

ESTIMASI BEBAN LISTRIK JANGKA PENDEK MENGGUNAKAN TIME SERIES NARX PADA BANGUNAN BERTINGKAT

O. R. Armanto¹⁾, N. A. Windarko²⁾, Setiawardhana³⁾, K. R. S. Suda⁴⁾

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

³ Jurusan Teknik Informatika dan komputer, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

⁴ Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Nasional

Email: Onyarmanto97@gmail.com, ayub@pens.ac.id, setia@pens.ac.id, redasetiawan1@gmail.com

Penggunaan energi sebagai komponen utama dalam menjalankan aktivitas dari waktu ke waktu semakin bertambah, khususnya untuk energi listrik. Dari pekerjaan industri, komersil dan pendidikan. Menurut OECD Institusi pendidikan tinggi dan komersil menggunakan 35% - 45% lebih tinggi energi listrik daripada hunian dan perkantoran. Namun dalam penggunaan energi listrik terbilang belum secara keseluruhan dan tidak efisien. Salah satu penyebab dari penggunaan energi yang tidak efisien adalah tidak memperhitungkan beban yang digunakan dan juga energi harian yang digunakan oleh komponen atau aktivitas yang dilakukan sehingga perlu adanya solusi yang tepat untuk memperbaiki kondisi tersebut. Salah satu cara yang dapat menggunakan metode *Time Series NARX*. *NARX* adalah salah satu metode dari *Time Series Neural Network* yang menggunakan penundaan agar menghasilkan akurasi yang diinginkan. Pada penelitian ini diharapkan mendapatkan hasil maksimal dan efisien serta mengurangi penggunaan energi listrik yang berlebihan. Hasil dari penelitian ini mendapatkan MAPE sebesar 16,08% dan RMSE sebesar 20,96

Kata kunci: *Time Series NARX*, Estimasi Beban, Konservasi Energi, Efisiensi Energi

The energy as a primary component to carrying out all activities has been increasing over time, especially for electrical energy. From Industrial, Commercial and Educational work. According the OECD, education institute and commercial buildings use 35% - 45% more electricity than residential and office building. However, the utilization for electrical energy is ineffecient. One of the reasons for ineffecient energy use the lack of consideration for the loads used and the daily energy consumed by components or activities performed, So there is need appropriate solutions to improve this condition. One method can be used is Time Series NARX, NARX is one of method the Time Series Neural Network that use delays to produce the desired accuracy. In this research hope that will achieve maximum and efficient results while reducing excessive electricity consumption. The research resulted in MAPE 16,08% and in RMSE 20,96

Keywords : *Time Series NARX, Energy Forecasting, Energy Consvration, Efficiency Energy*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi dari tahun ke tahun selalu meningkat, khususnya penggunaan energi listrik hal itu disebabkan dari beberapa hal salah satunya yaitu inovasi peralatan yang memudahkan setiap aktivitas manusia. Menurut OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) konsumsi energi total bangunan institusi Pendidikan tinggi dan komersil kurang lebih 35% - 45% lebih tinggi daripada hunian [1]. Konsumsi energi dapat dipengaruhi dari berbagai macam parameter seperti cuaca, populasi, industrial, dan lain sebagainya. Penggunaan energi listrik yang terlalu tinggi menyebabkan ketidakefisienan dari segi pengelolaan energi dan lainnya [2]. Penggunaan energi listrik dalam jangka waktu tertentu juga akan mempengaruhi konsumsi energi dan kualitas energi yang digunakan, dalam penelitian kali ini menggunakan jangka pendek (*Short – Term*) [3]. Jangka pendek digunakan dalam kurun waktu 1 hari hingga 1 minggu [4] oleh sebab itu diperlukan adanya estimasi beban aktif untuk kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan. Dan salah satu cara untuk melakukan estimasi beban aktif dengan *Artificial Neural Network*

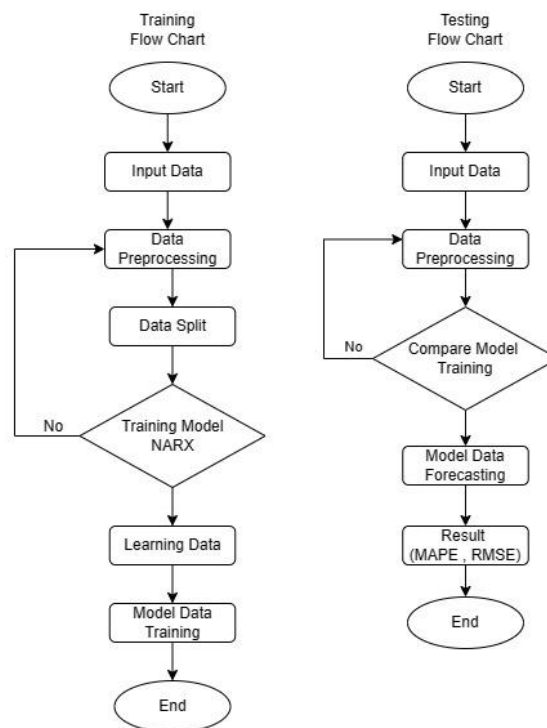
Kecerdasan buatan (*Artificial Neural Network*) adalah sebuah pembelajaran mesin yang dapat menganalisis suatu model kompleks dengan pendekatan seperti saraf [5]. Ada beberapa contoh syaraf buatan seperti *Feedforward Neural Network*, *Long Short Term Neural Network*, *Convolutional Neural Network* dan lainnya[1]. Pada salah satu metode dalam jaringan syaraf tiruan terdapat metode *Long Term Neural Network* atau juga *Time Series Neural Network* karena memiliki kemampuan untuk menganalisa sebuah model kompleks dengan acuan waktu[6]. Salah satu Teknik dari metode *Time Series Neural Network* adalah metode *NARX* adalah peramalan deret waktu yang menghasilkan kinerja peramalan yang kuat dengan struktur model meliputi lapisan *input layer*, *feedback layer*, *input delay* dan *Output delay*[7]. Metode *NARX* memiliki *feedback layer* yang berfungsi untuk memungkinkan ketersediaan langkah waktu input secara bersamaan karena penundaan faktor penting untuk metode ini serta input yang digunakan termasuk kedalam *Input Non – Linear* sehingga *Delay Feedback Layer* sangat penting[8]

