

TESIS

**PREDIKSI KEBUTUHAN PLTS DAN PLTB BERBASIS
JARINGAN SARAF TIRUAN**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada Program Magister Teknik Elektro
Universitas Islam Sultan Agung Semarang



Disusun Oleh :

Nama :MUSTAQIM

NIM :20601800024

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2022**

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUSTAQIM

NIM : 20601800024

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa ~~Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi*~~ dengan judul :

PREDIKSI KEBUTUHAN PLTS DAN PLTB BERBASIS JARINGAN SARAF TIRUAN
(Prediction Of Demand For Solar And Wind Energy Based On An Artificial Neural Network)

dan menyetujuinya menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 5 September 2022

Yang menyatakan,



MUSTAQIM)

*Coret yang tidak perlu

HALAMAN PENGESAHAN

**TESIS
PREDIKSI KEBUTUHAN PLTS DAN PLTB BERBASIS JARINGAN SARAF
TIRUAN**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
MUSTAQIM
NIM : 20601800024

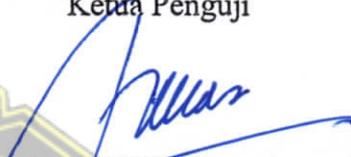
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 27 Agustus 2022

Susunan Dewan Penguji :

Pembimbing Utama

Ketua Penguji

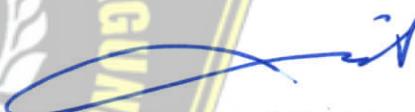

Dr. Ir. Muhammad Haddin, M.T
NIDN : 0618066301


Dr. Hj. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si
NIDN : 0620026501

Pembimbing Pendamping

Penguji 1


Arief Marwanto, ST, M.Eng, Ph.D
NIDN : 0628097501


Imam Much Subroto, S.T, M.Sc, Ph.D
NIDN : 0613037301

Penguji 2


Ir. Suryani Alifah, M.T, Ph.D
NIDN : 0625036901

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Magister Teknik.

Semarang, 27 Agustus 2022


Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, S.T, M.T

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

SURAT PERNYATAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUSTAQIM

NIM : 20601800024

Judul Tesis : PREDIKSI KEBUTUHAN PLTS DAN PLTB BERBASIS
JARINGAN SARAF TIRUAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tesis yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Dua (S2) Teknik Elektro pada Program Magister Teknik Elektro tersebut adalah asli tanpa tidakan plagiarisme sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada Program Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul tugas akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggungjawab.

Semarang, 27 Agustus 2022



MUSTAQIM
NIM : 20601800024

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala atas berkat rahmat dan hidayah-Nya tesis yang berjudul PREDIKSI KEBUTUHAN PLTS DAN PLTB BERBASIS JARINGAN SARAF TIRUAN untuk memenuhi tugas mata kuliah Manajemen Energi Listrik di Kampus Fakultas Magister Teknologi Industri Unissula Semarang dapat selesai. Diucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T, Dekan program Magister Teknik Elektro FTI Unissula;
2. Arief Marwanto, S.T, M.Eng, Ph.D, Ka. Program studi Magister Teknik Elektro FTI Unissula;
3. Dr. Ir. Muhamad Haddin, M.T selaku Pembimbing Utama tesis ini, yang telah membimbing dalam menyelesaikan tesis ini.
4. Arief Marwanto, S.T, M.Eng, Ph.D selaku Pembimbing Pendamping tesis ini, yang telah membimbing dalam menyelesaikan tesis ini.
5. Para Dosen program Magister Teknik Elektro FTI Unissula;
6. Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan di setiap perkuliahan;
7. Pimpinan langsung kami dari Kepala Dinas, Kepala Bidang, Kepala Seksi yang memberikan ijin dan dukungan belajar bagi kami.
8. Para sahabat di lingkungan kerja dan perkuliahan yang memotivasi perkuliahan agar dapat dilaksanakan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa tesis ini belum sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari rekan- rekan sangat dibutuhkan untuk penyempurnaan tesis ini.

