SIMULASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *BAYU* PADA PLTH *BAYU* BARU BANTUL D.I. YOGYAKARTA

Izzuddin Robbany, R. M. Sisdarmanto Adinandra

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia
14524079@students.uii.ac.id
s.adinandra@uii.ac.id

***Abstrak*—Energi listrik merupakan kebutuhan sehari-hari manusia yang tidak dapat dipisahkan, bahkan kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal ini terbukti dari pembangunan pembangkit energi-energi tebarukan pada daerah-daerah yang berpotensi. Daerah Pantai Baru adalah salah satu yang sangat berpotensi menghasilkan energi listrik melalui turbin angin. Oleh karena itu dibutuhkan simulasi sistem pembangkit listrik tenaga *bayu* untuk mengetahui keluaran daya listrik. Penelitian ini melakukan pengambilan data lapangan dari tegangan dan arus turbin angin di PLTH *Bayu* Baru. Proses simulasi sistem membutuhkan model matematis sehingga diperlukan penentuan model matematis berdasarkan kecepatan angin (m/s). Validasi data dapat diukur berdasarkan nilai ketelitian dari perbandingan pengambilan data lapangan dan proses simulasi. Perbandingan proses simulasi dan pengambilan data lapangan didapatkan nilai MAE sebesar 22.81%. Hasil tersebut menunjukkan nilai *error* yang cukup baik dalam perbandingan proses simulasi dan *pengambilan data lapangan*. Namun, dengan melihat kesamaan grafik yang cukup baik, diharapkan dapat membantu sistem operasi PLTH *Bayu* Baru dalam proses simulasi.**

***Kata kumci*—Daya Listrik; Model; PLTB**

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia tersimpan kekayaan alam yang banyak. Sehingga para ilmuwan menjadikan Indonesia salah satu negara yang dapat menghasilkan sumber energi yang potensial. Energi alternatif adalah energi pengganti yang berpotensi dapat mengganti sumber energi tak dapat terbarukan menjadi energi yang dapat terbarukan. Energi alternatif dan yang dapat terbarukan, seperti: air, angin, matahari, dan lainnya.

Namun, energi alternatif tersebut hanya dimanfaatkan oleh sebagian orang saja. Sumber energi tak terbarukan dan terbarukan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Kebutuhan listrik yang meningkat setiap tahunnya, maka energi terbarukan dapat menjadi solusi kebutuhan listrik tersebut. Energi terbarukan merupakan energi yang bersumber dari alam sehingga tak habis-habis dan ramah terhadap lingkungan. Energi terbarukan menjadi teknologi yang sangat berkembang pada saat ini. Salah satu energi terbarukan yang cukup potensial adalah energi angin.

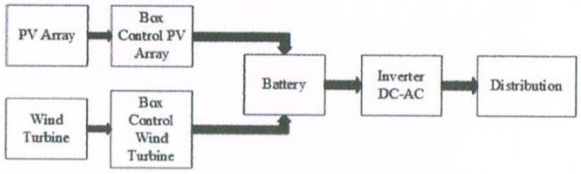
Energi angin merupakan energi yang tak habis-habis dan ramah terhadap lingkungan sehingga salah satu solusi energi terbarukan di Indonesia saat ini. Energi angin menjadi tak habis-habis karena bersumber dari alam. Kemudian energi angin juga menjadi ramah terhadap lingkungan karena tidak merusak alam dan membuat dampak buruk atau dampak negatif terhadap lingkungan disekitarnya. Ketersediaan energi angin di Indonesia mempunyai tingkat ketersedian cukup banyak dan stabil. Hal tersebut karena letak Indonesia yang terdiri dari berbagai pulau-pulau, sehingga energi angin menjadi salah satu sumber energi yang berpotensi sebagai penghasil energi listrik.