Jangka waktu dalam penelitian ini sangat dibutuhkan untuk mempermudah metode analisa yang digunakan serta untuk mencari nilai input yang diinginkan. Jangka waktu yang sering digunakan oleh para peneliti yaitu jangka waktu panjang (*Long-Term*), jangka waktu menengah (*Mid – Term*) dan yang terakhir yaitu jangka waktu pendek (*Short – Term*)[4]. Karena penelitian ini menggunakan jangka waktu pendek karena pada jangka waktu pendek responsif apabila terjadi fluktuatif, detail input yang digunakan tergolong cepat karena dalam kurun 1 minggu saja dan resiko *overlifting* rendah[9]

Dari latar belakang diatas maka peneliti mengangkat topik penelitian yang berjudul Esimasi Beban Listrik jangka Pendek Menggunakan *Time Series NARX* Pada Bangunan Bertingkat

2. METODE

Penelitian ini menggunakan *Time Series Neural Network NARX* yang merupakan bagian dari *Artificial Neural Network* (Kecerdasan Buatan) dan berikut adalah flowchart dalam penelitian ini.



Gambar 1 Diagram alur penelitian

Pada penelitian ini menggunakan kurang lebih 2016 data input dan dengan delay 2 dan 5 . Pada gambar 1 terdapat 2 flowchart agar memudahkan peneliti untuk melakukan training terlebih dahulu kemudian melakukan testing data agar memperoleh model estimasi yang diinginkan. Pada pengambilan data yang dilakukan, ada beberapa data input yang diperoleh yaitu :

- Data Jam
- Data Hari

- Data Tegangan (V)
- Data Arus (I)
- Data Daya Aktif (KW)
- Data Daya Semu (KVA)
- Data Daya Reaktif (KVAR)
- Dan lain lain

1	Time PM	Time RTC	Date	Minutes	IA	IB	IC	IN	I AVE	IA-Ubl	IB-Ubl	IC-Ubl	I Max-Ubl	V AB	V BC	V CA	V LL-Ave	V AN	V BN	V CN	V LN-Ave	V AB-Ubl	V BC-Ubl
2	10/17/2022 0:00	10/17/2022 0:00	1	0	114	114	109	22	113	17	12	39	39	416	417	413	416	239	241	240	240	2	3
3	10/17/2022 0:05	10/17/2022 0:05	1	5	116	116	113	21	115	9	7	16	17	417	417	413	416	239	241	239	240	2	3
4	10/17/2022 0:10	10/17/2022 0:10	1	10	126	128	119	21	124	12	34	45	45	416	417	413	415	239	241	239	240	2	3
5	10/17/2022 0:15	10/17/2022 0:15	1	15	121	123	112	20	119	19	35	53	53	412	413	409	411	237	238	237	238	2	3
6	10/17/2022 0:20	10/17/2022 0:20	1	20	110	111	105	19	109	12	21	30	30	412	413	409	411	237	239	237	238	2	3
7	10/17/2022 0:25	10/17/2022 0:25	1	25	102	101	95	20	99	27	17	44	44	413	413	410	412	237	239	237	238	2	3
8	10/17/2022 0:30	10/17/2022 0:30	1	30	113	111	105	20	110	32	14	47	47	412	412	409	411	237	238	237	237	2	2
9	10/17/2022 0:35	10/17/2022 0:35	1	35	119	121	112	20	117	13	34	48	48	412	412	409	411	237	238	237	237	2	3
10	10/17/2022 0:40	10/17/2022 0:40	1	40	114	116	109	18	113	10	27	36	36	413	413	409	412	237	239	237	238	2	3
11	10/17/2022 0:45	10/17/2022 0:45	1	45	128	130	118	21	125	20	36	56	56	413	413	409	412	237	239	237	238	2	3
12	10/17/2022 0:50	10/17/2022 0:50	1	50	102	101	96	20	100	25	13	38	38	412	412	409	411	237	238	237	237	3	3
13	10/17/2022 0:55	10/17/2022 0:55	1	55	107	106	101	20	105	25	11	35	35	412	412	409	411	237	239	237	237	3	3
14	10/17/2022 1:00	10/17/2022 1:00	1	60	140	140	129	22	137	28	25	54	54	413	413	410	412	237	239	237	238	2	3
15	10/17/2022 1:05	10/17/2022 1:05	1	65	103	103	98	18	101	10	17	27	27	411	411	408	410	236	238	236	237	2	3
16	10/17/2022 1:10	10/17/2022 1:10	1	70	90	87	88	20	89	16	14	2	16	411	411	408	410	236	238	236	237	2	3
17	10/17/2022 1:15	10/17/2022 1:15	1	75	89	87	86	19	87	16	3	12	15	411	411	408	410	236	238	236	237	2	3
18	10/17/2022 1:20	10/17/2022 1:20	1	80	84	83	84	18	83	5	9	4	9	411	411	408	410	236	238	236	237	2	3
19	10/17/2022 1:25	10/17/2022 1:25	1	85	109	112	104	18	108	5	32	37	37	411	411	408	410	236	238	236	237	2	3
20	10/17/2022 1:30	10/17/2022 1:30	1	90	93	93	90	18	92	10	8	18	18	411	411	408	410	237	238	236	237	2	3
21	10/17/2022 1:35	10/17/2022 1:35	1	95	109	111	105	18	108	6	22	28	28	411	411	408	410	236	238	236	237	2	3
22	10/17/2022 1:40	10/17/2022 1:40	1	100	97	96	92	19	95	20	11	32	32	410	410	407	409	236	237	236	236	2	2
23	10/17/2022 1:45	10/17/2022 1:45	1	105	113	115	106	19	111	19	30	49	49	410	410	407	409	236	237	236	236	3	3
24	10/17/2022 1:50	10/17/2022 1:50	1	110	107	108	101	17	106	4	46	50	50	411	411	408	410	236	237	236	237	2	3

Gambar 2 Contoh Data yang diperoleh

Pengambilan data dilakukan dari *Power Meter* yang telah terpasang *Smart Meter Logger* yang berfungsi menyimpan data yang telah terbaca oleh *Power Meter*[10]. Kemudian setelah data diambil dilakukan preprocessing data untuk menentukan data yang digunakan sebagai objek penelitian. Data yang digunakan untuk *Training Time Series Neural Network* yaitu data Jam, data hari dan daya aktif (KW) data yang diambil adalah data dengan kurun waktu 1 minggu.

