

PENGATURAN *PITCH ANGLE* TURBIN ANGIN BERBASIS KENDALI LOGIKA *FUZZY* (Aplikasi Pada Data Angin Daerah Medan Tuntungan dan sekitarnya)

Emir Lutfi Pahlevi ⁽¹⁾, Syiska Yana ⁽²⁾

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

E-mail: emirpahlevi@yahoo.com

Abstrak

Perkembangan kebutuhan tenaga listrik terus meningkat. Hal ini menyebabkan perlunya pengembangan pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu sumber energi listrik ramah lingkungan adalah Turbin Angin. Terdapat beberapa metoda untuk meningkatkan efisiensi kerja turbin angin. *Pitch Angle Control* pada turbin angin (*Wind Turbine*) telah banyak digunakan untuk mengurangi torsi dan variasi daya keluaran saat kecepatan angin yang tinggi. Namun menggunakan kontrol ini untuk memaksimalkan daya yang terdapat pada energi angin juga merupakan pengaruh yang ditimbulkan dengan menambahkan kontrol *pitch angle*. Tulisan ini membahas tentang pengaturan *pitch angle* turbin angin dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang mana kontrol ini mempengaruhi koefisien performansi (*Performance Coefficient*) pada turbin angin. Penelitian ini menghasilkan dasar pengaturan kontrol yang mampu menghasilkan pembangkitan energi angin di Kota Medan khususnya daerah Tuntungan dan sekitarnya menjadi efektif dengan tetap menjaga keamanan kerja turbin angin. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan kendali logika fuzzy pada pengaturan sudut baling-baling turbin mampu meningkatkan efisiensi kerja turbin angin sebesar 11,9% dibandingkan saat menggunakan sudut tetap 10° , dimana sudut tetap sebesar 10° dianggap paling optimal untuk kondisi angin kota Medan.

Kata Kunci : Pitch Angle Control, Wind Turbine, FLC, Performance Coefficient

1. Pendahuluan

Perkembangan kebutuhan masyarakat akan tenaga listrik terus mengalami kenaikan. Hal ini menyebabkan sangat diperlukannya pengembangan energi terbarukan dalam pembangkitan tenaga listrik. Salah satu energi terbarukan yang dapat dikonversikan energinya menjadi energi listrik ialah energi angin.

Penggunaan kecepatan angin sebagai sumber energi listrik dilakukan dengan memanfaatkan kecepatan angin tersebut untuk memutar kincir angin yang dapat digunakan untuk memutar poros rotor dari generator [1].

Ketika membahas mengenai turbin angin, hal yang patut diwaspadai adalah besarnya kecepatan angin yang tidak konstan. Dimana kecepatan angin selalu berubah besarnya setiap saat dan menyebabkan daya yang dibangkitkan menjadi fluktuatif. Kecepatan angin yang tidak konstan ini menimbulkan kebutuhan untuk menambahkan alat kontrol pada turbin angin untuk menjaga daya yang dihasilkan agar tetap maksimal pada tiap besaran angin yang sedang berlangsung. Selain itu, kontrol pada turbin angin juga berfungsi untuk memproteksi turbin angin dari kecepatan

angin yang berlebihan, dimana ketika kecepatan angin sangat tinggi, maka turbin angin perlu untuk berhenti beroperasi.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB r2012a dengan fitur SIMULINK untuk aplikasi pada data angin daerah Medan Tuntungan dan sekitarnya. Simulasi ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penambahan sistem kendali turbin angin yang dipasang pada daerah tersebut.

2. Pengaturan Daya Turbin Angin

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga angin ialah dengan memanfaatkan energi kinetik dari partikel angin bergerak dengan kecepatan tertentu yang ditangkap oleh turbin angin. Baling-baling turbin dirancang sedemikian rupa sehingga memungkinkan untuk menggerakkan poros rotor generator. Baling-baling memutar poros dari turbin yang akan menyebabkan rotor pada generator akan bergerak dan generator mengubah energi rotasi menjadi energi listrik [2].

Sistem pengendalian pada turbin angin terus dikembangkan untuk mendapatkan tangkapan energi yang maksimal. Salah satu pengendalian

yang utama untuk memaksimalkan kinerja dari turbin angin ialah dengan mengendalikan sudut kerja baling-baling turbin angin.