Sebagian kecil daerah pantai di Indonesia yang menggunakan energi angin sebagai sistem pembangkit listrik tenaga angin. Permasalahan yang timbul dari pembangkit listrik tenaga *bayu* adalah bervariasinya lingkungan di Indonesia. Kecepatan angin yang ada di daerah pantai berbeda-beda, maka dibutuhkan teknologi simulasi sistem pembangkit listrik tenaga angin untuk mendukung sistem operasi pada daerah tersebut. Kecepatan angin di daerah pantai menjadi salah satu *input* yang digunakan pada simulasi. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai simulasi sistem pembangkit listrik tenaga *bayu* pada PLTH *Bayu* Baru, Bantul, D.I. Yogyakata.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Pmebangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)*

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan dua jenis pembangkit. PLTH yang berada di Pantai Baru merupakan pembangkit memanfaatkan gabungan 2 energi yaitu energi angin dan energi matahari agar dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Gambar 1 dibawah ini merupakan skema dari sistem pembangkit listrik tanaga *hybrid*.



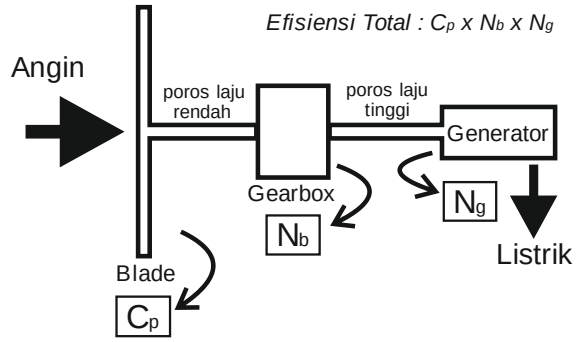
Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*

B. Energi Angin

Pada dasarnya energi angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin pada beberapa tempat di muka bumi [1]. Oleh karena itu, Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber energi angin yang baik.

C. Turbin Angin

Energi listrik dihasilkan dari energi gerak angin yang menggerakkan kincir sehingga menjadi energi putar pada kincir angin yang dipengaruhi oleh efesiensi kincir (C_p) tersebut. Kemudian putaran kincir tersebut digunakan untuk memutar *gearbox* dan dipengaruhi efesiensi *gearbox* (N_b) tersebut. *Gearbox* membuat putaran menjadi lebih besar dari sebelumnya, sehingga dapat memutar genetor lebih baik. Efiesiensi generator (N_g) akan mempengaruhi perputaran dari generator. Hal tersebut disebut prinsip dasar kerja dari turbin angin. Generator merupakan salah satu komponen yang akan menghasilkan listrik pada rangkaian turbin angin [2]. Gambar 2.2 adalah prinsip kerja turbin angin.



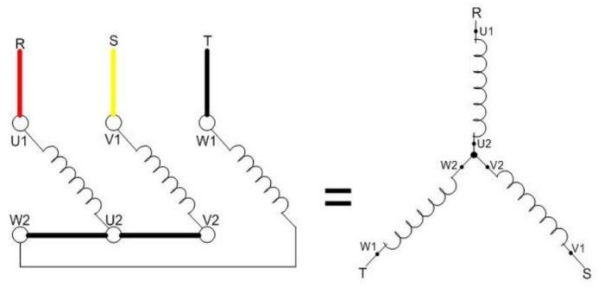
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin[2]

D. Anemometer

Anemometer merupakan sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur RPM dan kecepatan angin. Kecepatan angin diukur dengan cara menghitung beberpa lubang kecil yang telah ditetapkan, sehingga dapat membaca kecepatan angina yang berputar secara vertikal [3].

E. Perhitungan Data Lapangan

Salah satu teknik instalasi 3 fase adalah sistem hubungan bintang. Setiap fase terhubung dengan satu titik. Titik tersebut dihubungankan dengan fase netral [4]. Gambar 2.5 menunjukkan sistem 3 fasa hubungan bintang.



Gambar 2. 3 Sistem 3 Fasa Hubungan Bintang

Pada beban yang setimbang, diketahui persamaan [1] untuk daya tiga fase sebaga berikut.

$$P = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos\varphi \,, \quad (1)$$

dengan nilai :

P = daya listrik tiga fasa (watt)
V_{line} = tegangan pada fasa (volt)
I_{line} = arus pada fasa (ampere)
$\cos\varphi$ = koefesian faktor daya

F. Model Matematis Turbin Angin

Model matematis bermula dari energi kinetik yang bergerak melalui massa udara. Dibawah ini menunjukkan energi kinetik akan berbading lurus dengan kecepatan angin pada turbin sebagaimana persamaan 2.1 sebagai berikut [5],