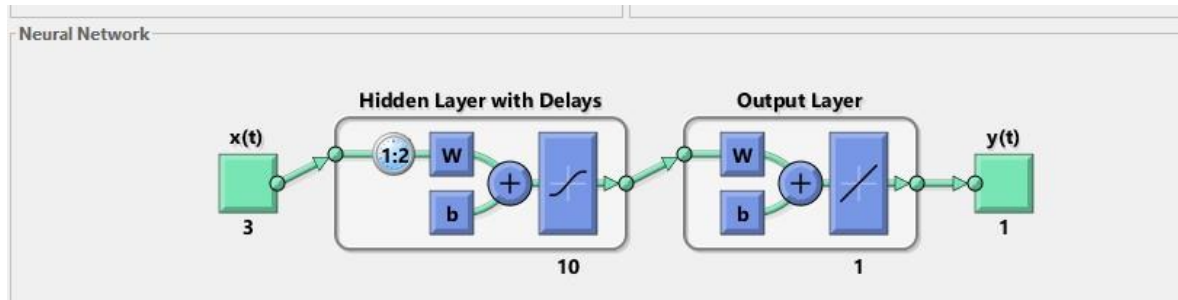
Kemudian pada *flowchart training* dilakukan data split untuk membagi jumlah data yang digunakan untuk training, validation dan testing. Disini pembagian data menjadi 60% *Training Data*, 10% *Validation Data*, 20% *Testing Data* maka data training berjumlah 1209 data yang akan digunakan.

Validation and Test Data
 Set aside some target timesteps for validation and testing.

<p>Select Percentages</p> <p><input type="checkbox"/> Randomly divide up the 2016 target timesteps:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Training: <input type="text" value="60%"/> 1209 target timesteps</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Validation: <input type="text" value="10%"/> 202 target timesteps</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Testing: <input type="text" value="30%"/> 605 target timesteps</p>	<p>Explanation</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Three Kinds of Target Timesteps:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Training: These are presented to the network during training, and the network is adjusted according to its error.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Validation: These are used to measure network generalization, and to halt training when generalization stops improving.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Testing: These have no effect on training and so provide an independent measure of network performance during and after training.</p>
--	---

Gambar 3 Jumlah data training dan testing

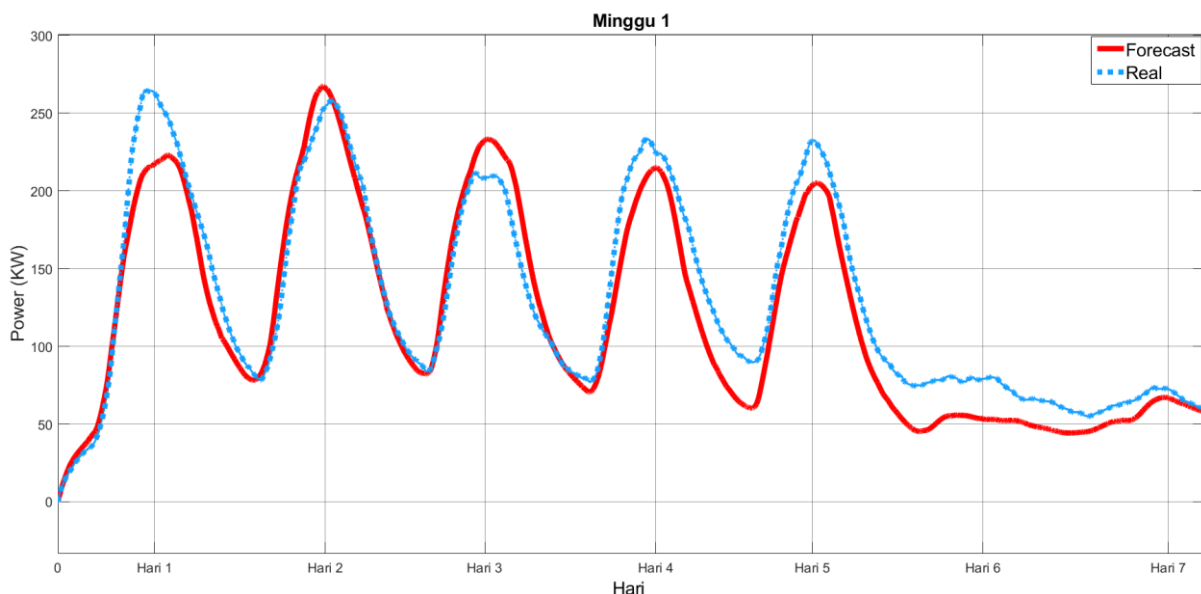
Kemudian setelah menentukan jumlah data training serta delay yang diinginkan maka buat struktur dari *Time Series Neural Network NARX* dengan menggunakan 2 delay



Gambar 4 Struktur Time Series NARX

Kemudian dilakukan *training data* hingga menghasilkan *Learning data* namun apabila hasil yang keluar tidak sesuai dengan yang diinginkan maka dapat kembali ke *data preprocessing* karena kesalahan terjadi karena ada data yang hilang atau data kurang lengkap[11]. Dan apabila menghasilkan *learning* yang diinginkan maka akan memunculkan *model data training* yang akan digunakan sebagai pembanding dengan data asli.