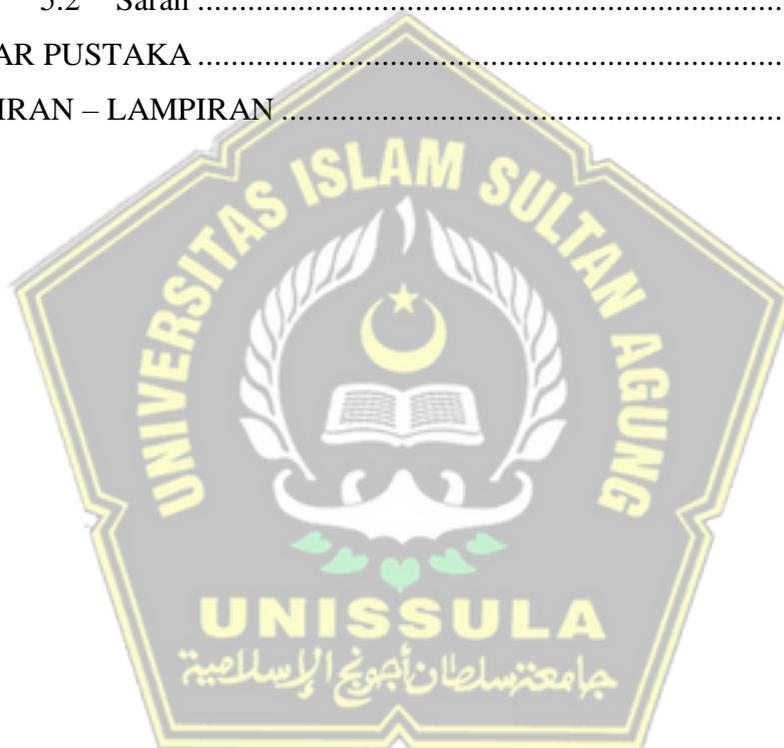
Semarang, 27 Agustus 2022

Mustaqim

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL TESIS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR PERSAMAAN	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	11
1.1 Latar Belakang.....	11
1.2 Perumusan Masalah	13
1.3 Batasan Masalah	13
1.4 Keaslian Penelitian	14
1.5 Tujuan Penelitian	16
1.6 Manfaat Penelitian	16
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	17
2.1 Kajian Pustaka	17
2.2 Landasan Teori	22
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	22
2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	26
2.2.3 Metode Prediksi Potensi Energi	29
2.2.3.1 Analisis Regresi.....	29
2.2.3.2 Jaringan Saraf Tiruan.....	30
2.2.3.3 Evaluasi.....	34
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Model Penelitian.....	36
3.2 Alat Pendukung dan Bahan	37
3.3 Teknik Pengumpulan Data	38
3.4 Input Data Parameter	39
3.5 Desain Data Aplikasi MATLAB	41

3.6	Alur Penelitian (Flowchart).....	44
3.7	Penjelasan Alur Penelitian	45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS		47
4.1	Hasil Penelitian.....	47
4.2	Analisa	57
4.2.1	Analisa Prediksi Kebutuhan PLTS	57
4.2.2	Analisa Prediksi Kebutuhan PLTB.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN – LAMPIRAN		63

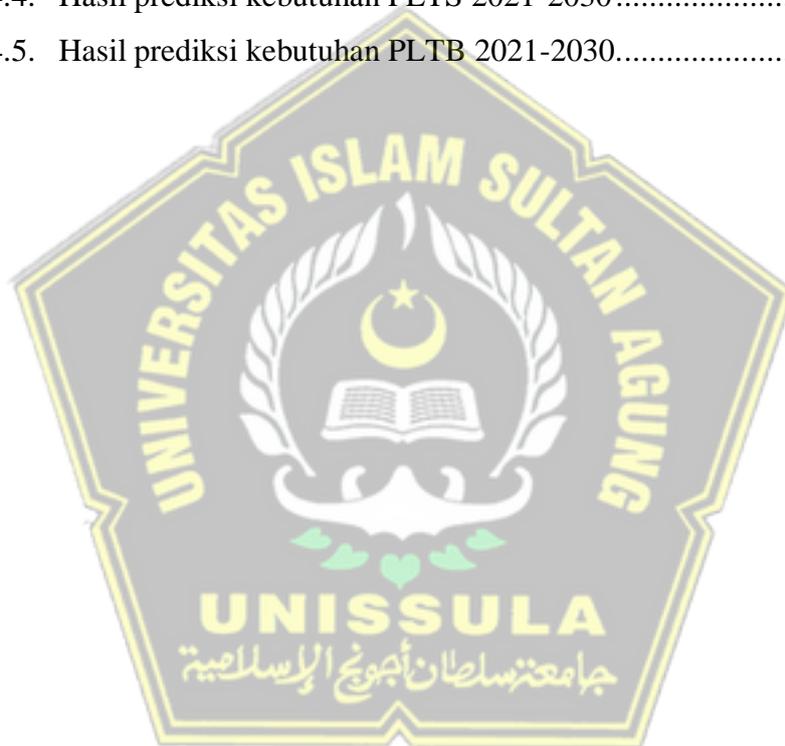


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Instalasi PLTS Off-Grid.	23
Gambar 2.2.	Instalasi PLTS On-Grid.....	24
Gambar 2.3.	Grafik Potensi PLTS di Jawa Tengah [28].....	25
Gambar 2.4.	Instalasi PLTB.	27
Gambar 2.5.	Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan.....	32
Gambar 3.1.	Model Penelitian	36
Gambar 3.2.	Diagram Blok Prediksi menggunakan JST.....	42
Gambar 3.3.	Arsitektur JST prediksi kebutuhan PLTS dan PLTB.....	43
Gambar 3.4.	Flowchart Penelitian.....	44
Gambar 4.1.	Model Arsitektur JST pada Matlab untuk prediksi kebutuhan PLTS.....	50
Gambar 4.2.	Grafik evaluasi output jaringan data pelatihan dan target pada prediksi kebutuhan PLTS	51
Gambar 4.3.	Grafik MSE Output Vs Target prediksi kebutuhan PLTS.....	52
Gambar 4.4.	Model Arsitektur JST Pada Matlab untuk prediksi PLTB	54
Gambar 4.5.	Grafik evaluasi output jaringan data pelatihan dan target pada prediksi kebutuhan PLTB.....	55
Gambar 4.6.	Grafik MSE Output Vs Target prediksi kebutuhan PLTB	56

