

ESTIMASI KONSUMSI ENERGI LISTRIK BALI BERBASIS ANN

Putu Arya Mertasana

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran Bali 80361, tlp (0361)703315

Email : mertasana@ee.unud.ac.id

Abstrak

Aspek yang sangat penting dan strategis untuk menunjang perencanaan operasi yang optimal dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ditinjau dari keandalan sistem maupun ekonomi sistem tenaga listrik adalah proses peramalan atau estimasi. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan konsumsi energi listrik pada sistem kelistrikan Bali jangka pendek bulanan yang berbasis pada *Artificial Neural Network* (ANN). Penelitian ini mengambil data dari tahun 2005 – 2012. Data diperoleh di PT. PLN Persero Unit Bisnis Distribusi Bali. Selanjutnya data dibagi dalam dua set yaitu *training set* dan *validation set*. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membantu proses peramalan tersebut adalah MATLAB R 2007b. Penelitian dengan menggunakan pendekatan ANN ini menghasilkan *error* yang kecil dan *MAPE* (*mean absolut percentage error*) yang dihasilkan adalah 4.51 %. Angka ini menunjukkan bahwa model ANN memiliki ketelitian yang baik dan cukup baik digunakan untuk peramalan pada masa yang akan datang.

Kata Kunci : Estimasi , ANN, MAPE , Energi Listrik.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik memiliki peran sangat penting dalam kehidupan manusia sejak zaman dahulu. Energi berperan sangat penting dalam pembangunan suatu negara. Pembangunan akan terlaksana dengan baik sesuai dengan rencana apabila pembangunan di bidang energi berjalan seiring dan mendukung pembangunan nasional, oleh karena itu kebijakan energi menjadi sangat penting dan strategis. Negara-negara maju tidak akan mencapai tingkat kemajuannya tanpa mempergunakan energi secara luas. Di negara-negara maju orang cukup menekan tombol di pabrik, di rumah, di jaringan telekomunikasi, di jaringan pengangkutan dan bereslah semuanya [1]. Di negara berkembang saat ini mulai dirasakan seperti itu termasuk Indonesia. Untuk mencapai itu semua haruslah tersedia energi listrik yang cukup melalui perencanaan yang terpadu.

Energi listrik secara alamiah memiliki sifat yang unik yaitu tidak dapat disimpan dalam jumlah yang besar. Energi listrik harus dapat diproduksi dan disalurkan kepada pemakai dalam kuantitas dan kualitas yang tepat saat dibutuhkan. Oleh karena itu perencanaan pengembangan energi perlu dilakukan secara cermat, yaitu melalui proyeksi kebutuhan pada masa yang akan datang [4]. Energi menggambarkan kompleksitas sistem sosio ekonomi tertentu. Kegiatan manusia dalam sistem yang lebih kompleks akan terkait erat dengan interaksi produksi, transformasi, konversi dan konsumsi energi. Sistem energi sebagai bagian dari sistem sosio ekonomi tergantung pada berbagai perubahan yang terjadi secara terus menerus. Pola dan struktur permintaan energi berubah secara cepat seiring

dengan perubahan pasar dan teknologi. Pergeseran pemakaian energi dari tradisional ke komersial juga perlu diperhatikan supaya dapat ditentukan tingkat pertumbuhan permintaan energi komersial dan kebutuhan investasi sektor energi tersebut. Agar supaya perencanaan energi dapat dilaksanakan dengan baik maka perlu dilakukan estimasi sehingga implementasinya dapat menjadi lebih baik.

Beberapa metode peramalan jangka pendek telah dikenal dewasa ini, mulai dari metode yang konvensional seperti regresi linier, arima, rata-rata bergerak (*moving average*) sampai metode yang berbasis *Artificial Intelligence* (AI) seperti *fuzzy*, *artificial neural network* (ANN) dan *neuro fuzzy*. Dalam penelitian ini metode yang dikembangkan adalah metode *Artificial Neural Network* (ANN). Metode ini mulai dikenal dan digunakan secara populer oleh karena memiliki tingkat ketelitian atau akurasi yang cukup baik.