Pada *Compare Model Training* di flowchart data Testing adalah membandingkan hasil model dengan jumlah data testing yang akan digunakan yang berjumlah 605 data[12]. yang kemudian memunculkan model terbaik yaitu *model data forecasting* yang digunakan sebagai estimasi beban mingguan.



Gambar 5 Contoh hasil model forecasting dengan data asli

Kemudian hasil perbandingan antara *model data forecasting* dengan data asli akan menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* dan *Root Mean Square Error (RMSE)*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini juga menggunakan 10 hingga 500 neuron dengan 2 delay. Berikut adalah hasil MAPE dan RMSE dari penelitian ini.

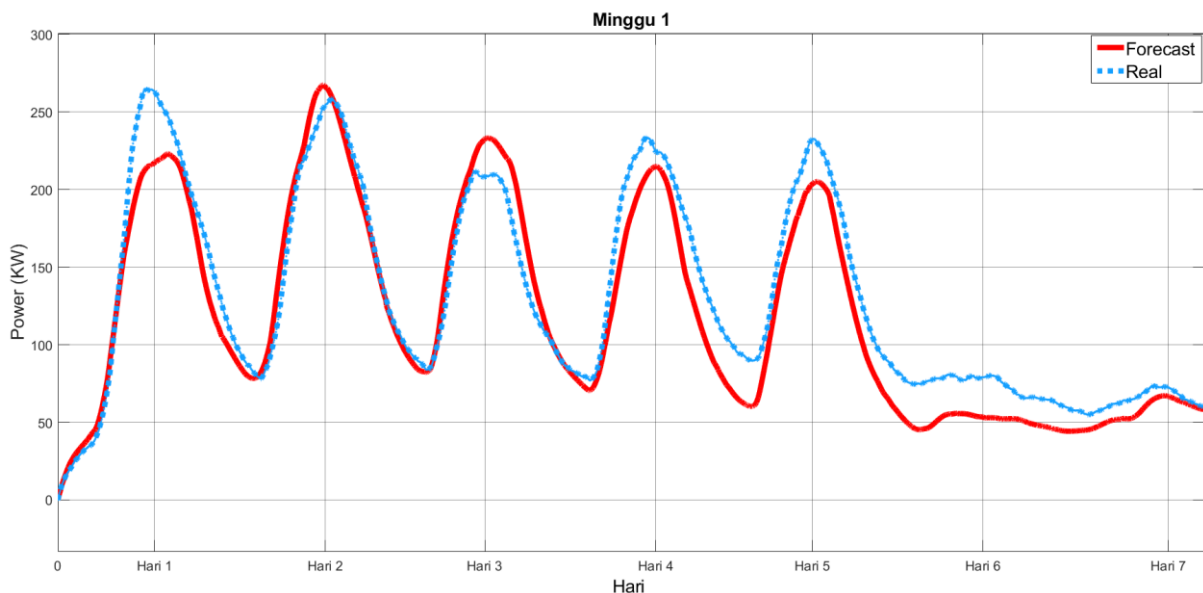
Tabel 1 Hasil Mape 2 Delay

MAPE Time Series (2 Delays) 3 Input NARX								
JUMLAH HIDDEN NEURON								
Bulan	10 Hidden	20 Hidden	30 Hidden	40 Hidden	50 Hidden	100 Hidden	250 Hidden	500 Hidden
Minggu 1	19.43%	19.11%	18.73%	19.06%	19.07%	18.25%	19.41%	19.76%
Minggu 2	25.32%	25.04%	24.92%	24.97%	25.31%	24.20%	26.08%	25.80%
Minggu 3	17.31%	16.70%	16.87%	16.58%	17.01%	16.08%	17.52%	17.82%
Minggu 4	21.27%	19.07%	18.68%	18.87%	19.44%	17.90%	20.44%	21.10%

Tabel 2 Hasil RMSE 2 Delay

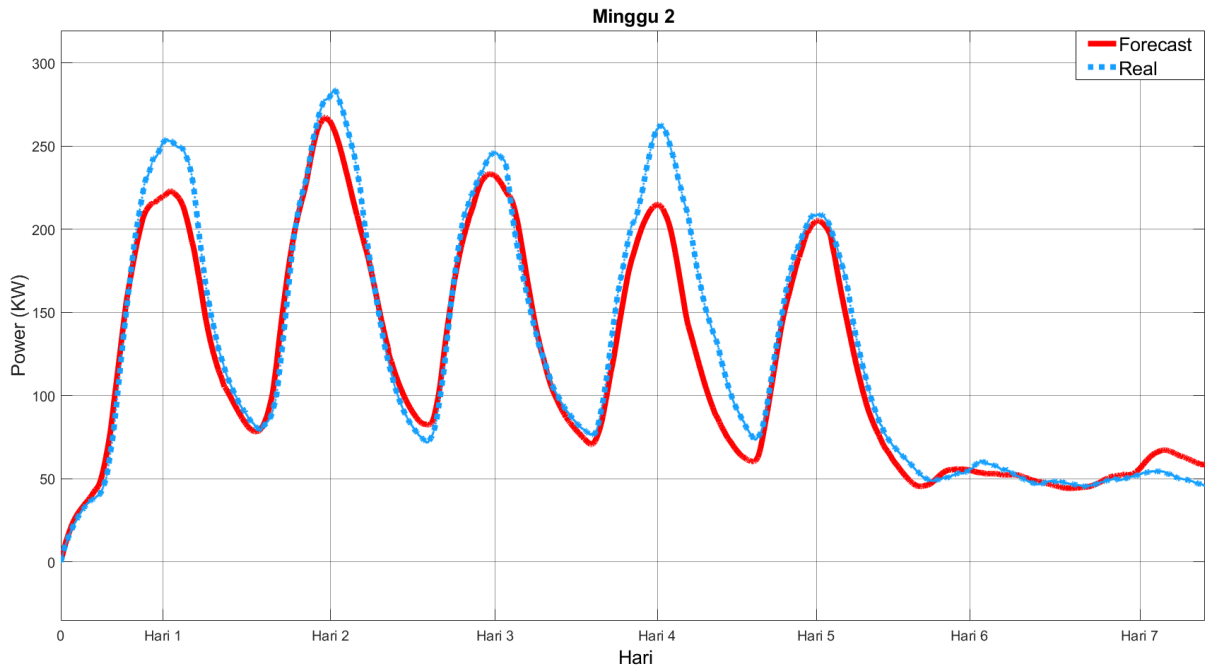
RMSE Time Series (2 Delays) 3 Input NORX								
JUMLAH HIDDEN NEURON								
Bulan	10 Hidden	20 Hidden	30 Hidden	40 Hidden	50 Hidden	100 Hidden	250 Hidden	500 Hidden
Minggu 1	29.14	28.5	27.94	28.75	29.27	28.36	30.32	30.17
Minggu 2	39.25	38.5	38.28	38.57	39.48	38.54	40.56	40.34
Minggu 3	26.66	26.07	25.82	26.57	27.06	25.85	28.25	28.43
Minggu 4	23.17	21.58	21.55	21.98	23.21	20.96	24.41	25.53

