

Implementasi Penjejak Titik Daya Maksimum Berbasis Logika Samar Untuk Daya Keluaran Optimal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Sri Mawar said
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
srimawarsaid@yahoo.com

Salama Manjang
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
salamamanjang@unhas.ac.id

Mawar Melati
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
mawarahab@gmail.com

Abstrak—Peningkatan jumlah penduduk yang signifikan mendorong peningkatan kebutuhan terhadap energi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat yang meningkat, diperlukan adanya penambahan pembangkit untuk menyuplai tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Selain penambahan pembangkit listrik, pengoptimalan daya keluaran setiap pembangkit juga perlu diperhatikan. Salah satu cara untuk mengoptimalkan daya keluaran pada pembangkit listrik tenaga bayu adalah dengan menggunakan penjejak titik daya maksimum menggunakan algoritma perubahan konduktansi dengan sistem kontrol *Logika Fuzzy* atau disebut juga Logika Samar. Algoritma perubahan konduktansi merupakan salah satu metode untuk menjejak titik daya maksimum. Algoritma ini menggunakan pengukuran penambahan pada perubahan konduktansi pada generator untuk mengetahui perubahan daya, tegangan maupun arus pada generator. Sistem kontrol Logika Samar diimplementasikan untuk membantu teknik penjejak titik daya maksimum konvensional untuk mendapatkan titik tegangan operasi maksimum lebih cepat dan juga dapat meminimalisir fluktuasi tegangan setelah titik daya maksimum. Dari penelitian yang dilakukan, dihasilkan bahwa daya keluaran pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan penjejak titik daya maksimum lebih besar dibandingkan dengan daya keluaran pada Sistem Pembangkit Tenaga Bayu tanpa menggunakan penjejak titik daya maksimum. Metode penjejak titik daya maksimum menggunakan algoritma perubahan konduktansi dengan sistem control Logika Samar memperoleh hasil yang lebih optimal untuk menghasilkan daya maksimum pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

Kata Kunci : *Listrik, Penjejak Titik Daya Maksimum, Algoritma Perubahan Konduktansi, Logika Samar, Optimal, Daya Keluaran.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan yang semakin meningkat seiring berjalannya waktu ini menyebabkan ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan energi itu sendiri[1]. Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat sebanding dengan pertumbuhan penduduk dengan rata-rata pertumbuhan sekitar 1,34% pada tahun 2015. Penggunaan listrik dalam kurun waktu tahun 2000-2014 mengalami pertumbuhan rata-rata 6,8% per tahun dengan rasio elektrifikasi nasional sebesar 84,4% pada tahun 2014, dimana mengalami peningkatan 3,9% dari tahun 2013[3]. Terdapat 16,6% penduduk Indonesia yang belum mendapatkan fasilitas listrik. Pada tahun 2012, bahan bakar

pembangkit nasional menggunakan bahan bakar fosil lebih dari 90%. Penggunaan energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik dapat menghasilkan emisi CO₂ sebesar 500g CO₂/kWh hingga 1200g CO₂/kWh. Namun ketersediaan energi fosil yang digunakan selama ini semakin menipis, dimana cadangan batubara hanya dapat dimanfaatkan hingga 75 tahun, gas dapat dimanfaatkan hingga 33 tahun dan minyak memiliki potensi terkecil hanya dapat dimanfaatkan 12 tahun. Kondisi ini menyebabkan krisis energi di Indonesia sehingga diperlukan diversifikasi energi untuk menjamin ketersediaan energi[3]. Hal ini sejalan dengan Undang-Undang No.30 Tahun 2007 tentang energi yang menyatakan salah satu cara penyediaan energi dilakukan melalui diversifikasi energi dan meningkatkan penyediaan energi baru dan terbarukan. Diversifikasi energi dapat dilakukan dengan mencari energi alternatif yang dapat menggantikan penggunaan energi fosil. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan seperti tenaga air, panas bumi, angin, surya, samudera, maupun biomassa yang cukup besar. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/s, diantaranya adalah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa [8]. Berdasarkan beberapa sumber energi terbarukan, energi angin mengalami perkembangan yang cukup cepat. Pemanfaatan energi angin di Indonesia seringkali mengalami beberapa kendala yang disebabkan oleh rendahnya kecepatan angin rata-rata yang hanya berkisar antara 2,5 – 6 m/s. Di sisi lain turbin angin yang tersedia di pasaran sejauh ini disesuaikan dengan kondisi asal negara pembuatnya, dimana kecepatan angin rata-ratanya cukup tinggi (diatas 8 m/s). Oleh karena itu untuk pemanfaatan energi angin di Indonesia yang lebih maksimal perlu dilakukan pengembangan perancangan turbin angin yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah[6].