Pertumbuhan ekonomi Indonesia sebelum krisis ekonomi terlihat cukup tinggi dan ternyata penggerak utama pertumbuhan tersebut adalah sektor industri. Sektor ini membuat permintaan akan energi terus meningkat. Semakin besar energi yang dibutuhkan maka semakin banyak pula pusat-pusat listrik yang harus dibangun dan sudah dapat dipastikan bahwa semakin banyak memerlukan bahan bakar. Bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas, batu bara masih mendominasi penyediaan energi listrik. Energi primer tersebut pembentukannya memerlukan waktu jutaan tahun dan apabila terus menerus dieksploitasi maka persediannya akan semakin langka dan cenderung menjadi mahal. Tidak dapat disangkal bahwa setiap zaman, kebutuhan akan sumber-sumber energi tidak hanya disebabkan oleh adanya peningkatan jumlah

penduduk tetapi juga oleh dorongan faktor produktivitas sehingga pemanfaatan sumber energi terus menerus mengalami peningkatan. Untuk mengetahui dan memenuhi besarnya permintaan atau konsumsi energi listrik maka perlu dilakukan perhitungan melalui peramalan atau estimasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Artificial Neural Network (ANN)

Pada banyak literatur berbahasa Indonesia, *Artificial Neural Network (ANN)* sering diterjemahkan sebagai Jaringan Syaraf Tiruan (JST). *Artificial Neural Network (ANN)* adalah suatu arsitektur jaringan untuk memodelkan cara kerja sistem saraf manusia (otak) dalam melaksanakan tugas tertentu. Pemodelan ini didasari oleh kemampuan otak manusia dalam mengorganisasi sel-sel penyusunnya (yang disebut *neuron*), sehingga memiliki kemampuan untuk melaksanakan tugas-tugas tertentu khususnya pengenalan pola dengan efektivitas jaringan sangat tinggi [7]. Sebagai sistem yang mampu menirukan perilaku manusia, umumnya sistem mempunyai ciri khas yang menunjukkan kemampuan dalam hal :

1. Menyimpan informasi.
2. Menggunakan informasi yang dimiliki untuk melakukan suatu pekerjaan dan menarik kesimpulan.
3. Beradaptasi dengan keadaan baru.
4. Berkomunikasi dengan penggunanya.

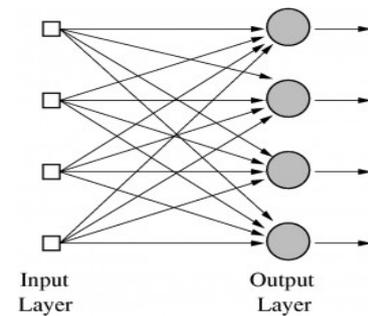
Keunggulan yang utama dari sistem ANN adalah adanya kemampuan untuk “belajar” dari contoh yang diberikan. Sedangkan kelemahan utama dari sistem ANN yakni dibutuhkan pelatihan untuk pengoperasiannya dan dibutuhkan waktu yang lama untuk memproses *Artificial Neural Network (ANN)* yang besar. Tetapi, model ANN yang ada tentu saja sangat jauh lebih sederhana dibandingkan dengan sistem saraf manusia yang sebenarnya. Suatu jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh 3 hal :

1. Pola-pola hubungan antar *neuron* yang disebut arsitektur jaringan.
2. Metode penentuan bobot penghubung yang disebut metode *training/ learning/ algoritma*.
3. Fungsi aktivasi yang digunakan.

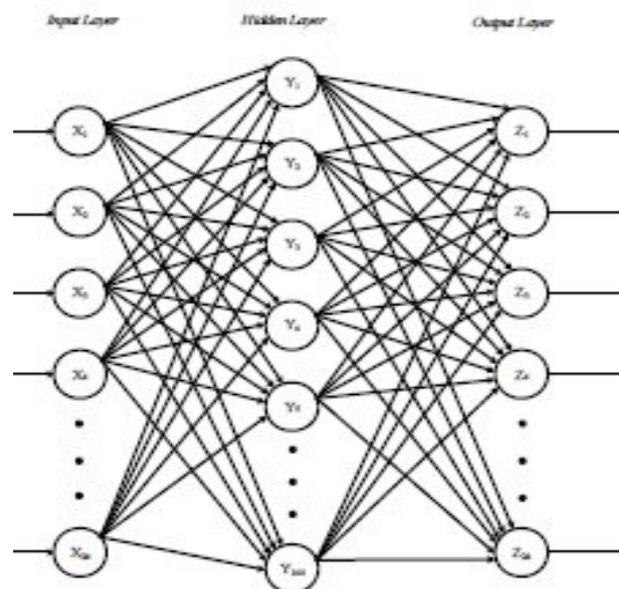
Berdasarkan jumlah *layer*, arsitektur *Artificial Neural Network (ANN)* dapat diklasifikasikan menjadi dua kelas yang berbeda, yaitu [8]:

1. Jaringan layar tunggal (*single layer network*) : Semua unit *input* dalam jaringan ini dihubungkan dengan semua unit *output*, meskipun dengan bobot yang berbeda-beda.
2. Jaringan layar jamak (*multi layer network*) : Jaringan layar jamak merupakan perluasan dari layar tunggal. Jaringan layar jamak memperkenalkan satu atau lebih layar tersembunyi (*hidden layer*) yang mempunyai

simpul yang disebut *neuron* tersembunyi (*hidden neuron*).



Gambar 1. Single Layer Network[6]



Gambar 2. Multi Layer Network[9]

Berdasarkan arah aliran sinyal masukan, arsitektur *Artificial Neural Network (ANN)* dapat diklasifikasikan menjadi dua kelas yang berbeda, [6] yakni :

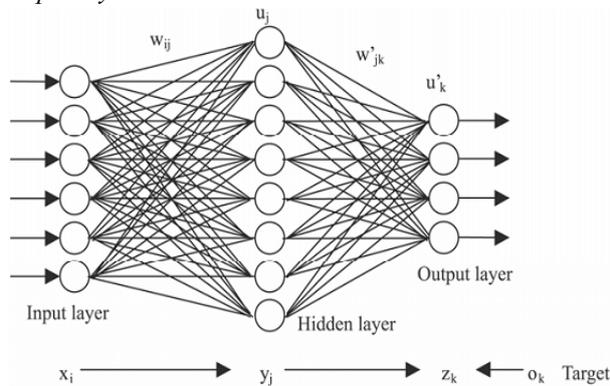
1. Unit *input* ke unit *output* dalam arah maju. Jaringan Umpan Maju (*Feedforward Network*), dalam jaringan umpan maju, sinyal mengalir dari
3. Jaringan dengan Umpan Balik (*Recurrent Networks*), pada jaringan *recurrent* terdapat *neuron output* yang memberikan sinyal pada unit *input* (sering *feedback loop*).

2.1.1 Perambatan Balik (*Backpropagation*)

Jaringan *Backpropagation* merupakan salah satu model jaringan yang populer pada *Artificial Neural Network (ANN)*. Model ini banyak digunakan untuk diaplikasikan pada penyelesaian suatu masalah yang berkaitan dengan identifikasi, prediksi, pengenalan pola dan sebagainya.

2.1.1.1 Arsitektur Backpropagation

Secara garis besar *Backpropagation* terdiri atas tiga lapis (*layer*) yaitu *input layer*, *hidden layer*, dan *output layer*.



Gambar 3. Arsitektur Backpropagation[8]

Input layer dan *hidden layer* dihubungkan dengan bobot w_{ij} dan antara *hidden layer* dan *output layer* dihubungkan oleh bobot w'_{jk} . Pada pelatihan *Backpropagation*, ketika ANN diberi pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut akan menuju ke unit pada *hidden layer* untuk diteruskan pada unit yang berada pada *output layer*. Keluaran sementara pada *hidden layer* u_j akan diteruskan pada *output layer* dan *output layer* akan memberi tanggapan yang disebut *output* sementara u'_k . Ketika $u'_k \neq o_k$ dimana o_k adalah *output* yang diharapkan, maka selisih (*error*) *output* sementara u'_k akan disebarkan mundur (*backward*) pada *hidden layer* dan diteruskan ke unit pada *input layer*. Oleh karena itu proses tersebut disebut propagasi balik (*backpropagation*).

2.1.1.2 Algoritma Pelatihan Backpropagation

Pelatihan *backpropagation* meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari *input layer* hingga *output layer* menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara *output* jaringan dengan target yang diinginkan merupakan *error* yang terjadi. *Error* tersebut dipropagasikan mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di *output layer*. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan *error* yang terjadi. Untuk jelasnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

Langkah 0:

Pemberian *inisialisasi* faktor bobot (ambil bobot awal dengan nilai acak yang cukup kecil).

Langkah 1:

Menetapkan maksimum *epoch*, target kesalahan, dan *learning rate* (α).