Dan berikut adalah hasil dari perbandingan hasil estimasi dengan data terbaru (*Real*) yang digunakan.



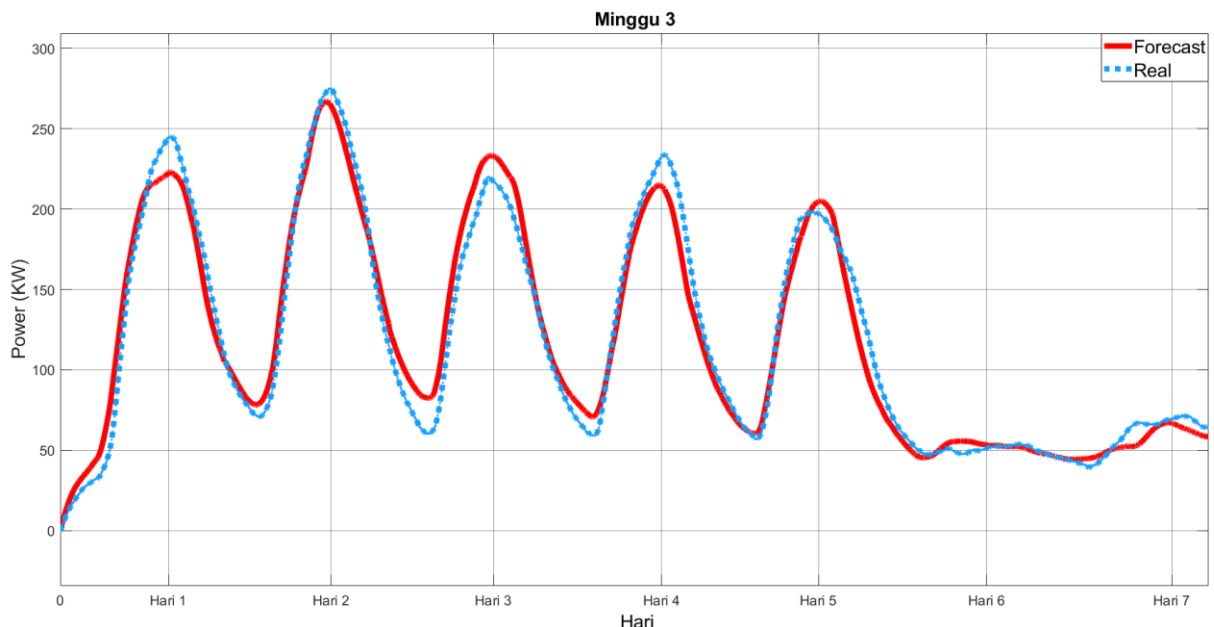
Gambar 6 Hasil Perbandingan Minggu 1

Pada Minggu 1 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 18,25% dan 28,36. Nilai tersebut masih dalam interpretasi akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5



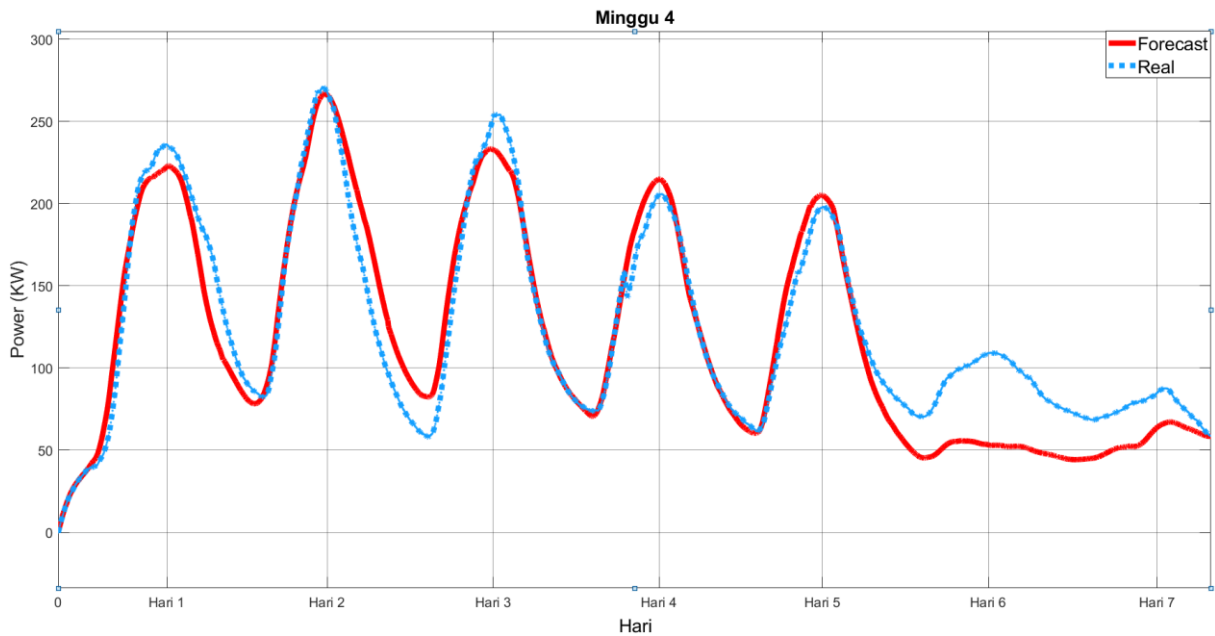
Gambar 7 Hasil perbandingan minggu 2

Sedangkan pada minggu 2 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 24,20% dan 38,54. Nilai tersebut masuk dalam interpretasi kurang akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5. Hal ini karena terdapat data yang tidak masuk ke dalam data *historical* sebelumnya sehingga nilai *error* meningkat.