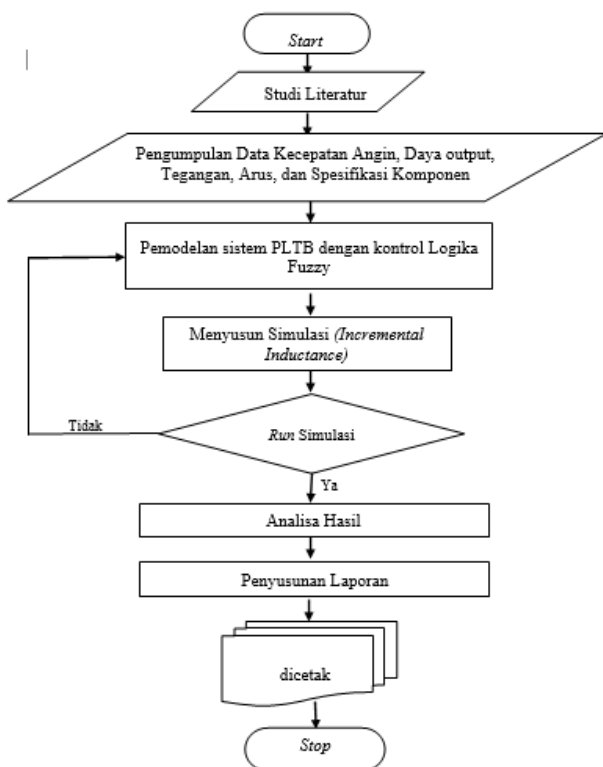
Berdasarkan *Global Wind Energy Outlook*, pada akhir 2015, total kapasitas energi angin yang telah diinstal di lebih dari 90 negara sebesar 432,9 GW dengan rata-rata perkembangan sekitar 17%. Pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik membutuhkan turbin angin dan generator listrik. Turbin angin beroperasi didalam dua mode yaitu kecepatan konstan (constant speed) atau kecepatan berubah (*variable speed*)[3].

Sistem konversi energi angin (SKEA) sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang selalu bervariasi.

Disamping keunggulan dari pemanfaatan energi angin, tantangan lainnya adalah fluktuasi kecepatan angin yang berubah-ubah dengan cepat. Hal ini menyebabkan ketidak-optimalan ekstraksi daya dari turbin angin. Untuk mengatasi tantangan tersebut, penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan. Hasil penelitian tersebut secara umum menggambarkan bahwa untuk mengoptimalkan daya keluaran dari turbin angin, sistem perlu dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [2][5]. Pada tahun 2016, Hidayatullah dan Ningrum membahas tentang permasalahan meningkatkan efisiensi rasio daya keluaran pembangkit listrik tenaga angin. Pembangkit listrik tenaga angin mempunyai efisiensi daya yang rendah, sehingga energi angin yang dapat di proses hanya sekitar 30% hingga 40%. Metode yang digunakan adalah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [7].

Penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan pengoptimasian daya keluaran dengan mengimplementasikan MPPT berbasis kontrol *Fuzzy Logic* dalam menjejak daya maksimum. Diharapkan dengan menggunakan *Fuzzy Logic*, daya yang dihasilkan maksimal. Implementasi kontrol diterapkan untuk mengoptimasi daya keluaran dari turbin angin menggunakan *buck-boost converter*. Penelitian ini memfokuskan pada desain dari algoritma MPPT turbin angin dengan menggunakan *fuzzy logic* untuk nantinya dapat diketahui apakah dengan algoritma *Fuzzy Logic* dapat mencapai MPPT secara efektif dan diharapkan dapat menghasilkan efisiensi daya yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa menggunakan Algoritma MPPT. Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penelitian simulasi turbin angin ini difokuskan untuk mencari titik daya maksimum dalam kondisi angin tetap dan berubah-ubah menggunakan *fuzzy logic* dengan bantuan *software Simulink MATLAB*.

II. METODE YANG DIUSULKAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan *software Simulink MATLAB r2016a*. Dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap topik penelitian, yakni mengenai algoritma MPPT yang diterapkan pada Sistem PLTB. Kemudian tahap selanjutnya, merancang sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* yang menggunakan algoritma *Incremental Conductance*. Setelah itu tahap selanjutnya ialah menyusun simulasi dengan memasukkan *Fuzzy* pada *block Simulink MATLAB*. Setelah itu, menjalankan simulink untuk melihat apakah simulasi dapat berjalan atau tidak. Jika simulasi tidak berjalan maka kembali ke tahap penyusunan simulasi, namun jika simulasi berhasil, maka langsung menuju tahap selanjutnya yakni menganalisa data yang telah diperoleh pada hasil *tracking* pada algoritma MPPT (*Incremental Conductance*) dalam bentuk tabel. Kemudian tahap yang terakhir penyusunan laporan.