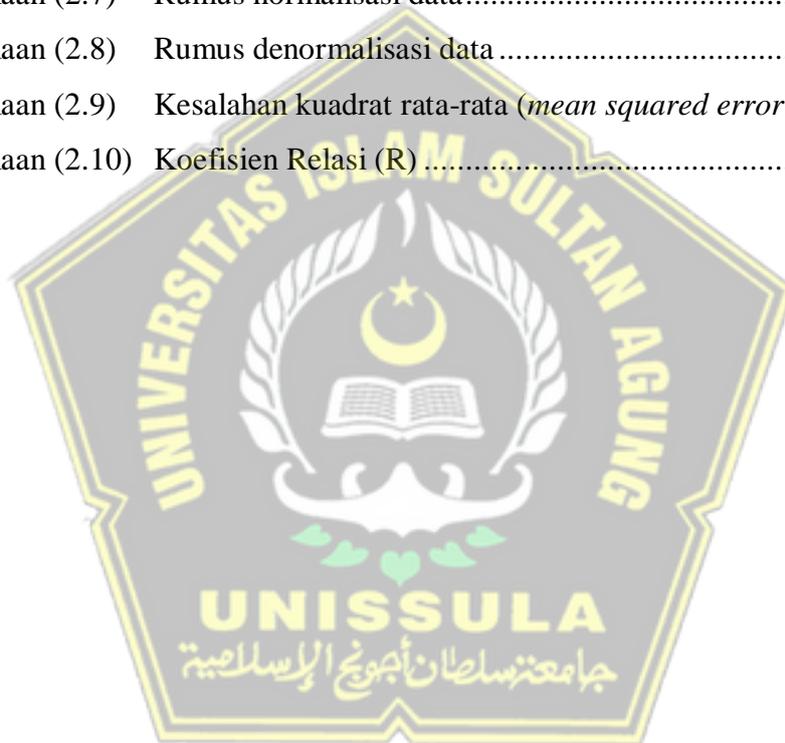
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Input Data Parameter perkembangan penduduk dan energi di Jawa Tengah [38] [39] [40].	40
Tabel 3.2. Perkembangan PLTS dan PLTB di Jawa Tengah [41].	40
Tabel 4.1. Data set Jaringan Syaraf Tiruan (JST) input dan target.	47
Tabel 4.2. Variabel kontanta dan koefisien regresi linear pada data uji input tahun kedepan.....	48
Tabel 4.3. Data prediksi regresi linear 10 tahun kedepan	49
Tabel 4.4. Hasil prediksi kebutuhan PLTS 2021-2030	53
Tabel 4.5. Hasil prediksi kebutuhan PLTB 2021-2030.....	56



DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (2.1)	Besarnya daya otuput PV (PPV).....	26
Persamaan (2.2)	Faktor penurunan daya disebabkan karena panas dinginnya suhu pada PV	26
Persamaan (2.3)	Daya pembangkit listrik tenaga angin	28
Persamaan (2.4)	Daya angin pada area luasan	28
Persamaan (2.5)	Hubungan antara kecepatan putar dan frekuensi generator.	29
Persamaan (2.6)	Persamaan Regresi Linear	30
Persamaan (2.7)	Rumus normalisasi data.....	33
Persamaan (2.8)	Rumus denormalisasi data	33
Persamaan (2.9)	Kesalahan kuadrat rata-rata (<i>mean squared error / MSE</i>)...	34
Persamaan (2.10)	Koefisien Relasi (R)	35



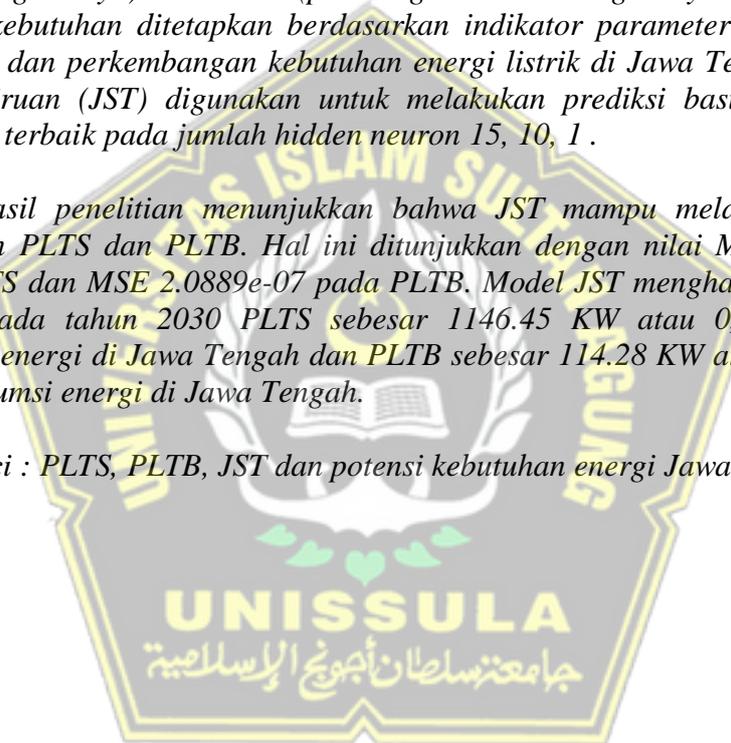
ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk di Jawa Tengah yang terus meningkat berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan listrik. Saat ini listrik masih menggunakan fosil sebagai sumber utama pembangkit energi listrik, hal ini memberikan dampak jejak karbon bagi kehidupan di bumi. Pemerintah menargetkan net zero emission (NZE) dengan menghentikan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) baru pada periode 2021-2030. Pemenuhan pasokan kebutuhan energi listrik dimasa depan dengan memanfaatkan potensi kebutuhan EBT di Jawa Tengah menjadi jawaban permasalahan tersebut.

Penelitian ini membahas tentang prediksi kebutuhan PLTS (pembangkit listrik tenaga surya) dan PLTB (pembangkit listrik tenaga bayu / angin). Model prediksi kebutuhan ditetapkan berdasarkan indikator parameter perkembangan penduduk dan perkembangan kebutuhan energi listrik di Jawa Tengah. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) digunakan untuk melakukan prediksi basis data dengan arsitektur terbaik pada jumlah hidden neuron 15, 10, 1 .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa JST mampu melakukan prediksi kebutuhan PLTS dan PLTB. Hal ini ditunjukkan dengan nilai MSE 3.7984e-08 pada PLTS dan MSE 2.0889e-07 pada PLTB. Model JST menghasilkan keluaran output, pada tahun 2030 PLTS sebesar 1146.45 KW atau 0,02605 % dari konsumsi energi di Jawa Tengah dan PLTB sebesar 114.28 KW atau 0.002596 % dari konsumsi energi di Jawa Tengah.

