Dimana dengan U adalah nama variabel linguistik; T(u) adalah himpunan term (linguistic value/linguistic label) pada u dan masing-masing term didefinisikan dengan fungsi keanggotaan yang normal (mempunyai harga maksimum sama dengan 1) dan convex pada U; R adalah aturan sintatik untuk menghasilkan nama nilai-nilai pada u; dan S adalah aturan sematik untuk menghubungkan tiap nilai dengan artinya.

b. Proses Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non-fuzzy (numerik variabel) menjadi variabel fuzzy (linguistik variabel). Nilai masukan- masukanyang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali fuzzy harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel fuzzy. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi fuzzy yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara fuzzy pula. Proses ini disebut fuzzyfikasi.

c. Menentukan Basis Pengetahuan data fuzzy

Berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah - daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya dalam perangkat aturan. Basis pengetahuan terdiri dari fakta (Data Base), dan kaidah atur (Rule Base). Fakta (Data Base) merupakan bagian pengetahuan yang memuat informasi tentang objek, peristiwa, atau situasi. Fakta umumnya menyatakan kondisi statik dari suatu objek. Sedangkan kaidah atur (Rule Base) berisi informasi tentang cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada.

d. Menyususun Basis Data (Data Base)

Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan - himpunan fuzzy dari sinyal masukan dan sinyal keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistic dalam basis aturan. Dalam pendefinisian tersebut biasanya dilakukan secara subjektif dengan menggunakann pendekatan heuristik dan didasarkan pada pengalaman dan pertimbangan yang menyangkut kerekayasaan, sehingga bergantung penuh pada perancang.

e. Penentuan Inferencing (Rule Base)

Pada umumnya, aturan-aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk "IF…THEN" yang merupakan inti dari relasi fuzzy. Relasi fuzzy dinyatakan dengan R, juga disebut implikasi fuzzy. Untuk mendapatkan aturan "IF…..THEN" ada dua cara utama yaitu:

1. Menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan “human expert”.
2. Dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran.

Dalam penalaran logika fuzzy, ada dua tipe utama untuk pengambilan keputusan fuzzy yaitu: Generalized Modus Ponens (GMP) dan Generalized Modus Tolens (GMT). GMP disebut juga dengan direct reasoning, sedangkan GMT disebut juga indirect reasoning.
Kaidah atur dalam fuzzy ini biasanya tersusun dengan pernyataan:
IF (antecedent) THEN (consequent) atau dapat juga IF x is A THEN y is B.
Antecedent: berisi himpunan fakta input (sebab).
Consequent: berisi himpunan fakta output (akibat).
IF … THEN … dalam logika fuzzy akan melakukan pemetaan dari himpunan fuzzy input kehimpunan fuzzy output.

f. Logika Pengambil Keputusan

Merupakan inti dari Logika Fuzzy yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi pengaturan fuzzy disimpulkan dengan menggunakan implikasi fuzzy dan mekanisme inferensi fuzzy.

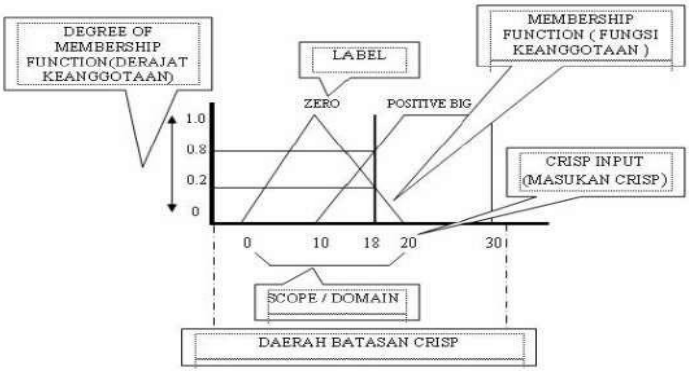
g. Defuzzyfikasi

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi varibel numerik non-fuzzy melalui proses defuzzyfikasi. Adapun pesamaan untuk penentuan proses ini ditunjukan pada Persamaan 2.13 berikut:

$$V_{(0)} = \sum_{j=1}^{i} \frac{Vi}{J} \qquad (2.3)$$

$$|Vf| = v\mu v(v) \qquad (2.4)$$

Secara umum diagram pengolahan data dengan *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 2.4 Konsep dasar logika fuzzy[7]

Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika fuzzy, antara lain yaitu:

1. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika fuzzy sangat fleksibel.
3. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
4. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi non linear yang sangat kompleks.
5. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika fuzzy dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.

7. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.[7]

5. Matlab

MATLAB (matemathics labolatory atau matrix laboratory) adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi keempat. Dikembangkan oleh The MathWorks, MATLAB memungkinkan manipulasi matriks, pem-plot-an fungsi dan data, implementasi algoritme, pembuatan antarmuka pengguna, dan peng-antarmuka-an dengan program dalam bahasa lainnya.

MATLAB (MATrix LABoratory) yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matriks, optimasi, aproksimasi, dan lain-lain. MATLAB banyak digunakan pada:

a. Matematika dan komputasi;

b. Pengembangan dan algoritma;

c. Pemograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe;

d. Analisa data, eksplorasi, dan visualisasi;

e. Analisis numerik dan statistik;

f. Pengembangan aplikasi teknik.

MATLAB merupakan system interaktif yang data dasarnya adalah matriks. Matriks dianggap data dasar dalam MATLAB dapat ditulis dalam bentuk matrik. Selain itu di dalam MATLAB sendiri tersedia perangkat lunak Simulink dimana kita dapat memanfaatkan penggunaan simulink dari macam-macam demos yang tersedia untuk keperluan teknik pengendalian maupun untuk analisis suatu plant. Pada penelitian ini metode Fuzzy Logic Controller (FLC) diterapkan pada Simulink MATLAB.[8]

2. RESEARCH METHOD

metode action research. Langkah pertama akan dilakukan kajian (research) terhadap Sistem Energi Angin melalui studi literatur. Metode ini digunakan untuk menghasilkan suatu model Sistem Energi Angin dengan pengaturan tenaga angin- pmsg dengan fuel cell berbasis fuzzy logic Controller (FLC) yang merupakan hipotesa awal dalam penelitian. Penelitian ini mulai dikerjakan dari tanggal 23 November 2020 sampai tanggal 3 Desember 2021. Penelitian ini diharapkan dapat ditemukan jawabanya dan pernyelesaian permasalahan.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah:

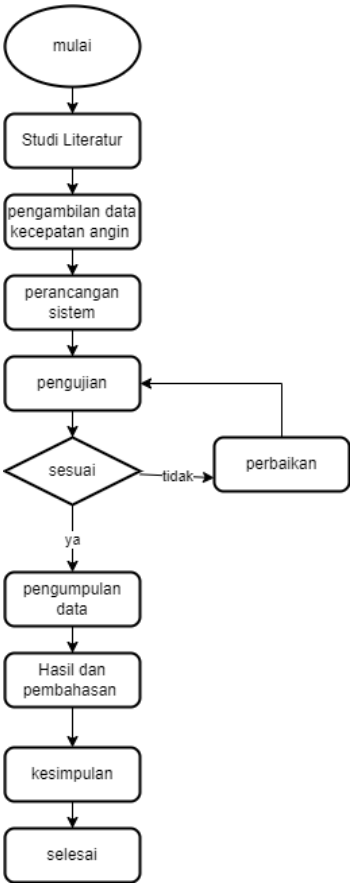
1. PC / Laptop

Komputer digunakan untuk melakukan simulasi rancangan sistem serta melakukan analisis hasil simulasi.

2. Software Matlab 2014 simulasi metode Fuzzy Logic Controller (FLC) menggunakan software Matlab 2014.
3. Pengumpulan data nasa

3.3 Prosedur Penelitian

pembuatan skripsi dan penelitian ini, dibuat langkah-langkah / prosedur penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Aliran Penelitian

a. Tahap Persiapan

Sebelum penelitian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan tahap persiapan menyusun perlengkapan penelitian serta mempersiapkan administrasi, seminar proposal, pelatihan, membuat garis besar rencana / konsep penelitian.

b. Studi Literatur Terhadap Objek dan Penelitian

Tahapan ini mencari jurnal maupun sumber materi baik artikel lokal maupun internasional yang mendukung penelitian ini dan mempelajari literatur tentang segala sesuatu yang yang mendukung perancangan Sistem Hibrida Tenaga Angin-Pmsg Dengan Fuel Cell,data sheet komponen-komponen yang dibutuhkan,Fuzzy Logic Controller (FLC) dll.

c. Pengumpulan Data Kecepatan Angin

Data kecepatan angin merupakan data yang paling utama pada penelitian ini, dimana data angin tersebut digunakan sebagai input pada sistem agar dapat menghasilkan suatu daya. Data angin yang digunakan merupakan data skripsi dari penelitian sebelumnya yang dilakukan dari data NASA.