A. Pemodelan Turbin Angin

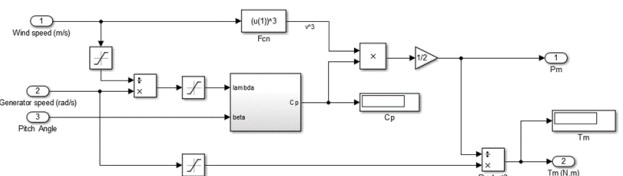
Turbin angin mengekstrak sebagian dari tenaga angin (P_{wind}) dari luas daerah sapuan angin (m^2) dan mengubahnya menjadi tenaga mekanik (P_m) seperti persamaan di bawah ini:

$$P_m = \frac{1}{2} A C_p V_{wind}^3 \quad (1)$$

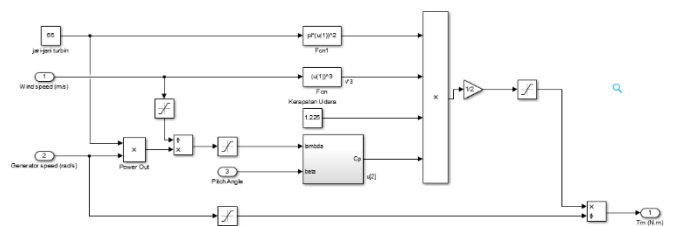
di mana ρ adalah kerapatan udara (sekitar $1,225 \text{ kg/m}^3$), A adalah luas daerah sapuan angin (m^2), dan V_{wind} adalah kecepatan angin (m/s). Koefisien daya ($C_p < 0,593$) dapat dimaksimalkan dengan mengatur nilai Tip Speed Ratio (TSR) dan sudut *pitch blade* menggunakan data yang diberikan oleh pabrik pembuat turbin angin. Untuk implementasinya, daya output turbin angin P_m dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P_m = C_p \left(\frac{1}{2} \rho A V^3 \right) \quad (2)$$

Secara umum, nilai C_p sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) dan sudut *pitch blade* (β) [1]. Namun, dalam penelitian ini pemodelan turbin angin dilakukan secara manual melalui beberapa perhitungan yang disesuaikan dengan Persamaan 2. Terdapat dua jenis pemodelan dalam skripsi ini yaitu pemodelan turbin angin tanpa menggunakan variable luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara (Model A) dan juga pemodelan dengan menggunakan luas daerah sapuan rotor (A) dengan jari-jari sebesar 65 m dan kerapat udara sebesar $1,225 \text{ kg/m}^3$ (Model B).



Gambar 2. Pemodelan Turbin Angin tanpa menggunakan parameter luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara (Model A).



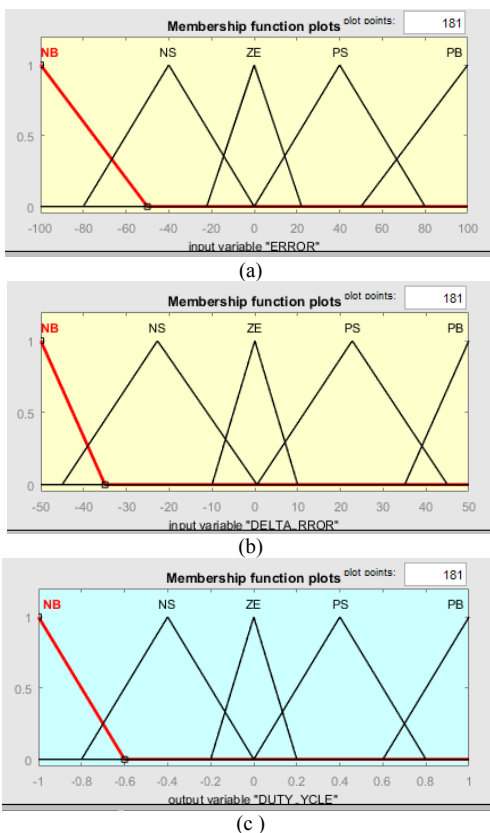
Gambar 3. Pemodelan Turbin Angin dengan menggunakan parameter luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara (Model B)

B. Perancangan Fuzzy Logic Control (FLC)

Logika Fuzzy atau yang lebih sering dikenal dengan *fuzzy logic* pertama kali diperkenalkan di Universitas California di Berkeley pada tahun 1965 oleh Prof. Lutfi Asker Zadeh dalam tulisannya tentang teori himpunan fuzzy. Secara bahasa, Fuzzy berarti kabur atau samar. Logika fuzzy adalah logika multivalued yang memungkinkan untuk mendefinisikan nilai menengah diantara dua logika atau evaluasi konvensional yang berbeda, seperti benar atau salah, iya atau tidak, tinggi atau rendah, dan panas atau dingin, dll. Oleh karena itulah logika ini disebut logika samar. Sehingga dalam teori fuzzy sesuatu dapat bernilai salah atau benar secara bersamaan. Dengan istilah lain, Logika fuzzy adalah suatu cara untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output, mempunyai nilai continue. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran.[4]

1) Fuzzification

Proses fuzzyfikasi merupakan proses untuk mengubah variabel *non fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel fuzzy (variabel linguistik). Variabel input dalam kontroller ini adalah *error* dan *delta error* (*change of error*). Hasil dari kontrol logika fuzzy adalah delta duty cycle. Tahap awal pembuatan kontrol fuzzy adalah fuzzyfikasi, yang mana di tahap ini akan dilakukan membuat himpunan keanggotaan untuk error dan delta error. Setelah itu menghitung derajat keanggotaan masing – masing nilai error dan delta error. Keanggotaan pada membership function error pada penelitian ini dibagi menjadi 5, yaitu NB, NS, ZE, PS dan PB.