Gambar 8 Hasil perbandingan minggu 3

Pada Minggu 3 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 16,08% dan 25,85. Nilai tersebut masih dalam interpretasi akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5. Dan juga nilai *error* terendah pada percobaan dengan delay 2



Gambar 9 Hasil perbandingan minggu 4

Pada Minggu 4 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 17,90% dan 20,96. Nilai tersebut masih dalam interpretasi akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5. Serta memiliki nilai RMSE terendah pada percobaan dengan delay 2

Dan pada pada delay 5 menggunakan neuron 10 hingga 500 neuron dengan hasil MAPE dan RMSE berikut.

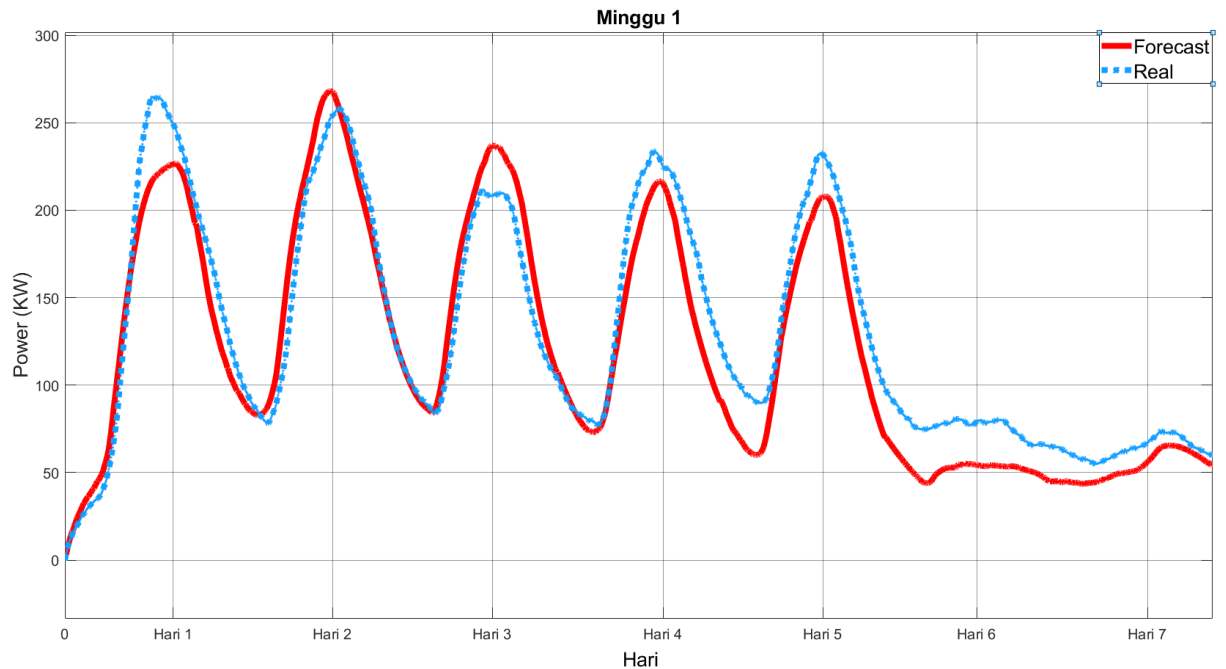
Tabel 3 Hasil MAPE 5 Delay

MAPE Time Series (5 Delays) 3 Input NARX									
JUMLAH HIDDEN NEURON									
	10	20	30	40	50	100	250	500	
Bulan	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden
Minggu 1	25.40%	25.11%	26.87%	25.40%	25.26%	24.70%	28.91%	29.28%	
Minggu 2	19.70%	19.83%	20.71%	19.58%	19.39%	19.07%	23.11%	24.01%	
Minggu 3	18.10%	18.21%	17.59%	17.55%	17.65%	18.89%	24.02%	20.78%	
Minggu 4	18.97%	19.55%	20.45%	19.88%	19.47%	19.70%	21.71%	24.12%	