Langkah 2:

Inisialisasi epoch = 0, MSE (*Mean Square Error*) = 1.

Langkah 3:

Selama $epoch < \text{maksimum } epoch$, dan $MSE > \text{target kesalahan}$, maka lakukan :

1. $Epoch = Epoch + 1$
2. Untuk setiap pasangan pelatihan lakukan langkah berikut :

Feedforward

Langkah 4 :

Setiap unit *input* (x_i) menerima sinyal dan meneruskan sinyal ini ke unit tersembunyi di atasnya.

Langkah 5:

Setiap unit pada suatu lapisan tersembunyi $y_j (j = 1, 2, \dots, p)$ menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot.

$$y_j = \sum w_{ij} x_i \dots \dots \dots (1)$$

Gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output*nya :

$$u_j = f(y_j) \dots \dots \dots (2)$$

Dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit *output*).

Langkah ini dilakukan sebanyak jumlah lapisan tersembunyi.

Langkah 6 :

Setiap unit *output* $z_k (k = 1, 2, \dots, m)$ menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot

$$z_k = \sum w'_{jk} u_j \dots \dots \dots (3)$$

Gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output*nya :

$$u'_k = f(z_k) \dots \dots \dots (4)$$

Dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit *output*).

Backpropagation Dari Errornya

Langkah 7 :

Setiap unit *output* z_k menerima target pola yang berhubungan dengan pola *input* pelatihan, hitung informasi kesalahan :

$$e_k = \frac{1}{2} (o_k - u'_k)^2$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai w_{jk} :

$$\Delta w_{jk} = e_k \cdot u_j$$

Menghitung koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai w_{ok}) :

$$\Delta w_{ok} = e_k$$

Langkah ini juga dilakukan sebanyak jumlah lapisan tersembunyi, yaitu menghitung informasi kesalahan dari suatu lapisan tersembunyi ke lapisan tersembunyi lainnya.

Langkah 8 :

Menghitung faktor δ *hidden layer* berdasarkan *error* di setiap *hidden layer*.

$\dots = \sum \dots$ (5)
Mengalikan dengan turunan fungsi aktivasi untuk menghitung informasi *error*.

$\Delta = \dots$
Menghitung koreksi bobot (digunakan untuk mengubah w_{ij} selanjutnya)
 $\Delta = 1$
dan menghitung koreksi bias (digunakan untuk mengubah w_{oj} selanjutnya)
 $\Delta = 1$

Memperbaiki Bobot dan Bias

Langkah 9 :

Tiap *output layer* mengubah bias dan bobot-bobotnya

$\dots = \dots + \Delta$
 $\dots = \dots + \Delta$

Tiap *hidden layer* (y_j) mengubah bias dan bobot (i)

$\dots = \dots + \Delta$
 $\dots = \dots + \Delta$

Langkah 10 :

Uji kondisi pemberhentian, hitung MSE (*Mean Square Error*). Untuk mengukur akurasi dari keluaran jaringan ANN maka diperlukan perangkat kwantisasi. Untuk menghitung selisih keluaran ANN dengan data target pada proses latih digunakan MSE (Mean Square Error). MSE dihitung dengan persamaan berikut [2]:

$MSE = \sum \frac{(\dots)^2}{\dots}$(6)

dimana :
 p adalah jumlah jumlah pasangan data.

Untuk proses validasi dan pengujian kumpulan data baru, akurasi ANN dihitung dengan MAPE (Mean Absolut Percentage Error) berdasarkan persamaan berikut [10] :

$(\%) = -\sum \frac{|\dots|}{\dots} 100\% \dots$(7)

dimana :
 n = jumlah data
actual = energi actual
estimasi = energi hasil peramalan

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada sistem kelistrikan Bali. Data yang digunakan adalah data sekunder dimana sumber data adalah dari PT PLN (Pesero) Unit Bisnis Distribusi Bali. Data bersifat historis yaitu menggunakan data-data konsumsi energi listrik sebelumnya untuk estimasi konsumsi pada masa yang akan datang. Data yang digunakan adalah data penjualan energi listrik tahun 2005 sampai dengan tahun 2012. Data penjualan energi

listrik dari tahun 2005 sampai 2012 dapat dilihat pada tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Data penjualan energi listrik (MWH)