Gambar 4 Membership Function dari Algoritma Incremental Conductance : (a) Membership Function untuk E; (b) Membership Function untuk CE; (c) Membership Function untuk Duty Ratio.

2) Tahap Rule Evaluation

Tahap *rule evaluation* merupakan tahap pemetaan nilai derajat keanggotaan dari masing – masing *error* dan *delta error* ke dalam tabel yang berisi basis aturan yang dipilih (*rule base*) dan menggunakan sebuah metode untuk pemilihan nilai dari derajat keanggotaan. Tabel *rule base* dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

TABEL 1. RULE BASE FUZZY LOGIC CONTROLLER

FUZZY RULES	DELTA ERROR					
		NB	NS	ZE	PS	PB
ERROR	NB	PB	PS	PS	NS	NB
	NS	PS	PS	PS	NS	NS
	ZE	NS	ZE	ZE	PS	PS
	PS	NS	NS	ZE	PS	PS
	PB	NB	NS	NS	PS	NB

C. Algoritma MPPT

Pada penelitian ini, pengujian MPPT dilakukan terhadap variabel input *fuzzy logic* berdasarkan algoritma MPPT yang digunakan yaitu dengan meninjau karakteristik dari sistem turbin angin serta berdasarkan literatur terdahulu mengenai desain kontrol fuzzy MPPT. Algoritma MPPT yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Algoritma *Incremental Conductance*.

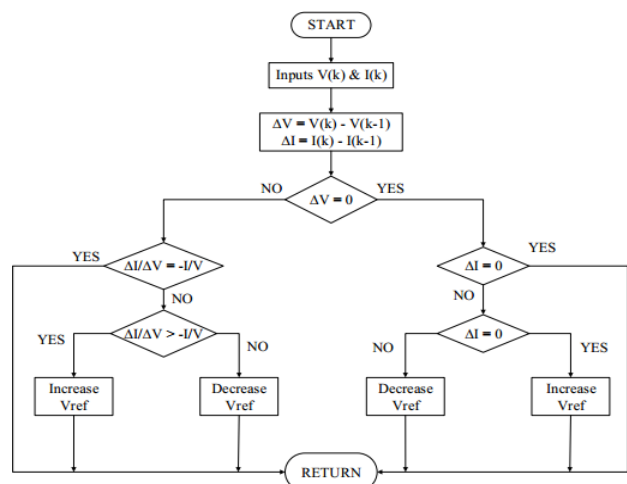
1) Algoritma Penjumlahan dari konduktansi dan kenaikan konduktansi sebagai input (*Incremental Conductance*)

Pada algoritma ini, menggunakan 2 buah variable input fuzzy, yakni E dan CE, dimana :

$$E = dI/dV + I/V \quad (3)$$

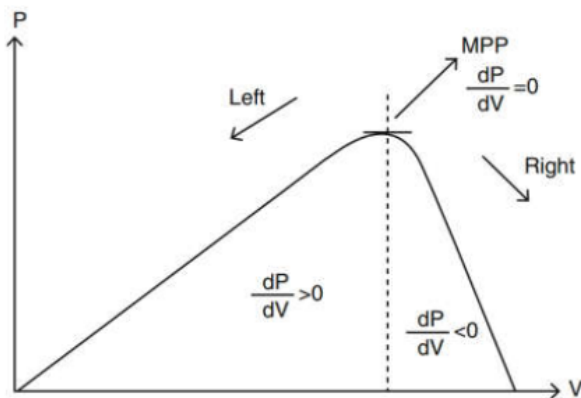
$$CE = E(k) - E(k-1) \quad (4)$$

Disini, E (*Error*) dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mendeskripsikan kondisi kenaikan konduktansi menjadi nol disaat MPP telah dicapai. Sedangkan E(k) dan E(k-1) merupakan besar *error* saat ini dan *error* saat sebelumnya, yang mana jika dikurangkan akan menjadi perubahan dari besar *error* (*change of error*). Tabel 1 menunjukkan desain *fuzzy rules database* yang digunakan.