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2, \quad (2)$$

dengan nilai :

m = massa udara (kg)
v = kecepatan angin (m/s)

Laju perubahan massa diperoleh persamaan.

$$m = \rho A v, \quad (3)$$

dengan nilai :

ρ = kerapatan udara (kg/m^3)
A = daerah turbin yang mengalir angin (m^2)

Dengan diperoleh persamaan (2.1) dan persamaan (2.2), maka akan menjadi daya total kinetik. Daya total kinetik akan berbanding lurus dengan koefesien turbin (C_p) untuk mengubah daya total kinetik menjadi daya mekanik. Koefesien turbin (C_p) mempunyai nilai maksimal yaitu 0.59, nilai tersebut dikenal sebagai batas betz [5]. Oleh karena itu, daya mekanik dapat dituliskan sebagai berikut,

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p, \quad (4)$$

dengan nilai :

P_m = daya mekanik (watt)

Perubahan daya mekanik menjadi energi listrik akan melalui generator. Oleh karena itu, efesiensi generator menjadi faktor pengalidalam perubahan daya tersebut [6]. Persamaan matematis dituliskan sebagai berikut

$$P_{listrik} = P_m N_g, \quad (5)$$

dengan nilai :

N_g = efesiensi generator
$P_{listirk}$ = daya listrik (watt)

G. Menghitung MAE

Mean Absolute Error (MAE) atau MAPE merupakan metode untuk mengukur ketelitian dengan menghitung selisih antara daya listrik simulasi dengan pengambilan data lapangan. Persamaan MAE dituliskan sebagai berikut

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} \left| (y(t) - \hat{y}(t)) \right|, \quad (6)$$

dengan nilai :

$y(t)$ = daya keluaran simulasi
$\hat{y}(t)$ = hasil pengambilan data lapangan
n = banyak data.

III. METODE PENELITIAN

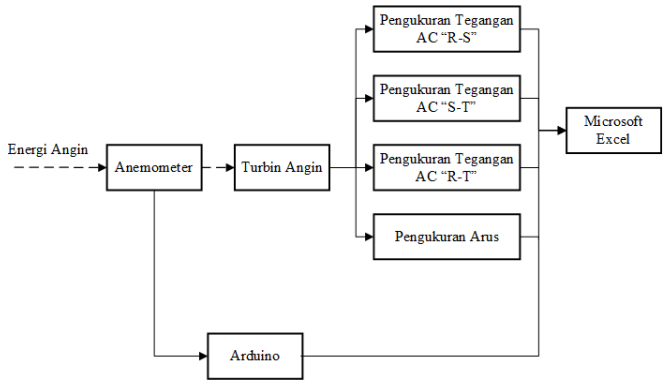
Metode yang digunakan dalam proses membuat simulasi sistem pembangkit listrik tenaga *bayu* dan memvalidasinya. Proses tersebut terbagi menjadi dua yaitu: pengambilan data lapangan dan perancngan simulasi. Pengambilan data lapangan merupakan proses pengambilan data secara langsung dari keluaran generator $1kW/240V$ yang terhubung dengan turbin angin pada PLTH *Bayu* Baru. Mengukur kecepatan angin merupakan salah satu bagian dari pengukuran riil dengan menggunakan anemometer yang telah terpasang sebelumnya. Proses pengukuran riil berlangsung selama 24 jam dengan waktu *sampling* (t_s) setiap satu jam.

Perancangan simulasi adalah proses pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan *LabView* dan model matematis tertentu. Penentuann model matematis berdasarkan parameter-paramaeter turbin angin. Kecepatan angin yang telah diukur akan menjadi *variable input* dari proses simulasi. Data *input* terdiri atas beberapa kecepatan angin, maka diperlukan proses presisi data untuk membuat data *input* tersebut menjadi data tunggal kecepatan angin pada setiap jamnya. Proses presisi data dilakukan oleh *Microsoft Excel*. *LabView* akan memproses data tunggal kecepatan angin menjadi *input* dari model matematis yang telah ditentukan. Kemudian model matematis akan menghasilkan *output* berupa daya listrik.