Bulan	Thn 2005	Thn 2006	Thn 2007	Thn 2008
januari	215500.900	225550.756	232465.756	240459.867
pebroari	213450.690	222450.900	235435.765	239800.876
maret	212100.750	220900.854	232567.900	241650.700
april	214550.765	221230.654	234546.750	243546.765
mei	211432.457	223435.456	231450.800	244490.870
juni	212455.678	219890.876	230657.134	241290.769
juli	214345.234	223453.675	234254.875	240890.687
agustus	213500.890	221546.345	235765.345	242639.876
septber	215459.760	224365.456	234786.700	245768.546

Bulan	Thn 2009	Thn 2010	Thn 2011	Thn 2012
januari	245900.890	250336.813	265258.306	293605.072
pebruari	247983.345	249764.017	266138.662	284348.398
maret	240124.342	234836.142	246494.587	284126.163
april	248983.254	262088.260	265360.627	289289.714
mei	249784.500	256414.855	265202.616	298732.224
juni	250893.145	265900.137	275801.244	298534.455
juli	251435.980	258407.115	259884.119	287021.594
agustus	252456.135	260774.099	260277.690	283641.141
septber	253450.190	260516.271	262355.193	280759.170

3.1. Pembagian dan pemodelan data

Data – data yang tersedia selanjutnya dibagii menjadi dua bagian yaitu data untuk pelatihan (training data) mulai dari tahun 2005 sampai tahun 2009 dan data validasi yaitu data untuk pengujian dari tahun 2008 sampai tahun 2012. Untuk memperkirakan konsumsi energi listrik maka data masukan yang diperlukan adalah data historis pada waktu tersebut dan kemudian disusun menjadi pasangan data masukan- keluaran, masukan adalah X_1 dan X_2 sedangkan keluaran adalah Y .

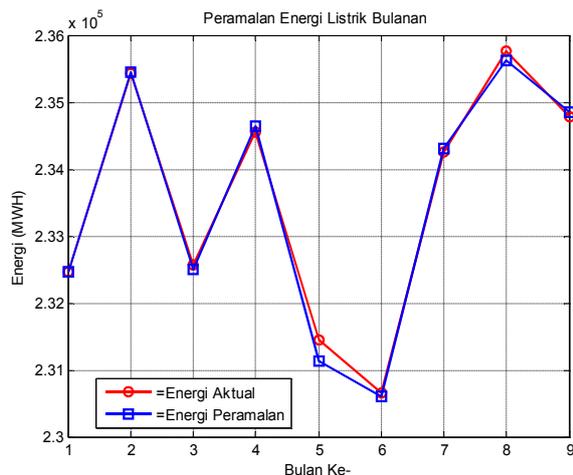
Dengan keterangan :

- X_2 = adalah penjualan energi dua tahun sebelumnya
- X_1 = adalah penjualan energi satu tahun sebelumnya
- Y = konsumsi energi (out put jaringan).

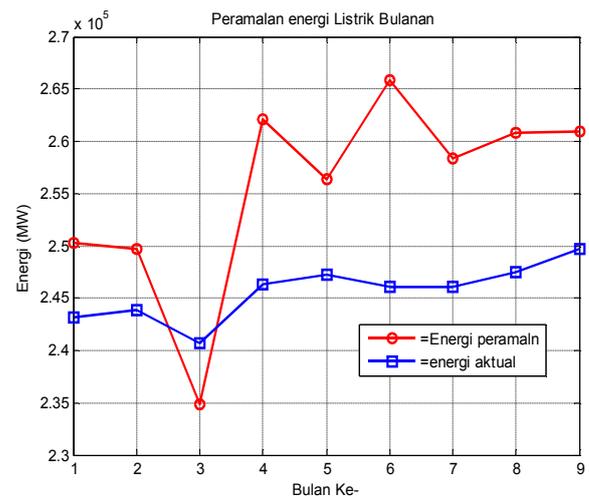
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil pelatihan

Tahap awal dari penelitian ini adalah membandingkan *performance* dari sistem pembelajaran ANN. Akurasi output dari proses ini ditentukan melalui *Mean Square Error* atau MSE. Eror yang terjadi menunjukkan tingkat ketelitian atau akurasi dari struktur ANN yang dilatih dengan data training yang telah disusun .Dengan menggunakan program komputer MATLAB maka hasil estimasi dengan data training dapat dilakukan. Dengan tiga set data training maka dihasilkan tiga hasil estimasi dan struktur yang dipilih untuk pengujian selanjutnya adalah struktur dengan SSE (Sum Square Error) yang terkecil. Hasil training data yang menghasilkan SSE terkecil terdapat pada Gambar 4 seperti di bawah ini, yaitu sebesar 105.36×10^{-4} .