Pembangkitan energi angin terjadi berdasarkan prinsip perubahan energi kinetik angin sebelum dan setelah melewati turbin angin. Energi kinetik yang angin akan dikonversikan menjadi energi mekanik yang memutar turbin angin, turbin angin ini akan terhubung dengan rotor dari generator. Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [1].

Besar daya mekanik (P_m) yang dihasilkan oleh turbin angin didefinisikan dalam Persamaan 1.

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot A \cdot V_w^3 \quad (1)$$

Dimana, ρ adalah massa jenis angin yang merupakan konstanta sebesar $1,225 \text{ kg/m}^3$, A adalah luas daerah sapuan turbin (m^2) dan V_w adalah kecepatan angin sebelum melewati turbin angin (m/s).

Sedangkan, Koefisien performansi, C_p , dinyatakan sebagai perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan total energi angin yang melalui suatu daerah bila tidak terdapat turbin angin tersebut [2].

Besaran nilai C_p tergantung pada *tip speed ratio* (λ) dan sudut *pitch* baling-baling (β) dengan hubungan seperti pada Persamaan 2 dan 3 [2].

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} \quad c_3 \beta \quad c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2)$$

Dimana

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda - 0.88\beta} \quad \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

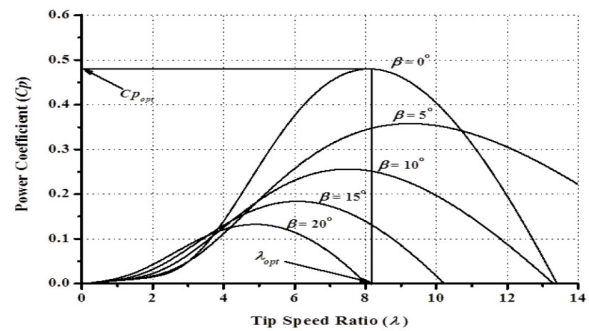
Besaran koefisien c_1 hingga c_6 menunjukkan koefisien karakteristik turbin angin ($c_1 = 0.5176$, $c_2 = 116$, $c_3 = 0.4$, $c_4 = 5$, $c_5 = 21$ dan $c_6 = 0.0068$) [3].

Tip speed ratio, λ , adalah rasio perbandingan antara kecepatan pada ujung baling-baling turbin angin dan kecepatan angin yang dapat dituliskan secara matematis pada Persamaan 4 [3].

$$\lambda = \frac{v_{ujung}}{v_{angin}} = \frac{\omega \cdot R}{v} \quad (4)$$

Dengan menggunakan simulasi MATLAB, maka besaran *Tip speed ratio* akan konstan dengan besar 8,1.

Hubungan antara Koefisien performansi (C_p) dan *Tip speed ratio* (λ) dapat dinyatakan dengan kurva pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. Karakteristik C_p Vs λ dengan *pitch angle*

Melalui persamaan besar daya mekanik (P_m), daya yang didapat dari angin adalah fungsi kubik dari kecepatan angin. Dimana hal ini akan berarti ketika kecepatan angin menjadi dua kali lipat lebih besar, maka daya yang akan dihasilkan menjadi delapan kali lebih besar. Sehingga turbin angin harus didesain agar mampu menahan beban angin yang lebih tinggi dibanding besaran daya yang bisa dibangkitkan untuk menghindari kerusakan [2].

Kecepatan angin yang tinggi hanya berlangsung singkat dan hanya mempengaruhi sedikit dalam proses pembangkitan daya, namun bila tidak dikontrol, maka desain dan biaya pembuatan generator angin akan meningkat hanya untuk memastikan turbin angin mampu menahan besaran angin tersebut [2].

Baling-baling pada turbin angin yang memiliki *pitch control* dapat berubah posisi menjauhi atau mendekati arah datangnya angin saat daya keluaran sangat tinggi ataupun sangat rendah, berurutan. *Pitch control* bekerja relatif cepat dan dapat digunakan untuk membatasi kecepatan rotor dengan mengatur aerodinamika aliran daya. Pada saat kecepatan angin rendah atau sedang, sudut baling-baling diatur agar turbin angin bekerja pada kondisi optimumnya.