d. Pemodelan Sistem, Algoritma Kontrol dan Penjadwalan Pada Sistem Hibrida Tenaga Angin- Pmsg Dengan Fuel Cell Menggunakan Simulink Matlab

Pemodelan sistem dengan menggunakan softwere Matlab 2014, dimana akan dirancang sebuah sistem energi angin dengan masukan suatu kecepatan angin yang akan mengahasilkan suatu daya yang akan disuplai pada beban dan baterai. Selanjutnya merancang dan membuat algoritma kontrol metode Fuzzy Logic Controller (FLC) berdasarkan nilai kecepatan angin, baterai dan beban. Logika ini digunakan untuk mengatur penjadwalan antara penggunaan sistem Hibrida Tenaga Angin- Pmsg Dengan Fuel Cell untuk mensuplai beban.

e. Pengujian Respon Simulasi

Dalam tahap ini akan dilakukan pengujian terhadap model sistem yang sudah dibuat dengan menggunakan sistem kontrol (Fuzzy Logic Controller). Hasil dari pengujian respon

sistem ini ditampilakan dalam bentuk data berupa tabel dan grafik yang selanjutnya dianalisis tentang hubungan variabel terkait didalamnnya.

f. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dari semua hasil analisis data yang telah didapat berdasarkan dasar teori yang telah dijelaskan dan berdasarkan hasil pengujian respon simulasi yang telah dilakukan. Serta saran yang berisi tentang perbaikan –perbaikan dan kekurangan pada penelitian ini. Juga berisi saran pengembangan, pembuatan alat dan aplikasi dalam pemanfaatan energi alternatif.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Sistem pembangkit listrik PSMG hibrida ini bekerja dalam waktu 24 jam dengan beban DC yang fluktuatif. Selama 24 jam terjadi 4 perubahan beban dengan daya berturut-turut 2,5W, 3,8W, 4,2W, dan 6,9W. Tabel 1 menunjukkan kecepatan angin selama 24 jam.

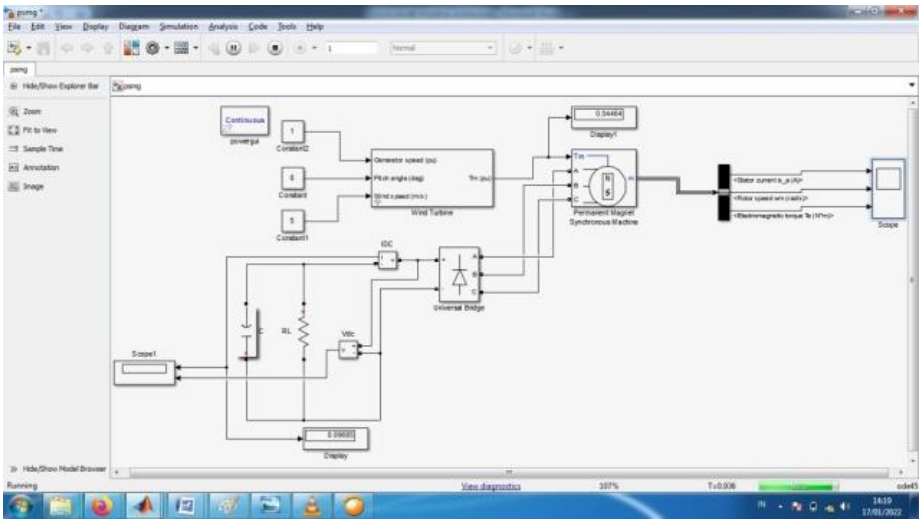
Tabel 1. Data kecepatan angin

Real Time/jam	Kecepatan Angin(m/s)	Watt	Real Time/jam	Kecepatan Angin(m/s)	Watt
0	0	2	12	12	6,9
1	2	2,5	13	11	6,9
2	3	2,6	14	10	6,4
3	4	2,8	15	9	5
4	5	3	16	8	4,2
5	6	3,6	17	7	3,6
6	7	3,8	18	6	3,4
7	8	3,8	19	5	3,6
8	9	4	20	4	3,1
9	10	4,2	21	3	2,5
10	11	4,4	22	2	1,5
11	12	4,4	23	0	2,5

Wind power system membutuhkan kecepatan angin agar turbin angin dapat bekerja sehingga menghasilkan tegangan. Kecepatan angin yang digunakan pada rancangan simulasi sistem wind power ini diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh peneliti selama 24 jam sistem data NASA. Data kecepatan angin yang digunakan sebagai data input pada simulasi ini berdasarkan hasil pengukuran yang telah penulis lakukan. yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dari data tersebut diperoleh kecepatan angin yang fluktuatif, sehingga dengan perubahan tersebut menghasilkan daya yang fluktuatif pula. Daya maksimal yang mampu dihasilkan oleh turbin angin adalah sebesar 6,9 W.