Kata kunci : PLTS, PLTB, JST dan potensi kebutuhan energi Jawa Tengah.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia maupun di dunia pada umumnya, terus meningkat dengan bertambahnya jumlah penduduk dan konsumsi energi yang juga cenderung terus meningkat. Permasalahannya, pasokan energi listrik utama saat ini masih mengandalkan dari bahan baku fosil (batu bara dan minyak bumi) yang terbatas dan terus mengalami penyusutan. Pemanfaatan fosil juga akan meninggalkan jejak karbon ke udara dan memberikan dampak yang negatif bagi kehidupan kita di bumi yang menyebabkan perubahan iklim menjadi lebih cepat. Kondisi tersebut menjadi penyebab dunia dan khususnya Indonesia berkomitmen dalam mengurangi dampak tersebut.

Saat ini semua negara Anggota G20 telah menetapkan target *Net Zero Emission* (NZE) untuk mengurangi jejak karbon pada tahun 2050-2070[1]. Indonesia menargetkan penggunaan pembangkit listrik yang menggunakan energi bersih pada 2060 dan tidak ada lagi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) baru pada periode 2021-2030. Setelah itu, pembangunan pembangkit listrik akan difokuskan untuk energi baru terbarukan (EBT)[2].

Akibatnya kebutuhan energi listrik sebagai dampak pertumbuhan penduduk akan menjadi tidak tercukupi. Dibutuhkan strategi pembangunan dan investasi untuk mendorong perekonomian Indonesia menjadi lebih hijau, khususnya investasi di pembangkit listrik.

Jawa Tengah adalah provinsi di Indonesia yang menopang beberapa pembangkit PLTU di Indonesia, maka provinsi ini membutuhkan strategi yang baik untuk membuat pemenuhan pasokan energi listrik tetap terjaga sebagai dampak dari target strategi nasional yang akan diberlakukan. Perencanaan pembangunan menjadi instrumen yang sangat penting dalam pemilihan EBT yang lebih bersih, minim emisi, ramah lingkungan, serta memiliki volume yang cukup baik dimasa depan.

Tenaga surya dan angin adalah perwakilan terbesar dari energi baru terbarukan (EBT) dan prioritas penelitian dan pengembangan saat ini. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Tenaga Surya memiliki kemampuan pencocokan yang optimal dalam sumber daya karena adanya kesesuaian antara energi matahari dan energi angin pada waktunya. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin-Tenaga Surya menjadi sistem tenaga mandiri, yang memiliki kondisi sumber daya terbaik, dan memiliki prospek penerapan yang baik[3].

Energi angin dan energi surya menjadi energi baru terbarukan dengan keunggulan nol emisi karena memanfaatkan kondisi alam dan kapasitasnya berlimpah di Indonesia. Energi angin sebagai salah satu energi yang terbarukan memiliki potensi kebutuhan untuk dikembangkan sebagai energi alternatif bagi energi dari bahan bakar fosil. Berdasarkan survei Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (Lapan) di dua puluh daerah di Indonesia, kecepatan rata-rata angin di Indonesia per tahun sekitar 2 sampai 6 m/s. Potensi kebutuhan energi alternatif renewable yang juga diklaim memiliki kans besar di Indonesia adalah tenaga surya. Pemilihan sumber energi terbarukan ini sangat beralasan mengingat suplai energi surya dari sinar matahari yang di terima oleh permukaan bumi mencapai mencapai 3×10^{24} Joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi kebutuhan energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m²/hari. Melimpahnya cahaya matahari yang merata dan dapat ditangkap di seluruh kepulauan Indonesia hampir sepanjang tahun merupakan sumber energi listrik yang sangat potensial [4].

Solusi dari permasalahan pemenuhan pasokan kebutuhan energi listrik dimasa depan adalah dengan memanfaatkan potensi kebutuhan energi terbarukan tenaga surya dan angin di Jawa Tengah. Hal ini menjadi jawaban permasalahan energi pada saat kebijakan energi tersebut diberlakukan. Potensi tersebut harus dapat diketahui secara baik dan tepat untuk

memperhitungkan eskalasi pembangunan EBT serta mendorong investasi dan kebijakan energi yang tepat di Jawa Tengah.

Sehingga diperlukan sebuah penelitian yang komprehensif untuk mengetahui potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Listrik Tenaga Angin dan Listrik Tenaga Surya terhadap pertumbuhan penduduk dan kebutuhan listrik. Penelitian ini berjudul Prediksi Kebutuhan PLTS Dan PLTB Berbasis Jaringan Saraf Tiruan.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini, potensi listrik tenaga matahari atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan listrik tenaga angin atau disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) akan diintegrasikan dengan kebutuhan energi yang lebih efisien menggunakan perangkat lunak.