Sedangkan saat kecepatan angin sedang tinggi, sudut baling-baling akan dinaikkan agar daya aerodinamika berkurang agar kecepatan rotor bertahan pada kecepatan *rating* [2].

Manfaat yang dapat diambil dengan menggunakan kontrol sudut baling-baling ini adalah peningkatan daya tangkapan turbin

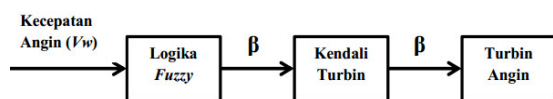
angin. Dengan demikian, maka efisiensi kerja turbin angin dapat ditingkatkan dan menghasilkan energi listrik yang lebih besar. Penambahan kontrol sudut ini juga dapat menghindari daya masukan dari angin yang melebihi kemampuan kerja dari turbin angin dimana hal tersebut dapat menyebabkan perangkat mekanik dan elektronik pada turbin mengalami beban berlebih yang potensial menyebabkan kerusakan [3]

Aplikasi kontrol ini memungkinkan energi yang ditangkap turbin menjadi maksimal saat kecepatan angin rendah dengan memanfaatkan efek *tip speed ratio* yang konstan akibat penambahan kontrol tersebut. Pada saat kecepatan angin rendah, maka *pitch angle* akan diatur pada besaran yang konstan yaitu pada *pitch angle* yang menghasilkan daya terbesar. Sedangkan pada saat kecepatan angin tinggi, maka torsi dan daya akan dibatasi pada P_{rate} yang memiliki besaran konstan [4].

Kontrol logika *fuzzy* sangat bermanfaat ketika dinamika sistem tidak diketahui dengan baik atau ketika mengandung data yang tidak linear, seperti kecepatan angin yang terus berubah-ubah besarnya dan berpotensi menimbulkan turbulensi pada turbin angin [5].

Logika *fuzzy* pertama kali diajukan oleh Lotfi Zadeh dengan tujuan untuk mendapatkan suatu nilai keluaran tanpa masukan yang terlalu presisi. Keuntungan utamanya adalah tidak dibutuhkannya deskripsi analitis dari sistem yang dikontrol [6].

Proses kontrol sudut baling-baling turbin angin akan bekerja dengan proses seperti yang dijabarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram kendali *Pitch Angle* dengan logika *Fuzzy*

Kontrol logika *fuzzy* yang akan menggunakan input berupa berdasarkan deviasi

daya dari nilai *error* P yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 5.

$$P = P_{ref} - P_g \tag{5}$$

Dimana P_{ref} adalah daya yang dinyatakan pada sistem dan P_g adalah daya yang diukur pada generator.

Peraturan yang digunakan adalah berdasarkan besaran *error* daya diatas, dimana ketika *error* daya *zero*, maka tidak ada perubahan sudut yang perlu untuk dilakukan. Ketika *error* bernilai positif, maka daya yang dibangkitkan tidak sesuai referensi dan perlu penyesuaian pada sudut turbin, yaitu dengan menurunkan sudut turbin. Sedangkan saat *error* bernilai negatif, maka daya yang dibangkitkan melebihi besaran referensi dan sudut turbin perlu untuk dinaikkan besarnya.

3. Metode Penelitian

Simulasi dilakukan pada perangkat lunak MATLAB untuk mensimulasikan kendali *pitch angle* turbin angin. Penelitian menggunakan data informasi angin pada kota Medan khususnya daerah Tuntungan dan sekitarnya dengan stasiun pengamat di Kantor BBMKG Wilayah 1 yang tertera pada Tabel 1. Data angin yang diperoleh merupakan data kecepatan angin rata-rata pada tahun 2013-2015. Melalui data ini, maka didapat besaran angin pada kota Medan berkisar antara 1 - 6m/s dengan data terbanyak berada pada kisaran 3 – 4 m/s.

Dengan data yang diperoleh, maka dapat dihitung besaran daya mekanis yang mampu dibangkitkan dengan potensi angin Kota Medan. Besaran daya mekanis ini akan dioptimalkan dengan mengatur sudut kerja baling-baling pada turbin angin sehingga dengan demikian akan didapatkan daya mekanis yang optimal.