Gambar 5 Diagram Alir Algoritma Incremental Conductance

Algoritma *Incremental Conductance* memperbolehkan sistem untuk mengidentifikasi secara langsung lokasi dari titik operasi yang sesuai dengan MPP tidak seperti pada Algoritma *Perturb and Observe* variasi dari nilai parameter luar digunakan untuk mengestimasi apakah sistem telah menjejak titik operasi pada MPP. Algoritma ini memanfaatkan perubahan konduktansi untuk mencari titik maksimum dari daya yang dihasilkan oleh generator. Konduktansi pada pembangkit merupakan perbandingan antara arus dan tegangan. Metode MPPT ini memanfaatkan perubahan konduktansi atau *Incremental conductance* (InC) untuk mencari titik MPP pada tiap iterasi yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik *Incremental conductance*

Ada 3 kondisi penting yang terjadi pada MPPT InC ini, yaitu ketika pada posisi MPP, left of MPP, right of MPP. MPP atau titik maksimum merupakan kondisi dimana dP/dV memiliki hasil yaitu sama dengan nol (0). *Left of MPP* merupakan kondisi dimana titik tracking bergeser kekiri dari titik MPP atau kondisi ini terjadi ketika nilai dari $dP/dV > 0$. Dengan kata lain, tegangan output terlalu rendah, maka sistem harus mengurangi *duty ratio* dengan tujuan untuk meningkatkan tegangan output dari konverter. Sedangkan *right of MPP* merupakan kondisi dimana titik tracking bergeser kekanan dari titik MPP atau kondisi ini terjadi ketika nilai dari $dP/dV < 0$. Pada Gambar 6 menjelaskan bagaimana algoritma ini mencari titik maksimum dengan cara membandingkan perubahan konduktansi dari data lama dan dibandingkan dengan data baru. Oleh sebab itu, kegunaan dari algoritma ini adalah untuk mendesain domain keluaran yang mengizinkan ukuran nilai *duty ratio* yang lebih besar untuk meningkatkan efisiensi dari proses MPPT.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Gambaran Umum

Dalam bagian ini, akan membahas tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Pada bab - bab sebelumnya telah dijelaskan mulai dari tujuan dari penelitian ini, batasan masalah serta manfaat dari penelitian ini. Beberapa teori dari komponen yang digunakan dalam sistem, kegunaannya serta proses pengujiannya juga telah dijelaskan secara rinci. Jika pada setiap proses pengujian selesai maka akan dilakukan pengambilan data yang nantinya akan dianalisa. Hal pertama yang harus dilakukan ialah melakukan

pengambilan data keluaran turbin angin yaitu tegangan dan daya keluaran dari generator dan juga *rectifier*. Selanjutnya yaitu pengujian implementasi MPPT *Incremental Conductance* pada sistem PLTB dan tanpa menggunakan MPPT. Kemudian pengujian dilakukan dengan menggunakan beban yang bervariasi pada sistem dengan menggunakan MPPT *Incremental Conductance*.

Pada simulasi ini, pengujian dan analisis dilakukan pada enam laju angin yaitu 7 m/s, 8,7 m/s, 9,2 m/s 11,3 m/s dan 13 m/s sedangkan beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban resistif sebesar 20 Ω . Pengujian juga dilakukan dengan menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT untuk melihat perbandingan dari tegangan, arus dan daya keluaran yang didapatkan dari sistem dengan menggunakan MPPT dan sistem tanpa menggunakan MPPT.

B. Pengujian Pengaruh Kecepatan Angin Pada Model A Terhadap Keluaran Generator

Generator menghasilkan tegangan apabila kecepatan angin mampu memutar turbin pada kecepatan cut-in. Generator yang digunakan adalah *permanent magnet synchronous Generator* (PMSG) tiga fasa. Dalam pengujian ini, digunakan pemodelan turbin angin tanpa menggunakan variabel luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara. Pengujian keluaran generator dilakukan dengan variasi kecepatan angin berbeda antara lain pada kecepatan angin yaitu 7 m/s, 8,7 m/s, 9,2 m/s 11,3 m/s dan 13 m/s. Pengujian ini dilakukan dengan beban resistif yaitu sebesar 20 Ω . Berikut ini akan ditampilkan tabel pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pada sistem yang menggunakan Algoritma *Incremental Conductance*.

TABEL 2. DAYA KELUARAN GENERATOR PADA BEBAN 20 Ω .

No.	Kecepatan Angin (m/s)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)
1	7	26,99	1,604	43,3
2	8,7	26,03	1,628	42,39
3	9,2	26,13	1,678	43,83
4	11,3	27,94	1,676	46,83
5	13	35,13	1,973	69,31

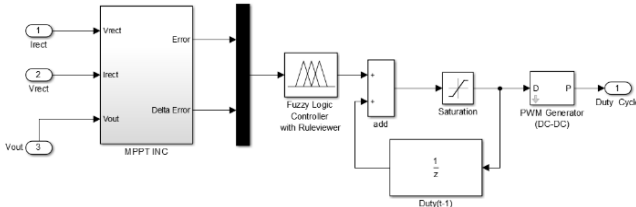
Berdasarkan hasil yang diperoleh, diketahui bahwa semakin rendah masukan kecepatan angin yang diberikan, maka daya maksimum yang dihasilkan akan semakin rendah pula.

$$P_{tin} = n_g P_m \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan (1) dan (5), semakin besar kecepatan angin maka daya mekanik dan semakin besar daya mekanik maka daya total input pada generator juga semakin besar begitu pula dengan tegangan dan arus yang dihasilkan semakin meningkat juga seiring dengan semakin besarnya kecepatan angin. Namun pada hasil simulasi yang diperoleh, daya yang dihasilkan tidak selalu meningkat ketika kecepatan angin meningkat, hal ini dapat disebabkan karena perhitungan dalam sistem terdapat banyak variabel yang juga berpengaruh.

C. Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Logic

Perancangan kontrol *fuzzy logic* menggunakan *toolboxfuzzy logic* yang sudah tersedia di Matlab R2016a. Logika dari *fuzzy* digunakan untuk menentukan besarnya *duty cycle* yang akan dikirimkan ke *mosfet/switch* pada *buck-boost converter*. Pengaturan *duty cycle* bertujuan untuk mengoptimalkan keluaran dari generator turbin angin menggunakan *buck-boost converter*.



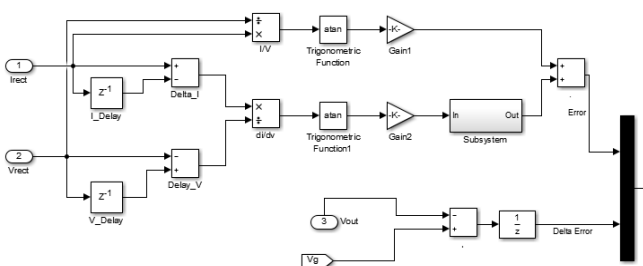
Gambar 6. Blok Fuzzy Logic Controller

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa masukan *fuzzy logic* berasal dari blok *input* dari Algoritma yang digunakan yaitu Algoritma *Incremental Conductance*. *Output* dari *fuzzy* tidak langsung disalurkan ke *mosfet* sebagai *duty cycle*, akan tetapi terlebih dahulu mengalami proses penjumlahan terlebih dahulu yang mana penjumlahan tersebut merupakan penjumlahan hasil sekarang dengan hasil sebelumnya, dan hal tersebut berjalan secara terus menerus (*looping*) sampai mendapatkan hasil yang maksimal. Kemudian pada blok kontrol *fuzzy logic* dipasang blok *saturation* yang bertujuan untuk membatasi nilai *output* yang dihasilkan agar bernilai tidak lebih dari 1.

1) Desain Fuzzy MPPT Algoritma Incremental Conductance

Pada perancangan kontrol *fuzzy* MPPT Algoritma *Incremental Conductance*, parameter yang digunakan sebagai input ada 2 yaitu *Error* (E), dimana E merupakan selisih daya keluaran yang terukur dengan daya referensi yaitu daya generator dan juga *Change of Error* (CE) atau *Delta Error* yang merupakan perubahan nilai dari *Error*. Sedangkan variabel outputnya berupa *duty ratio*.

Berdasarkan dari persamaan (3) dan (4), maka dibuatlah sebuah blok *input* yang berisi komponen yang merupakan interpretasi persamaan tersebut yang nantinya akan menjadi masukan untuk blok *fuzzy logic controller*. Gambar di bawah menampilkan subsistem dari blok yang digunakan untuk menghitung nilai dari perubahan sudut konduksi yang berasal dari arus dan tegangan keluaran dari generator turbin angin.



Gambar 7. Blok Input Fuzzy Algoritma Incremental Conductance

D. Pengujian Implementasi MPPT Incremental Conductance Dengan Pemodelan Turbin Angin Tanpa Menggunakan Variabel Luas Daerah Sapuan Rotor Dan Kerapatan Udara (Model A)

Pada penelitian ini, untuk mengetahui hasil implementasi algoritma MPPT *Incremental Conductance* pada daya keluaran sistem turbin angin dilakukan pengujian dengan memberikan kecepatan angin yang bervariasi pada pemodelan turbin angin tanpa menggunakan variabel luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara atau disebut model A. Simulasi ini dilakukan dengan menghubungkan turbin angin dengan beban resistif sebesar 20 Ω dan kecepatan angin yang berbeda yaitu 7 m/s, 8,7 m/s, 9,2 m/s, 11,3 m/s dan 13 m/s. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan, arus dan daya yang dihasilkan sistem dengan menggunakan MPPT *incremental conductance* dengan *fuzzy logic*.

TABEL 3 . HASIL PENGUJIAN IMPLEMENTASI MPPT INCREMENTAL CONDUCTANCE DENGAN PEMODELAN TURBIN ANGIN MODEL A

No.	Kecepatan Angin (m/s)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
1	7	31,82	1,591	50,63
2	8,7	32,11	1,605	51,55
3	9,2	32,71	1,636	53,51
4	11,3	35,67	1,784	63,63
5	13	38,31	1,915	73,38

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa daya maksimum yang dicapai sebesar 73,38 Watt yaitu pada saat kecepatan angin sebesar 13 m/s dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 38,31 Volt dan arus sebesar 1,915 Ampere.