Oleh karena itu dibuat perumusan masalah sebagai berikut:

1. Membuat analisis dengan parameter masukan perkembangan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan energi listrik di Jawa Tengah terhadap ketersediaan energi baru terbarukan.
2. Membuat analisis prediksi kebutuhan energi PLTS dan PLTB dengan berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST) berbasis data kebutuhan energi masyarakat di Jawa Tengah.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi pada beberapa analisa tertentu agar lebih fokus dan mendalam terhadap prediksi kebutuhan energi PLTS dan PLTB dengan berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST), yaitu :

1. Mempertimbangkan kebutuhan energi pada wilayah provinsi Jawa Tengah.
2. Perhitungan integrasi dari berbagai data yang dapat membangun model prediksi yang memperkirakan jumlah energi listrik dimasa depan dari tenaga surya dan tenaga angin.
3. Pemodelan/simulasi sistem menggunakan software Matlab.

1.4 Keaslian Penelitian

Energi surya dan energi angin menjadi energi terbarukan paling menguntungkan dibanding yang lain, karena sangat ramah lingkungan, ketersediaan yang cukup dan tidak banyak dipengaruhi kondisi kondisi tertentu. Beberapa metode prediksi dan penelitian telah dilakukan dengan kelebihan dan kekurangannya.

- a. “Perhitungan Potensi PLTS Atap untuk Bangunan Pemerintah di Sumatera Utara, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Surabaya dan Bali” [5]. Dalam laporannya IESR menggunakan perangkat lunak desain PV berbasis web untuk melakukan perhitungan potensi teknis bangunan yang dipilih. Versi perangkat lunak yang digunakan memiliki tampilan muka yang terintegrasi dengan citra satelit Google Maps. Bangunan yang hendak dihitung potensinya dipindai melalui citra satelit, sehingga didapatkan potensi teknis listrik surya atap (rooftop solar) berdasar luasan atap bangunan tersebut. Desain dan skenario yang digunakan merupakan pilihan sistem (*default*), dan IESR melakukan modifikasi arah penyusunan panel surya (paralel horizontal atau vertikal) untuk mengoptimalkan luasan atap yang dapat dipasang PLTS atap. Jadi, potensi dilakukan hanya melihat dari citra bangunan gedung dan wilayah tertentu saja.
- b. Aplikasi Teknologi Informasi dan Manajemen yang berjudul “Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menggunakan Metode Fuzzy Mamdani” [3]. Penelitian dilakukan di Kabupaten Sumenep, setelah dilakukan pemrosesan dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani dihasilkan nilai potensi angin dengan rata – rata dari keseluruhan data *output* = 43.51 % dan menyarankan Perlu adanya riset lebih lanjut untuk mengurangi kelemahan yang dimiliki dalam sistem pendukung keputusan yang telah dibuat, seperti melakukan kombinasi metode, penggunaan metode baru atau menggunakan dan menambahkan kriteria baru yang diharapkan memberikan nilai ketepatan yang lebih baik. Pada

penelitian ini akan dilakukan metode penelitian menggunakan JST di Jawa Tengah dengan harapan hasil prediksi yang lebih baik.

- c. *“Comparative Study of Building Energy Use Prediction Based on Three Artificial Neural Network Algorithms”*[6], pada aplikasi JST atau *Neural Networks* ada 3 (tiga) Algoritma yang biasa dipakai, *Backpropagation Neural Networks (BPNN)*, *Generalized Regression Neural Network (GRNN)*, dan *Fuzzy Neural Network (FNN)*. Dalam penelitiannya, tiga algoritma JST tipikal dengan parameter penentu berbeda dibandingkan dalam ukuran *Mean Squared Error (MSE)* dan waktu operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *MSE* dari semua model berbasis JST hampir sama dengan perbedaan nilai yang sangat kecil. Studi ini membantu memandu pemilihan JST yang sesuai dan penentuan parameter terkait penggunaan algoritme dalam aplikasi teknik.
- d. *“Potential of Renewable Energy Sources usage in an energy demand of a single-family houses neighbourhood, constituting an Energy Cluster”*[7], membangun sebuah perangkat lunak, diberi nama *Tool for Energy Efficiency Analysis of an Energy Cluster software (TEAC)* yang digunakan dalam simulasi potensi energi menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi potensi Energi Angin dan Energi Matahari. Hasilnya diperoleh distribusi pemakaian energi, keluaran sumber energi terbarukan dan analisa ekologi mengenai emisi gas rumah kaca, dan analisa keuntungan modernisasi energi rumah tangga.
- e. *“Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya-Bayu) di Banda Aceh menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan”*[8]. Pada penelitiannya menyatakan potensi daya yang bisa dihasilkan tiap jamnya selama 43 hari yaitu pada tanggal 11 Desember 2017 hingga 22 Januari 2018 merupakan potensi daya yang didapat hanya gambaran umum saja dengan menggunakan persamaan, persamaan tersebut digunakan hanya untuk mengasumsikan potensi daya yang dapat dihasilkan oleh masing-masing pembangkit. Karena masih banyak

faktor-faktor lainnya yang dapat mempengaruhi keluaran daya dari kedua pembangkit tersebut.

Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan model prediksi kebutuhan pembangkit listrik hari berikutnya berdasarkan citra satelit, potensi dengan metode fuzzy, JST dalam skala kecil dan acuan pembangun rencana pembangkit energi listrik atau rencana pembelian listrik dalam skala jangka pendek.