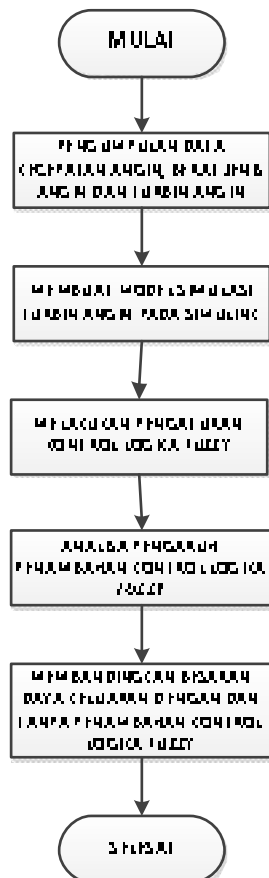
Tabel 1. Kecepatan Angin Rata-Rata Daerah Medan Tuntungan dan Sekitarnya (Dalam m/s)

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2013	4,1	5,3	5,2	2,6	5,0	5,8	4,1	5,0	3,3	4,8	4,0	4,0
2014	3,1	3,3	2,1	2,7	2,7	2,4	2,9	3,5	4,4	4,3	4,1	4,8
2015	3,9	4,6	4,0	3,7	3,8	3,1	4,4	3,0	-	-	-	-

Adapun variabel-variabel yang diamati pada penelitian ini adalah:

- i. V_w :Kecepatan Angin
- ii. P_m :Daya Mekanis Turbin Angin
- iii. P_g :Daya yang dibangkitkan generator
- iv. β :Besarnya sudut yang harus diaplikasikan pada turbin
- v. C_p :Koeffisien performansi turbin angin
- vi. λ :Tip speed ratio turbin angin

Penelitian dilakukan dengan mengacu pada diagram alir yang tertera pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Simulasi dijalankan dengan mengacu pada data angin pada Daerah Medan Tuntungan dan dengan menggunakan perangkat yang telah disediakan pada software MATLAB dengan beberapa perangkat menggunakan spesifikasi yang telah disediakan oleh MATLAB.

Adapun besaran daya mekanis yang paling potensial untuk didapatkan berada pada kecepatan angin diantara 3 – 4 m/s dengan menggunakan besaran C_p maksimal yang didapatkan saat sudut turbin berada pada 0° bernilai 0,48 dengan perhitungan sebagai berikut:

- i. Pada kecepatan angin 3 m/s

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot 1,225.0,48 \cdot (\pi \cdot 2^2) \cdot 3^3 = 99,7 \text{ Watt}$$
- ii. Pada kecepatan angin 4 m/s

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot 1,225.0,48 \cdot (\pi \cdot 2^2) \cdot 4^3 = 236,3 \text{ Watt}$$

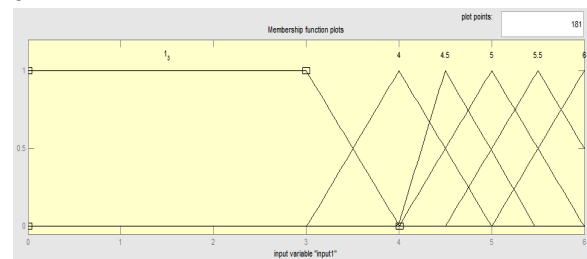
Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, besaran daya mekanis yang memadai untuk daerah kota Medan adalah sebesar 200 Watt yang mana akan didapatkan dengan kecepatan angin sebesar 3,78 m/s. Hal ini menyebabkan perlunya penyesuaian besaran koeffisien performansi (C_p) agar menjaga besaran daya mekanis turbin tetap pada 200 Watt dengan cara merubah besaran sudut turbin (*pitch angle*).

Penyesuaian besaran koeffisien performansi bergantung pada besarnya ubahan sudut kerja baling-baling turbin angin. Besarnya perubahan sudut kerja baling-baling akan disesuaikan dengan tinggi atau rendahnya kecepatan angin yang sedang mengalir. Hubungan antara kecepatan angin dengan besaran sudut pada turbin dapat dilihat pada Tabel 2.