E. Pengujian Implementasi MPPT Incremental Conductance Dengan Pemodelan Turbin Angin Yang Menggunakan Variabel Luas Daerah Sapuan Rotor Dan Kerapatan Udara (Model B)

Pada penelitian ini, untuk mengetahui hasil implementasi algoritma MPPT *Incremental Conductance* pada daya keluaran sistem turbin angin dilakukan pengujian dengan memberikan kecepatan angin yang bervariasi pada pemodelan turbin angin yang menggunakan variabel luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara atau disebut model B. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan, arus dan daya yang dihasilkan sistem dengan menggunakan MPPT *incremental conductance* dengan *fuzzy logic*.

TABEL 4. HASIL PENGUJIAN IMPLEMENTASI MPPT INCREMENTAL CONDUCTANCE DENGAN PEMODELAN TURBIN ANGIN MODEL B.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
1	7	55	2,75	151,3
2	8,7	57,04	2,852	162,7
3	9,2	56,21	2,81	158
4	11,3	53,09	2,654	140,9
5	13	57,47	2,873	165,1

Hasil yang diperoleh pada keluaran setelah menggunakan MPPT lebih tinggi dibandingkan dengan hasil

yang diperoleh pada keluaran setelah menggunakan MPPT dengan pemodelan turbin angin menggunakan variable luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara. Hanya saja keluaran generator yang diperoleh mempunyai jarak yang sangat berbeda. Hal ini dapat disebabkan oleh banyak faktor.

F. Pengujian Pengaruh Resistansi Beban Terhadap Daya Pada Sistem Dengan Menggunakan MPPT Pada Pemodelan Turbin Angin Model A

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara beban dan daya keluaran yang dihasilkan sistem dengan menggunakan MPPT. Pengujian ini dilakukan pada kecepatan angin sebesar 7 m/s dengan empat variasi beban pada pemodelan turbin angin tanpa menggunakan variabel luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara atau disebut juga Model A. Berikut merupakan hasil pengujian pengaruh resistansi beban terhadap tegangan, arus dan daya yang dihasilkan pada system dengan menggunakan MPPT.

TABEL 5. DAYA KELUARAN SISTEM MPPT DENGAN VARIASI BEBAN PADA KECEPATAN 7 M/S

NO	Beban (Ω)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)
1	10	20,22	2,022	40,88
2	20	31,82	1,591	50,63
3	50	51,48	1,03	53
4	75	68,12	0,9083	61,88
5	100	81,91	0,8191	67,09

Dari Tabel 5, hasil yang didapatkan dari data pengujian dapat di ketahui bahwa seiring dengan perubahan beban, semakin besar beban yang digunakan, maka arus yang dihasilkan semakin menurun, sesuai dengan teori Hukum Ohm, tegangan berbanding lurus dengan arus dan hambatan, sedangkan arus dan hambatan berbanding terbalik.

G. Pengujian sistem PLTB tanpa menggunakan MPPT Pada Pemodelan Turbin Angin Model B

Pada pengujian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu tanpa menggunakan *maximum power point tracking* ini dilakukan pada pemodelan turbin angin tanpa menggunakan variable luas daerah sapuan rotor dan kerapatan udara saja. Pada pengujian ini dilakukan dengan beban sebesar 20 Ω dengan variasi kecepatan yaitu 7 m/s, 8,7 m/s, 9,2 m/s, 11,3 m/s dan 13 m/s. Berikut merupakan tabel hasil pengujian system tanpa menggunakan MPPT.

TABEL 6. HASIL PENGUJIAN SISTEM PLTB TANPA MENGGUNAKAN MPPT

No.	Kecepatan Angin (m/s)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
1	7	26,9	1,345	36,19
2	8,7	28,1	1,405	39,48
3	9,2	28,73	1,437	41,27
4	11,3	32,33	1,617	52,28
5	13	35,49	1,775	62,99

Hasil simulasi di atas, pada kecepatan angin 7 m/s, diperoleh tegangan sebesar 26,9 Volt, arus sebesar 1,345 Ampere dan daya sebesar 36,19 Watt. Pada kecepatan angin sebesar 8,7 m/s diperoleh tegangan sebesar 28,1 Volt, arus

sebesar 1,405 Ampere dan Daya keluaran sebesar 39,48 Watt. Pada kecepatan angin 9,2 m/s diperoleh tegangan sebesar 28,73 Volt, arus sebesar 1,437 Ampere dan daya sebesar 41,27 Watt begitupun pada kecepatan angin 11,3 m/s, 13 m/s, Seiring dengan bertambahnya kecepatan angin maka tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pun semakin bertambah

H. Perbandingan Daya Keluaran dengan menggunakan dan tanpa menggunakan MPPT

Pada bagian ini akan dibahas mengenai perbandingan hasil pengujian pada sistem tanpa menggunakan MPPT Algoritma *Incremental Conductance*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kecepatan angin yang berbeda. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa range variasi kecepatan angin yang digunakan antara lain 7 m/s, 8,7 m/s, 9,2 m/s, 11,3 m/s dan 13 m/s. Perbandingan ini dilakukan pada satu nilai beban resistif yaitu 20 Ω m/s dengan variasi kecepatan angin. Berikut ini merupakan tabel dari hasil pengujian dan perbandingan sistem tanpa MPPT dan sistem dengan menggunakan MPPT.