Tabel 4 Hasil RMSE 5 Delay

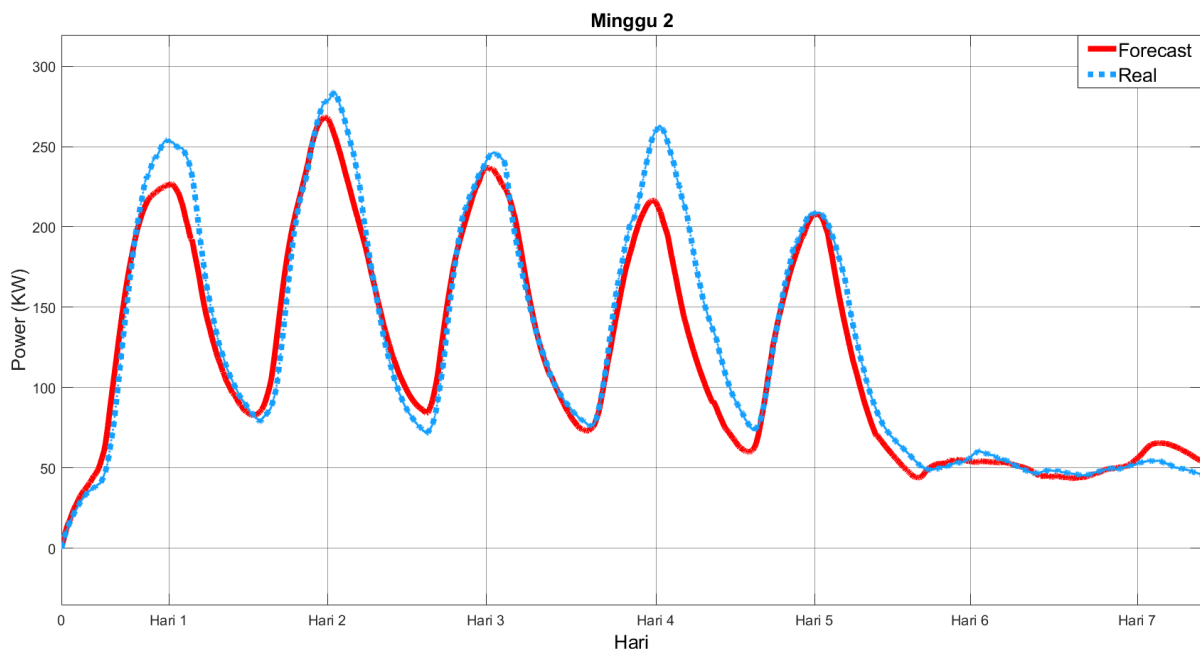
RMSE Time Series (5 Delays) 3 Input NARX									
JUMLAH HIDDEN NEURON									
	10	20	30	40	50	100	250	500	
Bulan	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden	Hidden
Minggu 1	39.36	39.94	40.14	39.36	39.12	39.16	52.2	47.65	
Minggu 2	29.18	29.41	29.59	29.36	29.18	28.94	45.39	40.17	
Minggu 3	27.54	27.69	28.61	28.06	27.76	27.6	44.73	30.02	
Minggu 4	31.43	32.61	33.5	32.66	32.65	32.14	46.27	46.27	

Dan berikut adalah hasil dari perbandingan antara estimasi dengan data terbaru (*Real*) yang digunakan.



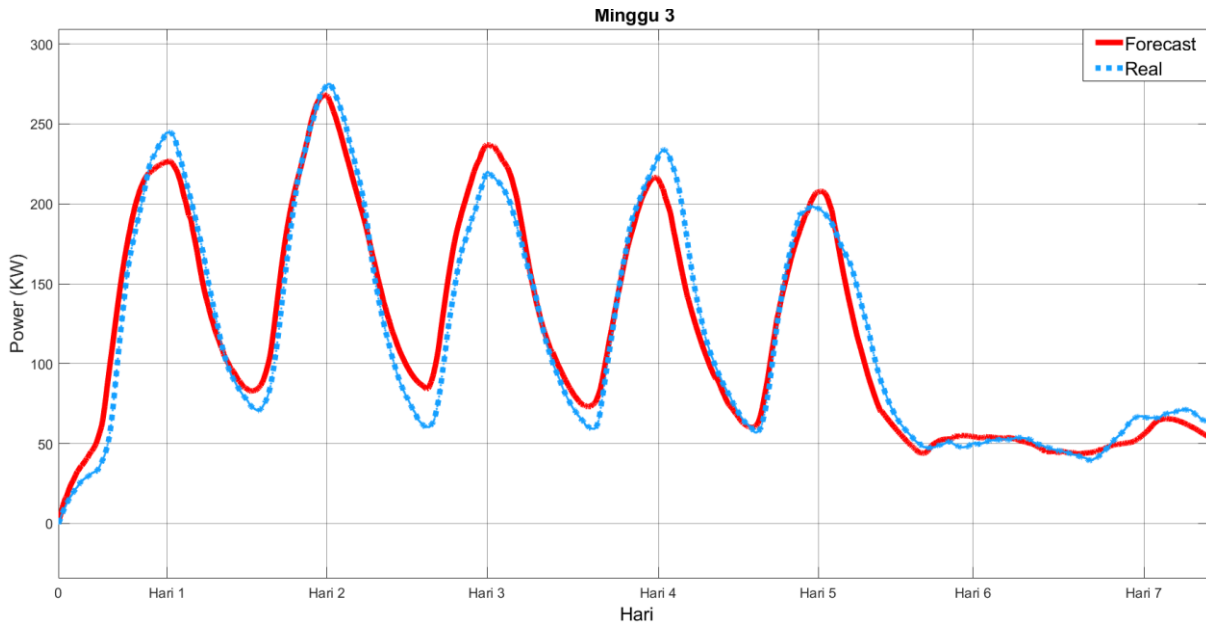
Gambar 10 Hasil perbandingan minggu 1

Pada Minggu 1 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 25,40% dan 39,36. Nilai tersebut masih dalam interpretasi kurang akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5. Penyebab hal ini dikarenakan adanya input data yang tidak termasuk dalam *historical* data pada data training.