3.5 Realisasi Sistem

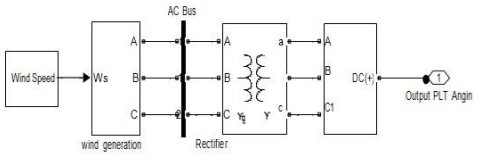
Realisasi sistem yang dibuat pada penelitian ini adalah simulasi PSMG symulink MATLAB 2014. Realisasi sistem penelitian terdiri pemograman symulink terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.2 Model simulink wind turbine power sistem PSMG

3.6 Pemodelan Wind Power System

Pemodelan Wind Power System pada tugas akhir ini seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pemodelan sistem ini terdiri dari beberapa subsistem yang didalamnya terdiri dari rangkaian yang lebih kompleks yaitu kontroler sudut pitch, turbin angin, dua mass drive train, generator sinkron magnet permanen, transformator, dan rectifier.

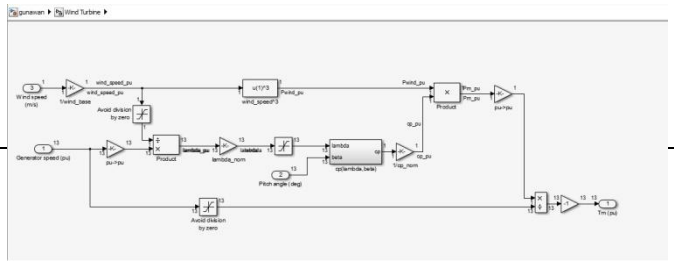


Gambar 3.3 Model simulink wind power system

Prinsip kerja pemodelan Wind Power System di atas adalah input pada Wind Power System berupa data kecepatan angin yang bervariasi setiam jam dalam sehari yang akan menghasilkan torsi mekanik sebagai input pada generator sinkron magnet permanen, dan akan menghasilkan output berupa daya angin dan tegangan AC tiga fasa yang akan disearahkan menggunakan rectifier sehingga akan menghasilkan tegangan DC. Namun sebelum disearahkan terlebih dahulu tegangan diturunkan menggunakan transformator agar menghasilkan tegangan yang diinginkan.

3.7 Pemodelan Wind Turbine

Turbin angin berfungsi untuk mengubah energi angin menjadi listrik. Pada tugas akhir ini,menggunakan model blok simulink yang sudah tersedia pada Matlab. Input berupa kecepatan angin dalam satuan m/s, sudut pitch dalam satuan degree, dan kecepatan generator dalam satuan pu. Berikut adalah model dari turbin angin pada simulink.



Gambar 3.4 Model simulink wind turbine

1. Result and Discussion

a. Hasil Optimasi Perangkat Lunak HOMER

Hasil optimasi didapatkan setelah proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak HOMER selesai dikerjakan. Tujuan dari proses simulasi ini adalah untuk menentukan variabel optimum pada masing-masing komponen utama yang terpasang pada saat operasi. Hasil simulasi komponen terdiri dari 13 generator mesin gas dengan kapasitas 18.047 Kw, dan mendapat kan hasil generator yang optimal dengan harga NPC (Net Present Cost) paling rendah dari semua optimization result sebesar Rp 5.125.319.000.000,00 dengan generator yang terpilih pada sensivitas cases yaitu G1, G2, G6, G7, G10, G11.

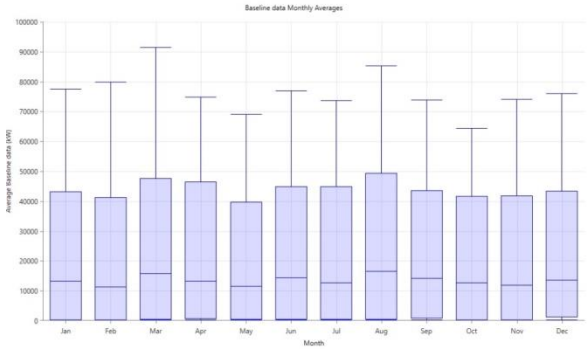
Cost				System			GenLarge (1)			
COE (Rp)	NPC (Rp)	Operating cost (Rp/yr)	Initial capital (Rp)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (m^3)	O&M Cost (Rp/yr)	Fuel Cost (Rp/yr)
Rp2,040	Rp5,125B	Rp235B	Rp84.8B	0	31,274,524	5,791	78,036,224	20,533,168	3,357,622	154,039,828,480