Penelitian ini mengfokuskan pada kondisi dan karakter kebutuhan Listrik di Jawa Tengah skala jangka panjang dengan memperkirakan Energi Baru terbarukan tenaga matahari dan tenaga angin menggunakan metode kecerdasan buatan JST pada skala parameter lebih luas, sehingga Jawa Tengah menjadi Provinsi yang siap dalam menghadapi *Net Zero Emission* (NZE) ditahun 2030 dan masa yang akan datang.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat analisis dan pemodelan prediksi kebutuhan energi listrik berbasis data kebutuhan energi listrik masyarakat Jawa Tengah dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST).
2. Melakukan analisis pengaruh perkembangan penduduk dan kebutuhan energi listrik terhadap PLTS dan PLTB.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan estimasi dalam perencanaan energi baru terbarukan di Jawa Tengah.
2. Sebagai referensi Pembangunan Energi Listrik dan potensi pembangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Jawa Tengah.
3. Dari Hasil Simulasi di Wilayah Jawa Tengah, diharapkan dapat digunakan sebagai landasan kebijakan Nasional.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penulisan Tesis ini peneliti menggali informasi dari penelitian - penelitian yang berhubungan dengan Potensi Energi Baru Terbarukan terutama PLTS dan PLTB, baik mengenai kebutuhan energi secara global maupun pengaruh kondisi iklim serta pertumbuhan penduduk dengan teori yang mendukung dalam penelitian ini.

- a. “Simulasi Kalkulator Energi Baru Terbarukan (EBT) Guna Memenuhi Ketahanan Energi di Indonesia [9]” merekomendasikan perlu segera dibuat neraca sumber daya alam nasional (khususnya energi) sebagai acuan untuk memetakan seluruh ragam potensi dan produksi energi nasional di seluruh wilayah nusantara dan Perlu segera dipercepat pengembangan infrastruktur EBT sesuai dengan roadmap pencapaian bauran energi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang bersumber dari Kementerian ESDM. Data yang digunakan adalah data time series mulai dari tahun 1999 sampai dengan 2011 dan terbatas menggunakan software aplikasi *Calculator2050*. Rekomendasi ini perlu segera dibuat neraca sumber daya alam nasional (khususnya energi) sebagai acuan untuk memetakan seluruh ragam potensi dan produksi energi nasional di seluruh wilayah nusantara dan Perlu segera dipercepat pengembangan infrastruktur EBT sesuai dengan roadmap pencapaian bauran energi.
- b. “*Feasibility Analysis of Applying the Wind–Solar Hybrid Generation System in Pastoral Area*”[10], menyatakan bahwa listrik Tenaga surya dan angin adalah perwakilan terbesar dari energi terbarukan dan prioritas penelitian dan pengembangan saat ini. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin-Tenaga Surya memiliki kemampuan pencocokan yang optimal dalam sumber daya karena adanya kesesuaian antara energi matahari dan energi angin pada waktunya. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin-Tenaga Surya menjadi sistem tenaga mandiri,

yang memiliki kondisi sumber daya terbaik, dan memiliki prospek penerapan yang baik jadi pemilihan sumber daya EBT tersebut perlu diramalkan perkembangannya.

- c. “Pemodelan dan pemetaan potensi energi angin menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) di Bendungan Karangates Kabupaten Malang”[11]. Pemodelan pada penelitian menggunakan metode JST dengan metode *training Lavenberg Marquardt*. Data yang diambil selama 2 tahun 4 bulan mulai dari Januari 2008 sampai April 2010 dengan format data harian setiap pengambilan data 3 kali tiap hari. Metode JST merupakan metode yang tepat untuk dipilih dalam studi potensi ini dan penelitian ini terbatas tempat ini saja.
- d. “Feasibility study on wind energy harvesting system implementation in moving trains” [12], menyatakan bahwa perkiraan yang dibutuhkan pada investasi dan masa pengembalian (*payback periode*) pembangunan unit pembangkit energi angin pada kereta api memberikan dampak positif pada kelayakan pembangunan energi terbarukan, walaupun banyak aspek teknis perlu untuk diperhitungkan dalam realisasinya. Jadi, potensi angin sebagai energi alternatif yang layak dapat diramalkan perkembangannya di Jawa Tengah.
- e. “Wind Power Interval Prediction Based on Improved PSO and BP Neural Network” [13], menyimpulkan bahwa peningkatan PSO-BPNN memiliki keunggulan dalam presisi pencarian dan sangat cocok untuk menyelesaikan prediksi interval angin dalam pembangkitan energy listrik tenaga angin. Sehingga pemilihan metode JST untuk meramalkan perkembangan energi di Jawa Tengah sangat tepat dilakukan.
- f. “Pemanfaatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk pemetaan kawasan potensi sumber PLTS di pulau jawa” [14], menerangkan dengan melihat jumlah curah hujan dari keempat kabupaten yang paling berpotensi, Kabupaten Gresik, Lamongan, Rembang, Sampang tersebut diperoleh bahwa Kabupaten Rembang memiliki jumlah curah hujan terendah dalam satu tahun periode yang ditentukan.

- g. “*Energy Models for Renewable Energy Utilization and To Replace fossil fuels*”[15], menyimpulkan kebutuhan energi telah dapat diperkirakan pada tahun 2020, prediksi menggunakan JST sangat membantu dalam memprediksi energi India di masa depan.
- h. “*Microgrid-Level Energy Management Approach Based on Short-Term Forecasting of Wind Speed and Solar Irradiance*” [16], memilih metode *Neural Networks* (NN) untuk mengolah data variabel *Internet of Things* (IOT), *Big data* (BD) , *Machine Learning* dan *Deep Learning* untuk meramalkan kecepatan angin dan radiasi sinar matahari sebagai acuan ketersediaan pembangkitan energi listrik.
- i. “*A Literature Review of Wind Forecasting Methods*” [17], menerangkan bahwa metode berbasis JST merupakan metode yang tepat untuk diterapkan dalam masalah peramalan tenaga angin.
- j. “*Neutral current compensation techniques in autonomous wind energy sources*” [18]. Pada instalasi Turbin Angin pembangkit energi Angin, masalah Netral sering terjadi dan itu bisa dikompensasi kemudian diperhitungkan dengan menggunakan Software atau Simulink dengan Jaringan Saraf Tiruan.
- k. “*Short-Term Wind Power Forecasting Using the Enhanced Particle Swarm Optimization Based Hybrid Method*” [19], mengevaluasi peramalan tenaga angin dengan membandingkan metode *RBF neural network*, *persistence method*, *back propagation neural network* dan megkombinasikannya, hasilnya menunjukkan metode hybrid menghasilkan akurasi yang baik dalam peramalan tenaga angin.
- l. “*Forecasting of renewable energy load with radial basis function (RBF) Neural Networks*”[20], melakukan simulasi dan tes, membuktikan keakuratan dan ketepatan RBF memiliki efek saling ketergantungan nonlinier antara *input* dan *output*. Karena kemampuannya yang baik untuk meramalkan *Difference between the electricity Produced from renewable energy sources and consumed (DPcg)* atau perbedaan antara listrik yang dihasilkan dari sumber energi terbarukan dan yang dikonsumsi dalam kaitannya dengan radiasi