TABEL 7. PERBANDINGAN DAYA KELUARAN DENGAN MENGGUNAKAN DAN TANPA MENGGUNAKAN MPPT

V _{Wind} (m/s)	V _{out} (V)			I _{out} (A)			P _{out} (W)		
	Tanpa MPPT	Dengan MPPT (Model A)	Dengan MPPT (Model B)	Tanpa MPPT	Dengan MPPT (Model A)	Dengan MPPT (Model B)	Tanpa MPPT	Dengan MPPT (Model A)	Dengan MPPT (Model B)
7	26,9	31,82	55	1,345	1,591	2,75	36,19	50,63	151,3
8,7	28,1	32,11	57,04	1,405	1,605	2,852	39,48	51,55	162,7
9,2	28,73	32,71	56,21	1,437	1,636	2,81	41,27	53,51	158
11,3	32,33	35,67	53,09	1,617	1,784	2,654	52,28	63,63	140,9
13	35,49	38,31	57,47	1,775	1,915	2,873	62,99	73,38	165,1

Dari Tabel 7 dapat diketahui bahwa daya keluaran maksimum pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan MPPT pada model A sebesar 73,38 Watt, pada sistem menggunakan MPPT pada model B, daya yang dihasilkan sebesar 165,1 Watt sedangkan pada sistem tanpa menggunakan MPPT sebesar 62,99 Watt. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa daya keluaran pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan MPPT lebih besar dibandingkan dengan daya keluaran pada Sistem Pembangkit Tenaga Listrik tanpa menggunakan MPPT. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem MPPT *Incremental Conductance* lebih optimal dalam memperoleh daya maksimum pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis untuk merancang pengendalian daya maksimum pada PLTB menggunakan *Fuzzy Logic* diketahui bahwa masukan *fuzzy logic* berasal dari blok input dari Algoritma yang digunakan yaitu Algoritma *Incremental Conductance* dan *Output* dari *fuzzy* berupa *duty cycle*.

Setelah dilakukan simulasi pada *software Simulink matlab* dengan menerapkan metode MPPT menggunakan algoritma *Incremental Conductance* dan *fuzzy logic* daya

keluaran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan menggunakan MPPT lebih besar dibandingkan dengan sistem Pembangkit Tenaga Listrik tanpa menggunakan MPPT. Daya keluaran pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan MPPT yang dihasilkan pada model A adalah 50,63 Watt sampai 73,38 Watt, pada sistem menggunakan MPPT pada model B adalah 140,9 Watt sampai 165,1 Watt sedangkan pada sistem tanpa menggunakan MPPT pada model A sebesar 36,19 Watt sampai 62,99 Watt. Dengan ini, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan MPPT lebih baik dalam mengoptimalkan daya keluaran dibandingkan dengan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Tanpa Menggunakan MPPT.

REFERENSI

- [1] Agustina,Sita. 2019. Optimalisasi Daya Keluaran Sistem Pembangkit Listriktenaga Angin Dengan Menggunakan Algoritma incremental Conductance Berbasis Fuzzy Logic. Teknik Elektro.Universitas Jember *Assoc. Annu. Summit Conf. APSIPA ASC 2018 - Proc.*, no. November, pp. 1605–1608, 2019, doi: 10.23919/APSIPA.2018.8659542
- [2] Armaditya. 2012. Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Variable Speed Wind Turbine (VSWT) Dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) menggunakan Switch Mode Rectifier (SMR). Jurusan Teknik Elektro ITS. Surabaya.
- [3] BPPT, —outlook energy Indonesia 2016 - Google Search. [Online]. Available: https://www.google.co.id/?gws_rd.
- [4] Dewi,Kusuma. 2002. Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab Dapat diunduh pada <https://scholar.google.co.id/citations?user=z7gcVUQAAAAJ&hl=id>
- [5] Fitriah,Ayu,dkk. 2019. Implementasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berbasis Perturb and Observe (P&O) pada Turbin Angin Stand Alone dengan Kecepatan Angin yang Bervariasi. Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. DI Yogyakarta
- [6] Global Wind Energy Council. —Global Wind Energy Outlook 2016GWEC”, 2017
- [7] Hidayatullah, Nur Asyik., Ningrum, Hanifah Nur Kumala. 2016). Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker. Politeknik Negeri Madiun. ISSN (p): 2338-8323 ISSN (e): 2459-9638
- [8] Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). 2005