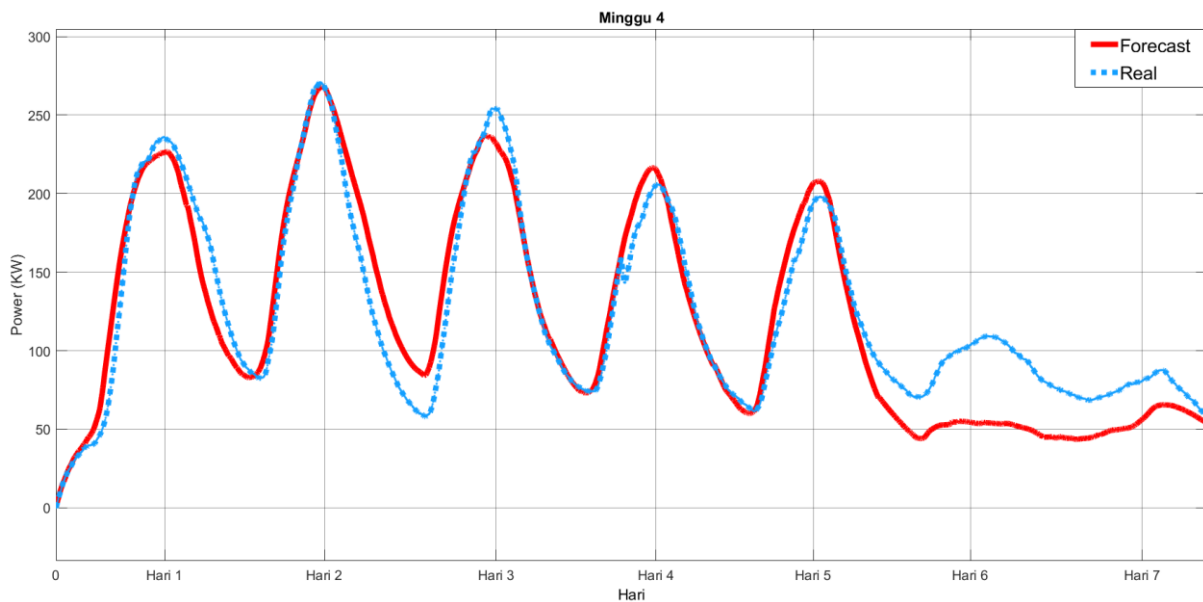
Gambar 11 Hasil perbandingan minggu 2

Pada Minggu 2 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 19,58% dan 29,36. Nilai tersebut masih dalam interpretasi akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5.



Gambar 12 Hasil perbandingan minggu 3

Pada Minggu 3 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 17,55% dan 28,06. Nilai tersebut masih dalam interpretasi akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5.



Gambar 13 Hasil perbandingan minggu 4

Pada Minggu 4 memiliki hasil MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 19,88% dan 32,66. Nilai tersebut masih dalam interpretasi akurat seperti yang ditampilkan pada tabel 5. Dan untuk tabel interpretasi MAPE yaitu sebagai berikut.

Tabel 5 Intepretasi MAPE

No	Persentase	Akurasi
1	0 - 10%	Sangat Akurat
2	11 – 20%	Akurat
3	21 – 30%	Kurang Akurat
4	31 - 40\$	Tidak Akurat

4. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan yang bisa didapatkan dari Penelitian ini ada beberapa hal diantaranya yaitu :

1. Penggunaan Metode NARX (*Non-Linear Autoregressive with Exogenous Input*) dapat digunakan untuk mencari peramalan (*Forecasting*) beban dengan akurasi akurat sesuai interpretasi yang telah dibuktikan pada hasil percobaan.
2. Pada percobaan menggunakan 60% *Training* , 30% *Testing* dan 10% *Validasi* menggunakan, sehingga data yang digunakan untuk percobaan kali ini berjumlah 2016 data
3. Pada delay 2 memiliki nilai *Error* terbaik pada neuron 100 pada minggu ke 3 dengan nilai 16,08% dan untuk delay 5 terbaik pada minggu 3 dengan nilai *Error* sebesar 17,55% dan kedua delay tersebut masuk kedalam akurasi akurat
4. Hasil keseluruhan dari minggu ke 1 hingga minggu ke 4 memiliki nilai akurasi yang tinggi sehingga metode ini bisa digunakan untuk minggu berikutnya, dengan jangka waktu pendek berkisar antara (1 minggu hingga 1 bulan) berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Somu, G. Raman M R, and K. Ramamritham, "A deep learning framework for building energy consumption forecast," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110591, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110591.
- [2] M. Pavlicko, M. Vojteková, and O. Blažeková, "Forecasting of Electrical Energy Consumption in Slovakia," *Mathematics*, vol. 10, no. 4, p. 577, Feb. 2022, doi: 10.3390/math10040577.
- [3] G. Tziolis *et al.*, "Direct short-term net load forecasting in renewable integrated microgrids using machine learning: A comparative assessment," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 37, p. 101256, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.segan.2023.101256.
- [4] G. Chitalia, M. Pipattanasomporn, V. Garg, and S. Rahman, "Robust short-term electrical load forecasting framework for commercial buildings using deep recurrent neural networks," *Applied Energy*, vol. 278, p. 115410, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115410.
- [5] G. R. Yang and X.-J. Wang, "Artificial Neural Networks for Neuroscientists: A Primer," *Neuron*, vol. 107, no. 6, pp. 1048–1070, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.neuron.2020.09.005.
- [6] C. Chen *et al.*, "Forecast of rainfall distribution based on fixed sliding window long short-term memory," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 16, no. 1, pp. 248–261, Dec. 2022, doi: 10.1080/19942060.2021.2009374.
- [7] M. Wei, M. Ye, J. B. Li, Q. Wang, and X. Xu, "State of Charge Estimation of Lithium-Ion Batteries Using LSTM and NARX Neural Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 189236–189245, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031340.
- [8] A. Wunsch, T. Liesch, and S. Broda, "Groundwater Level Forecasting with Artificial Neural Networks: A Comparison of LSTM, CNN and NARX".
- [9] E. Skomski, J.-Y. Lee, W. Kim, V. Chandan, S. Katipamula, and B. Hutchinson, "Sequence-to-sequence neural networks for short-term electrical load forecasting in commercial office buildings," *Energy and Buildings*, vol. 226, p. 110350, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110350.
- [10] Y.-C. Chen, S. S. Berutu, and Y.-H. Wang, "Smart Meter Development for Cloud-Based Home Electricity Monitor System," vol. 18, no. 4, 2020.
- [11] T. Serikov *et al.*, "Application of the NARX neural network for predicting a one-dimensional time series," *EEJET*, vol. 5, no. 4 (113), pp. 12–19, Oct. 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.242442.
- [12] N. AL-Rousan and H. Al-Najjar, "A Comparative Assessment of Time Series Forecasting Using NARX and SARIMA to Predict Hourly, Daily, and Monthly Global Solar Radiation Based on Short-Term Dataset," *Arab J Sci Eng*, vol. 46, no. 9, pp. 8827–8848, Sep. 2021, doi: 10.1007/s13369-021-05669-6.