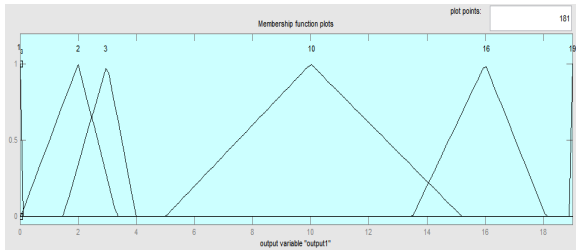
Tabel 2. Hubungan Besaran Sudut Baling-Baling Turbin Angin dengan Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (m/s)	Sudut Baling-Baling Turbin
1	0°
2	0°
3	0°
4	2°
5	10°
6	19°

Selanjutnya, data yang diperoleh akan diterjemahkan dalam logika fuzzy dan membentuk fungsi *membership* yang menjelaskan besaran-besaran fuzzy untuk *input* dan *output* yang ditunjukkan dalam bentuk garis yang terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Fungsi *membership* sinyal *input* pengendali fuzzy (kecepatan angin)



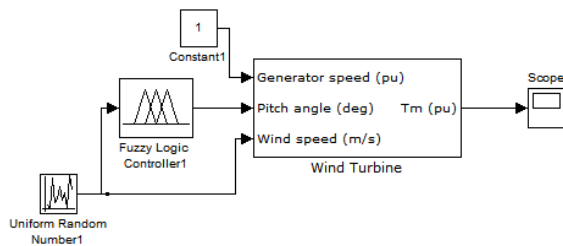
Gambar 5. Fungsi *membership* sinyal *output* pengendali fuzzy (*pitch angle*)

Peraturan-peraturan pada kendali logika fuzzy yang diaplikasikan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Peraturan-peraturan dasar kendali *pitch angle* turbin angin

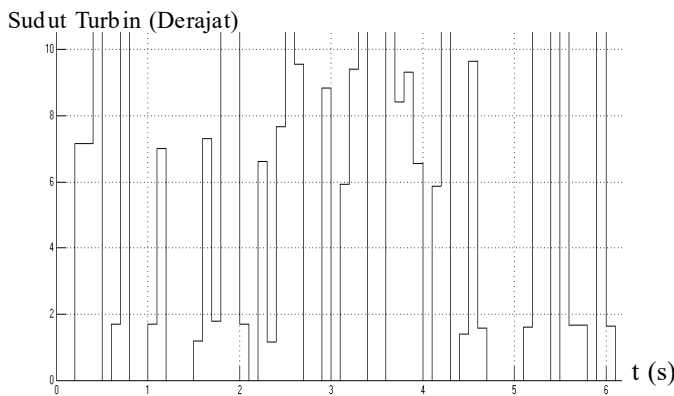
Vwind	1	4	4.5	5	5.5	6
Sudut	0	2	3	10	16	19

Selanjutnya, data tersebut akan diaplikasikan pada simulasi MATLAB dengan rangkaian pada Gambar 5.



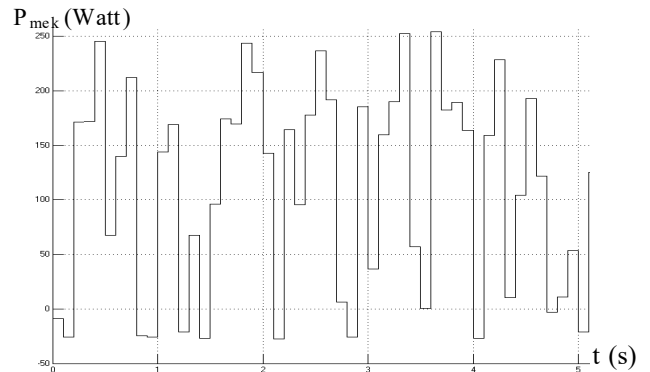
Gambar 5. Rangkaian simulasi kendali *pitch angle* turbin angin dengan logika fuzzy

Tiap variabel kecepatan angin akan menghasilkan besaran sudut baling-baling turbin yang terus berubah seperti pada Gambar 6.



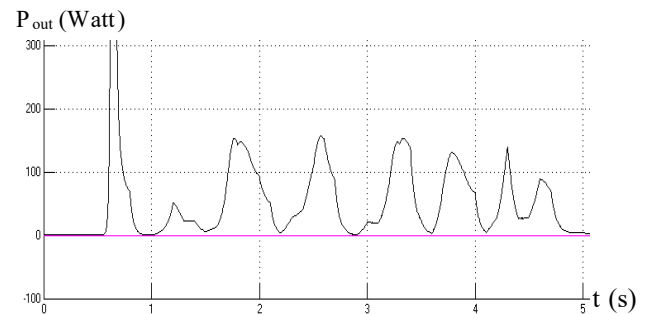
Gambar 6. *Pitch angle* dengan logika fuzzy

Daya mekanis yang dihasilkan turbin dengan penambahan logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 7.