Selanjutnya proses verifikasi dan validasi data dilakukan dengan membandingkan daya listrik yang dihasilkan pada pengambilan data lapangan dan daya listrik yang dihasilkan pada proses simulasi. Proses validasi data menggunakan persamaan (6) sehingga didapatkan nilai *error* dari perbandingan data keduanya. angin yang baik.

A. *Pengambilan Data Lapangan*

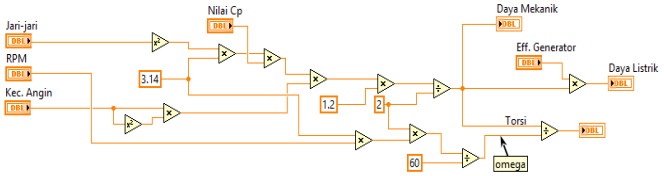
Pengambilan data lapangan didapatkan melalui pengukuran menggunakan *clampmeter* dan multimeter. Pengukuran diasumsikan sebagai sistem 3 fase hubungan bintang sehingga didapatkan daya listrik dengan menggunakan persamaan (1). Gambar 3.1 menunjukkan proses pengmabilan data lapangan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengambilan Data Lapangan

B. *Perancangan Simulasi*

Perancangan simulasi bermula dengan menggunakan *Tab Delimited Data* untuk memasukkan data dari *Microsoft Excel* ke dalam LabView serta memisahkan data-data tersebut dengan menggunakan fungsi *Array* pada LabView. Data tersebut menjadi *input* dari model yang telah ditentukan, lalu modelnya dijadikan sub-LabView dan diletakkan dalam *for loop* agar perulangan data dapat dieksekusi. Perancangan Simlasi menggunakan model matematis berdasarkan parameter-parameter yang digunakan oleh sistem pembangkit listrik tenaga *bayu* di PLTH *Bayu* Baru. Gambar 3.4 merupakan sub-LabView yang menggambarkan model matematis turbin angin.



Gambar 3.2 Model Matematis

C. *Validasi Data*

Validasi data merupakan proses memeriksa kebeneran model matematis yang telah digunakan. Proses verifikasi data dilakukan dengan membandingkan data. Data yang dibandingkan adalah data pengambilan data lapangan dan data keluaran simulasi. Kedua data keluarannya akan dibandingkan dengan menggunakan pendakatan melalaui grafik. Hasil pendekatan grafik tersebut akan menggambarkan perbedaan diantara keduanya. Hasil keluaran data lapangan maupun simulasi dapat dilihat keakurasian dan ketelitiannya dengan menggunakan metode RMSE. Metode tersebut dilakukan untuk menghitung nilai RMSE dengan menggunakan persamaan (6).

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. *Hasil Data Lapangan*

Hasil pengambilan data lapangan satu turbin yang menggunakan generator $1kW/240V$ dilakukan selama 24 jam dengan waktu *sampling* (t_s) satu jam. Nilai tegangan tiap fasa yang terhubung bintang ke beban dan mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda setiap fasa, maka dapat diasumsikan bahwa nilai tersebut seimbang. Apabila beban yang tehubung bintang dan nila tegangan tiap fasa seimbang sehingga persamaan (1) dapat digunakan untuk mengetahui nilai daya tiga fasenya.

Tabel 4.1
Hasil Perhitungan Tegangan di Lapangan

Pukul	**Tegangan** ($volt$)	**Arus** ($ampere$)	**Daya Listrik** ($watt$)
00:00:00	0	0	0
01:00:00	0	0	0
02:00:00	0	0	0
03:00:00	0	0	0
04:00:00	0	0	0
05:00:00	0	0	0
06:00:00	0	0	0
07:00:00	0	0	0
08:00:00	0	0	0

Pukul	Tegangan ($volt$)	Arus ($ampere$)	Daya Listrik ($watt$)
09:00:00	0	0	0
10:00:00	175,595	0,93	163,30335
11:00:00	121,792	0,97	118,13824
12:00:00	143,763	0,91	130,82433
13:00:00	329,219	0,86	283,12834
14:00:00	385,79	0,72	277,7688
15:00:00	338,215	0,7	236,7505
16:00:00	342,713	0,81	277,59753
17:00:00	189,089	0,96	181,52544
18:00:00	214,52	1,1	235,972
19:00:00	252,58	1,08	272,7864
20:00:00	0	0	0
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0

Bedasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa menurut persamaan (1) turbin tidak dapat menghasilkan daya listrik ketika salah satu indikator yaitu tegangan dan arus bernilai nol. Nilai arus pada pengukuran akan tetap terbaca pada saat nilai tegangan bernilai nol karena sistem turbin di daerah Pantai Baru telah terbuhung dengan beban yaitu baterai. Kemudian nilai tegangan yang sangat kecil tidak akan terbaca oleh sistem turbin sehingga tidak akan menghasilkan daya listrik. Hal tersebut terjadi karena turbin memutar turbin pada kecepatan angin 2 – 3 m/s. Oleh karena itu, nilai menjadi tidak terbaca ketika turbin berputar dibawah kecepatan tersebut.

B. *Hasil Perancangan Simulasi*

Hasil proses yang dilakukan selama 24 jam dengan waktu *sampling* (t_s) satu jam dan menggunakan asumsi seratus kali pada simulasi, maka didapatkan data *input* dan *output* seperti pada Tabel 4.2 dibawah ini.

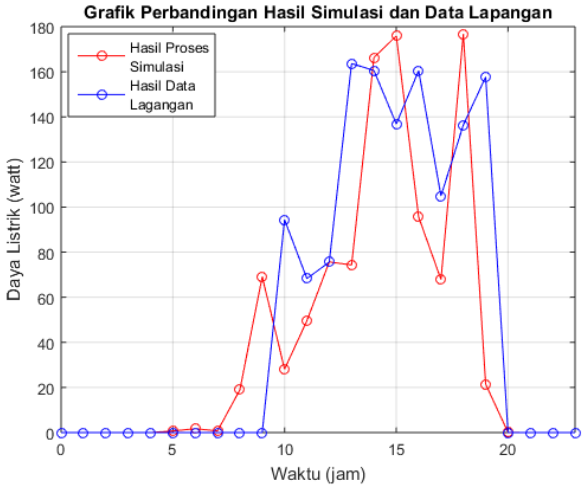
Tabel 4.2
Hasil Proses Simulasi

Pukul	RPM (rpm)	Kec. Angin ($^m/_s$)	Daya Listrik ($watt$)
00:00:00	0	0	0
01:00:00	0	0	0
02:00:00	0	0	0
03:00:00	0	0	0
04:00:00	0	0	0
05:00:00	34	0.283667	1.19884
06:00:00	46	0.384	2.97391
07:00:00	34.8	0.29	1.28094
08:00:00	100.6	0.857667	33.1353
09:00:00	157.4	1.32067	120.98
10:00:00	116.8	0.978333333	49.1808
11:00:00	138.6	1.182333333	86.807
12:00:00	161.2	1.361	132.406
13:00:00	120	1.353	130.085
14:00:00	204.8	1.769666667	291.078
15:00:00	215.2	1.803	307.838
16:00:00	177	1.471333333	167.289
17:00:00	159.933333	1.312666667	118.795
18:00:00	216.6	1.806	309.377
19:00:00	106.8	0.894333333	37.5693
20:00:00	15.2	0.126667	0.106739
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0

Bedasarkan Tabel 4.2 nilai daya listrik didapat melalui proses simulasi yang memiliki kecepatan angin dari daerah Pantai Baru. Kecepatan angin tersebut sangat mempengaruhi hasil dari persamaan, sehingga saat siang hari merupakan waktu yang efektif dalam menghasilkan daya listrik pada simulasi. tersebut.

C. *Validasi Data*

Daya listrik yang dihasilkan dari simulasi dan pengambilan data lapangan dilakukan validasi dengan membandingkan keduanya. Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan daya listrik data lapangan dan simulasi.



Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Daya Listrik

Berdasarkan Gambar 4.2 selisih grafik yang terjadi pada sistem pembakit listrik tenaga *bayu* di PLTH *Bayu* Baru sangat berbeda. Hal tersebut dapat terjadi karena pengukuran energi angin menggunakan anemometer sehingga kecepatan angin yang kecil dapat terbaca dan menjadi *input* untuk daya listrik pada simulasi. Sementara itu, grafik biru merupakan pengambilan data lapangan yang dapat menghasilkan daya listrik setelah energi angin berada pada kecepatan tertentu.