Gambar 3.6 Hasil simulasi pada perangkat lunak HOMER

Biaya yang di keluarkan sistem per kWh atau COE sebesar Rp. 2.040 dengan biaya operating and maintenance yang berbeda-beda setiap generator nya, dapat di lihat pada Gambar 4.5. dan dapat menghasilkan biaya bahan bakar yang optimal sebesar 31.274.527 m^3/tahun.

b. Produksi energi tenaga listrik

Energi listrik yang dihasilkan generator tenaga gas perbulan tergantung pada permintaan konsumen setiap bulan nya. Gambar 3.7 Menunjukkan grafik listrik yang dihasilkan perbulan dari generator tenaga gas.



Gambar 3.7 Grafik energi listrik yang dihasil kan generator per bulan dalam setahun

Berdasarkan Gambar 3.7 Diatas dapat dijelaskan bahwa energi listrik yang dihasilkan generator tenaga gas pada bulan Maret merupakan yang tertinggi sedangkan yang terendah pada bulan Oktober. Rata-rata energi listrik yang dihasilkan perbulan dari yang terendah sampai yang tertinggi antara 12.609 Kw (bulan Oktober) – 15.568 kW (bulan Maret) dan maksimal energi listik harian yang dihasilkan perbulan dalam setahun dari terendah sampai yang tertinggi antara 64.388 kW (bulan Oktober) – 91467 kW (bulan Maret).

c. Nilai Ekonomi Sistem Pembangkit

Nilai ekonomis pembangkit sistem konvensional menggunakan generator dapat di perlihatkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Nilai ekonomis pembangkit

Kriteria Penilaian	Nilai
Total produki energi (KWH/Tahun)	117.510.454
NPC (Rupiah)	5.125319.000.000,00
Cost of energi (Rupiah)	2,040

Total produksi energi dengan menggunakan sistem generator diesel adalah sebesar 117.510.454 kWh/tahun.

4. CONCLUSION

Sistem pembangkit listrik PSMG hibrida tenaga angin dengan fuel cell merupakan sistem pembangkit energi yang sumber daya tidak ada habisnya. Dari hasil pengujian dan penelitian diperoleh kesimpulan bahwa semakin kencang angin maka semakin besar daya yang di hasilkan. Kinerja sistem kontrol sistem hibrida antara tenaga angin-PMSG dengan fuel cell menggunakan fuzzy logic controller cukup baik sehingga kestabilan dan kontinuitas energi tetap terjaga dengan presentase 12,5% terjadi kondisi transien akibat adanya peralihan sumber antara wind power system dengan fuel cell.

REFERENCES

[1] P. Udhayakumar, Saravanan C., Lydia M. Stand-Alone Wind Energy Supply System Using Permanent Magnet Synchronous Generator. International Journal of Innovative Technology Engineering. ISSN : 2278-3075, vol. 2, issue 3, Feb 2013.
[2] Malla, Siva Ganesh, S. Mishra, C.N. Bhende. Permanent Magnet Synchronous Generator. IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 2 no. 4, Oct. 2011.
[3] Armaditya. 2012. "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Variable Speed Wind Turbine (VSWT) Dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) menggunakan Switch Mode Rectifier (SMR)." Jurnal TEKNIK POMIT. Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6
[4] Mathew, Sathyajith. Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics. India: Springer.
[5] Prawidyasari, Destiany. 2014. "Pengendali Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Angin – PMSG dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
[6] Sujono. 2012. Dasar-dasar Fuzzy Logic. Universitas Budi Luhur. http://staff.budiluhur.ac.id/sujono/files/2012/09/Bab-2.pdf. Diakses pada 29 Oktober 2014.
[7] Widiyanto, Parmaputra. 2014. "Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) Grid- Tied Dengan Menggunakan Fuzzy Logic Controller". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
[8] http://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_Angin. Diakses pada 29 Oktober 2014.
[9] http://id.wikipedia.org/Wiki/Angin. Diakses pada 29 Oktober 2014.
[10] Siagian, P., & Fahreza, F. Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle To Grid (V2G). In Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS) (Vol. 1, No. 1, pp. 356-361), Feb 2020.
[11] Sudarti S. Analisis potensi energi angin sebagai pembangkit enegi listrik tenaga angin di daerah Banyuwangi kota menggunakan database online-BMKG. Jurnal Surya Energy. 2023 Oct 18;6(1):9-16.