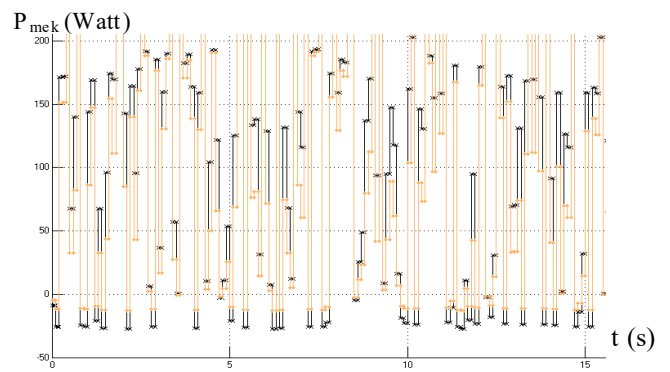
Gambar 7. Pmek turbin dengan logika fuzzy

Sedangkan daya elektrik generator turbin angin dengan penambahan logika fuzzy dapat terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. P_{out} generator turbin dengan logika fuzzy

Perbaikan koefisien performansi dilakukan dengan menambahkan kontrol *pitch angle* pada turbin angin. Besaran sudut kerja yang paling efektif bila turbin menggunakan sudut yang tetap adalah sebesar 10°. Pada Gambar 9 dapat dilihat efek penambahan logika fuzzy pada turbin angin.



Gambar 9. Perbandingan Pmek turbin dengan dan tanpa logika fuzzy.

Dengan penambahan logika fuzzy, daya yang dihasilkan lebih baik dan lebih aman

sebagai masukan generator pada turbin. Rata-rata daya yang didapatkan dengan sudut tetap 10° yaitu sebesar 100,7 Watt dibandingkan dengan kendali logika *fuzzy* sebesar 112 Watt, maka terdapat keuntungan berupa besaran daya yang dapat dihasilkan dengan penambahan logika *fuzzy* sebesar 11,9%.

5. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan pengaturan *pitch angle* turbin angin akan menangkap energi angin secara optimal untuk kemudian dikonversi oleh generator dengan besaran 112 Watt per turbinnya dibandingkan tanpa pengaturan yang hanya mendapatkan 100,7 Watt dimana terdapat selisih sebesar 11,3 Watt atau peningkatan efisiensi kerja turbin angin sebesar 11,9%.
2. Turbin angin yang dilengkapi pengaturan *pitch angle* dengan logika *fuzzy* yang disimulasikan pada program MATLAB, dengan kecepatan angin berada pada 1 – 6 m/s, akan mendapatkan daya mekanis sebesar 112 watt.
3. Sudut tetap yang paling aplikatif pada penelitian ini berada pada sudut 10° . Namun demikian, terdapat selisih sebesar 11,9% dimana turbin dengan pengaturan *pitch angle* dengan logika *fuzzy* dapat menangkap daya lebih besar.

Daftar Pustaka

- [1] “Kajian Pembuatan SKEA (Sistem Konversi Energi Angin) Di Sumatera Utara”, Badan Penelitian dan Pengembang Provinsi Sumatera Utara, Sumatera Utara,
- [2] Jasmin Martinez, “Modelling and Control of Wind Turbine” Master Thesis, Imperial College, London, 2007
- [3] M. Rosyadi, S. M. Muyeen, R. Takahashi & J. Tamura, “A Design Fuzzy Logic Controller to Enhance the Dynamic Stability of Wind Farms”, MDPI, Basel, 2012
- [4] J. M. Carrasco, E. Galvan & R. Portillo, “Wind Turbine Application”, Elsevier Inc., 2007
- [5] J. Zhang, M. Cheng, Z. Chen & X. Fu, “Pitch Angle Control for Variable Speed Wind Turbines”, Nanjing, Cina, 2008
- [6] A. V. A. Macedo & W. S. Mota, “Wind Turbine Pitch Angle Control Using Fuzzy Logic”, IEEE. 2012