matahari, model ini sangat cocok untuk digunakan pada aplikasi energi *Short Term Load Forecasting (STLF)* atau peramalan beban jangka pendek.

- m. *“Climate effect analysis on solar energy generation in jeju city”* [21], menyatakan bahwa Jaringan Saraf Tiruan mengambil data suhu, kelembaban, insolasi, dan durasi sinar matahari sebagai masukan, dan menentukan jumlah pembangkit energi matahari. Model yang dikembangkan adalah mengambil data per hari dari pembangkit listrik, sehingga memungkinkan untuk membangun rencana pembangkit listrik dimasa depan. Pembangkit energi surya menurut parameter iklim di Kota Jeju, Korea Selatan, mengambil manfaat dari Jaringan Saraf Tiruan. JST tersebut menggunakan data suhu, kelembaban, isolasi, dan durasi sinar matahari sebagai *input*, dan jumlah pembangkit energi surya ditentukan untuk hasilnya.
- n. *“Progress of renewable energy in India”* [22], menyatakan di antara *teknologi* energi terbarukan, angin adalah teknologi yang paling matang dan menjadi penyumbang terbesar bagi sektor terbarukan. Namun, tenaga surya memiliki potensi yang paling besar dan tumbuh lebih cepat dibandingkan energi angin. Tentu saja, *Small Hydro Power (SHP)*, biomassa, dan teknologi terbarukan lainnya diharapkan dapat melengkapi tenaga surya dan angin. Sektor terbarukan menghadapi tantangan seperti efisiensi rendah, kurangnya pembiayaan jangka panjang, belanja modal awal yang tinggi, suku bunga tinggi, pengembalian rendah, konektivitas jaringan, ketersediaan lahan, dan banyak lagi. Pemerintah perlu terus menawarkan insentif berbasis generasi dan skema subsidi modal agar sektor ini tetap menarik bagi produsen pembangkit. Di sisi lain, menciptakan kesadaran, minat, keinginan, dan tindakan untuk produk ramah lingkungan di konsumen harus diberikan kepentingan yang sama.
- o. *“Recent advances on smart grid technology and renewable energy integration”* [23], Potensi tenaga angin yang tinggi dalam sistem kelistrikan mempunyai banyak tantangan bagi operator sistem tenaga

listrik, terutama karena ketidakpastian dan variabilitas pembangkit listrik tenaga angin. Meskipun energi angin tidak handal, metode prediksi kecepatan angin yang akurat dapat membantu operator sistem tenaga mengurangi risiko pasokan listrik yang tidak dapat diandalkan. Penelitian ini mengusulkan *Enhanced Particle Swarm Optimization (EPSO)* metode prediksi berbasis hybrid untuk prediksi tenaga angin jangka pendek. Metode prediksi hibrid menggabungkan metode ketekunan, bagian belakang jaringan saraf propagasi, dan jaringan fungsi *Radial basis function (RBF)*.

- p. “*Onshore wind energy use in spatial planning—a proposal for resolving conflicts with a dynamic safety distance approach*” [24]. Evaluasi dan kontrol ekspansi tenaga angin oleh perencanaan tata ruang memainkan peran kunci untuk mitigasi dampak negatif serta respon masyarakat. Perencanaan tata ruang menawarkan instrumen untuk menyelesaikan potensi konflik dengan para pemangku kepentingan yang terkena dampak. Pada tingkat regional, penentuan area prioritas dan larangan untuk perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga angin berdasarkan kriteria fungsional menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan.
- q. “*Evaluation of photovoltaic cells in a multi-criteria decision making process*” [25]. Pada penelitian yang fokus pada jaringan saraf fungsi radial-basis (RBF), merupakan pilihan yang paling populer dan banyak digunakan dalam banyak aplikasi, termasuk prediksi energi terbarukan. Prediksi yang akurat dan presisi, dalam pemahamannya saling memiliki ketergantungan nonlinier antara beban dan radiasi matahari dari jaringan saraf. Fenomena tersebut dapat diilustrasikan dan didiskusikan dengan menggunakan data yang diperoleh dari *ampiteater photovoltaic eksperimental* dengan dimensi minimum 0,4 kV / 10 kW.
- r. “*Short Term Wind Power prediction*” [26], mengungkapkan bahwa telah terbukti ramalan prediksi cuaca numerik yang ditingkatkan dari tenaga angin di lokasi ladang angin berpotensi dapat meningkatkan

efisiensi penjadwalan produksi pembangkit yang menghasilkan penghematan bahan bakar fosil pada pembangkit listrik [26].