Gambar 4. Hasil Estimasi Dengan Data Training, SSE= 105.36 x



Gambar 5. Grafik Estimasi Konsumsi Energi Listrik Thn 2012

4.2. Hasil pengujian (Validation Test).

Berdasarkan hasil *learning* diperoleh struktur model tertentu, selanjutnya model tersebut digunakan untuk melakukan pengujian data (validation test). Dengan memasukkan data pengujian maka didapat hasil peramalan atau estimasi seperti Tabel 2 dan Gambar 5 berikut ini.

Tabel 2. Estimasi Konsumsi Energi ListrikThn 2012

No	Bulan	Estimasi (MWH)	Aktual (MWH)	Error (%)
1	Januarai	2.50340	2.4315	2.96
2	Pebruari	2.4976	2.4304	2.45
3	Maret	2.3484	2.4066	2.42
4	April	2.6209	2.4632	6.40
5	Mei	2.5641	2.4725	3.70
6	Juni	2.6590	2.4608	8.05
7	Juli	2.5841	2.4609	5.01
8	Agustus	2.6077	2.4751	5.36
9	September	2.6096	2.4967	4.57
MAPE				4.51

Dari Tabel 2 di atas terlihat bahwa *error* tertinggi yang dihasilkan model ANN terjadi pada bulan Juni yaitu sebesar 8.05 %. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi energi pada waktu itu sangat dinamis dan relatif sulit untuk diramalkan. Error terendah terjadi pada bulan Maret yaitu sebesar 2.42 %. Hal ini sesuai dengan aktivitas di Bali pada waktu itu yaitu adanya Hari Raya Keagamaan yaitu Hari Raya Nyepi. Konsumsi energi menjadi relatif stabil dan mudah diprediksi.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Metode ANN dapat digunakan untuk peramalan dan memiliki ketelitian yang cukup baik. Hal ini dapat dilihat pada akurasi peramalan yang diukur dengan MAPE yaitu sebesar 4.51 %.

Nilai kesalahan absolut tertinggi terjadi pada bulan Juni. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi energi pada waktu itu dinamis dan relatif sulit untuk diprediksi. Nilai kesalahan absolut terendah terjadi pada bulan Maret, oleh karena berhubungan dengan hari raya keagamaan di Bali yaitu Hari Raya Nyepi sehingga konsumsi energi relatif stabil dan mudah diprediksi.

6. DAFTAR PUSAKA

- [1] Kadir, Abdul. 2000. *Energi*. UI Press. Jakarta
- [2] Jang. 1993. ANFIS.; Adactive Neuro Fuzzy Inference System. *IEEE Transaction on System. Man and Cybermetics*. Vol 23 No 3 May 1993
- [3] Pousinho, dkk. 2010. Neuro Fuzzy Approach To Forecast Wing Power In Portugal Spain. *International Conference On Renewable Energies And Power Quality(ICREPQ'10)*.
- [4] Yusgiantoro, P. 2000. *Ekonomi Energi Teori dan Praktek*. Pustaka LP3S. Indonesia
- [5] Prabowo, W. P., Rahmadya, T. 2012. *Penerapan Soft Computing Dengan MATLAB*. Rekayasa Sains Bandung
- [6] Kusumadewi, S., Sri H. 2010. *Neuro Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf Ediasi 2*. Graha Ilmu Yogyakarta
- [7] Suyanto. 2008. *Soft Computing, Membangun Mesin Ber IQ Tinggi*. Informatika. Bandung
- [8] Sutojo, T., Edy M., Vincent S. 2011. *Kecerdasan Buatan*. Andi. Yogyakarta
- [9] Widodo, T. S.. 2005. *Sistem Neuro Fuzzy Untuk pengolahan Informasi dan Kendali*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- [10] Camelia, U., Atsalakis, G.. 2006. A Neuro-fuzzy Approach to Forecast the Electricity Demand', *Proceedings of the 2006 IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environmental Systems*. (pp299-304). Chalkida., Greece. May 8-10. 2006