Untuk mengetahui ketelitian perbandingan pengambilan data lapangan dengan proses simulasi dapat dilihat berdasarkan nilai MAE. Namun, metode MAE menggunakan data simulasi pada pukul 10.00 – 19.00 agar perbandingannya sesuai dengan pengambilan data lapangan. Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan nilai MAE.

Tabel 4.3
Perbandingan Nilai MAE

Pukul	Daya Listrik Simulasi (y(t))	Daya Listrik Lapangan (ŷ(t))	y(t) - ŷ(t)
00:00:00	0	0	0
01:00:00	0	0	0
02:00:00	0	0	0
03:00:00	0	0	0
04:00:00	0	0	0
05:00:00	0	0	0
06:00:00	0	0	0
07:00:00	0	0	0
08:00:00	0	0	0
09:00:00	0	0	0
10:00:00	49.1808	163.30335	-114.12255
11:00:00	86.807	118.13824	-31.33124
12:00:00	132.406	130.82433	1.58167
13:00:00	130.085	283.12834	-153.04334
14:00:00	291.078	277.7688	13.3092
15:00:00	307.838	236.7505	71.0875
16:00:00	167.289	277.59753	-110.30853
17:00:00	118.795	181.52544	-62.73044
18:00:00	309.377	235.972	73.405
19:00:00	37.5693	272.7864	-235.2171
20:00:00	0	0	0
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0
JUMLAH			-547.36983

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa hasil perbandingan proses simulasi dan pengambilan data lapangan mendapatkan nilai sigma (Σ) sebesar -547.36983. Sehingga dengan meggunakan persamaan (2.7) didapatkan nilai MAE sebagai berikut,

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|(y(t) - \hat{y}(t))\right|$$

$$= \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|-547.36983\right|$$

$$MAE = 22{,}81\%$$

Nilai ketelitian atau nilai *error* dapat menunjukkan keberhasilan model matematis yang digunakan. Dengan nilai MAE di atas menunjukkan bahwa antara model matematis dan data lapangan memiliki nilai yang cukup berbeda. Oleh karena itu, proses simulasi berhasil dilakukan dengan persentase dan memerhatikan kesamaan grafik dari proses simulasi dan pengambilan data lapangan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang diuraikan pada Bab 4 mengenai proses simulasi sistem pembangkit listrik tenaga *bayu* di PLTH *Bayu* Baru, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan proses simulasi dan pengambilan data lapangan didapatkan nilai MAE sebesar 22,81%. Hasil tersebut menunjukkan nilai *error* yang cukup baik dalam perbandingan proses simulasi dan pengambilan data lapangan. Namun, dengan melihat kesamaan grafik yang cukup baik, diharapkan dapat membantu sistem operasi PLTH *Bayu* Baru dalam proses simulasi.
2. Pengimplementasian model matematis pada LabView berhasil dilakukan. Sehingga model tersebut relevan untuk menjadi referensi dalam sistem pembangkit listrik tenaga *bayu* yang saya teliti.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Kadir, "Energi: sumberdaya, inovasi, tenaga listrik, potensi ekonomi," Kedua., UI-Press, 2013, hal. 216–217.

[2] R. Sumiati dan A. Zamri, "Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran," *Jur. Tek. Mesin Politek. Negeri Padang*, vol. 3, hal. 1–8, 2013.

[3] M. Azlina dan T. Tamba, "Pembuatan Alat Ukur Kecepatan Angin," *Alat Ukur*, no. Alat ukur kecepatan Angin, hal. 13, 2013.

[4] S. Pakpahan dan M. Neidle, "Teknologi Instalasi Listrik," 3 ed., Jakarta: Erlangga, 1999, hal. 78–79.

[5] A. W. Manyonge, R. M. Ochieng, dan F. N. Onyango, "Mathematical Modelling of Wind Turbine in a Wind Energy Conversion System :," *Marthematical Sci.*, vol. 6, no. 91, hal. 4527–4536, 2012.

[6] Subrata, "Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin 1kW Berbantuan Simulink Matlab," 2014.