2.2 Landasan Teori

Penulisan penelitian ini menggali informasi dari penelitian terkait PLTS dan PLTB sebelumnya sebagai bahan perbandingan, baik mengenai kekurangan atau kelebihan untuk melengkapi penulisan penelitian ini menjadi lebih baik. Selain itu, peneliti juga menggali informasi dari buku - buku maupun skripsi dalam rangka mendapatkan suatu informasi tentang teori yang berkaitan dengan judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah.

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Panel surya yang memproses sel surya (*solar cell*) terbuat dari bahan semikonduktor yang menerima dan memproses Foton dari sinar matahari menjadi energi listrik.

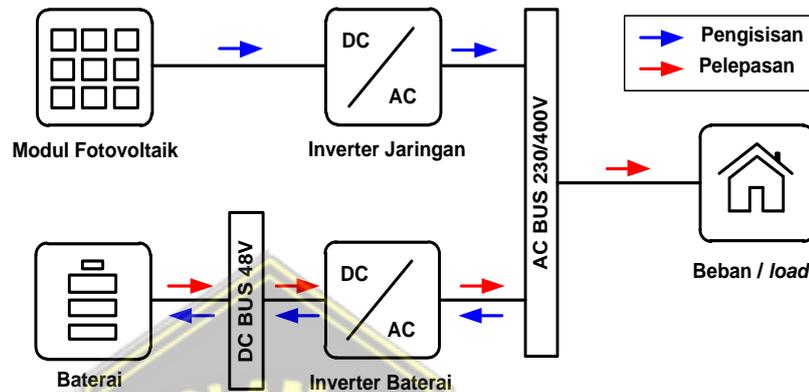
Sifat yang mendasar dari PLTS adalah pembangkitan listrik dilaksanakan hanya pada siang hari. Mengingat sebagian besar wilayah di Indonesia mempunyai beban puncak pada malam hari, maka pemanfaatan PLTS untuk penggunaan malam hari harus memiliki sarana penyimpanan daya. Unit atau Modul PLTS terdiri dari panel Solarcell, modul pengatur daya, baterai/accu, sarana pengguna seperti lampu, TV, pompa air dan lain- lain.

Sistem pembangkit listrik tenaga surya terbagi menjadi off-grid dan on-grid:

1) Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid

PLTS off-grid yang dikelola secara komunal atau yang dikenal sering disebut dengan sistem PLTS mandiri (*stand-alone*) atau tidak terhubung dengan sumber listrik yang sudah ada, beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan

PLN. Sistem ini membutuhkan baterai untuk penyimpanan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Instalasi PLTS Off-Grid.

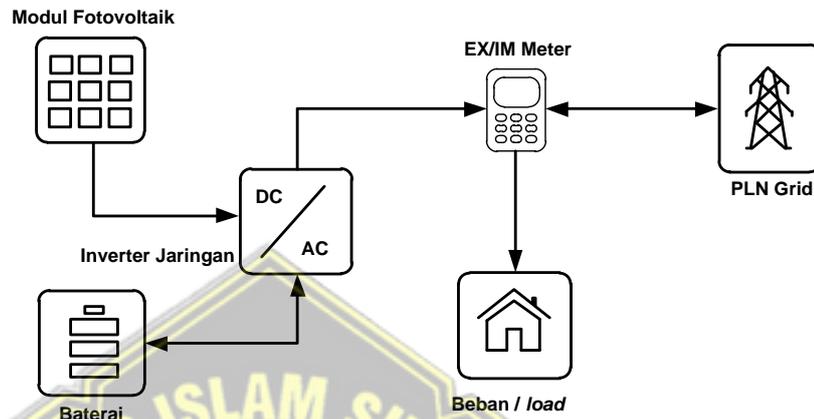
Pada Gambar 2.1 dijelaskan bahwa listrik diterima dari modul fotofoltaik yang kemudian didistribusikan dengan tegangan standar 230VAC agar bisa digunakan pada peralatan beban yang biasa digunakan oleh masyarakat. Pada saat yang sama, listrik tersebut juga melakukan pengisian pada baterai melalui bus sesuai fungsinya, yang berguna pada waktu modul fotofoltaik tidak mengisi (pada malam hari) baterai mengeluarkan listrik menuju bus sehingga beban tetap terjaga keandalan sumber listriknya.

2) Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid.

Sistem On-grid adalah sistem yang terhubung langsung dengan jaringan PLN melalui solar inverter yang berskala besar. PLTS akan terhubung dengan jaringan tergantung dari kondisi dari sinar matahari yang mengenai PV modul. Sistem PLTS On-Grid atau biasa disebut PLTS tersambung pada Jaringan artinya sistem PLTS yang produksinya diatas 100 kWp.

Instalasi sistem On-grid ini biasanya bersifat Independent Power Producer (IPP) dimana sistem penjualanya langsung ke PLN

berdasarkan *feed-in* tarif. Sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTL untuk Kepentingan Umum. Daya akan masuk ke jaringan PLN selama jaringan memadai seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Instalasi PLTS On-Grid

Pada Gambar 2.2 dijelaskan bahwa listrik diterima dari modul fotovoltaik yang kemudian didistribusikan ke Kwh Ex/Im Meter (ekspor impor meter) dengan tegangan standar 230VAC agar bisa digunakan pada peralatan beban yang biasa digunakan oleh masyarakat. Pada saat yang sama, listrik tersebut juga melakukan pengisian pada baterai, yang berguna pada waktu modul fotovoltaik tidak mengisi (pada malam hari atau pada PLN grid mengalami drop) baterai mengeluarkan listrik menuju inverter sehingga beban tetap terjaga keandalan sumber listriknya.

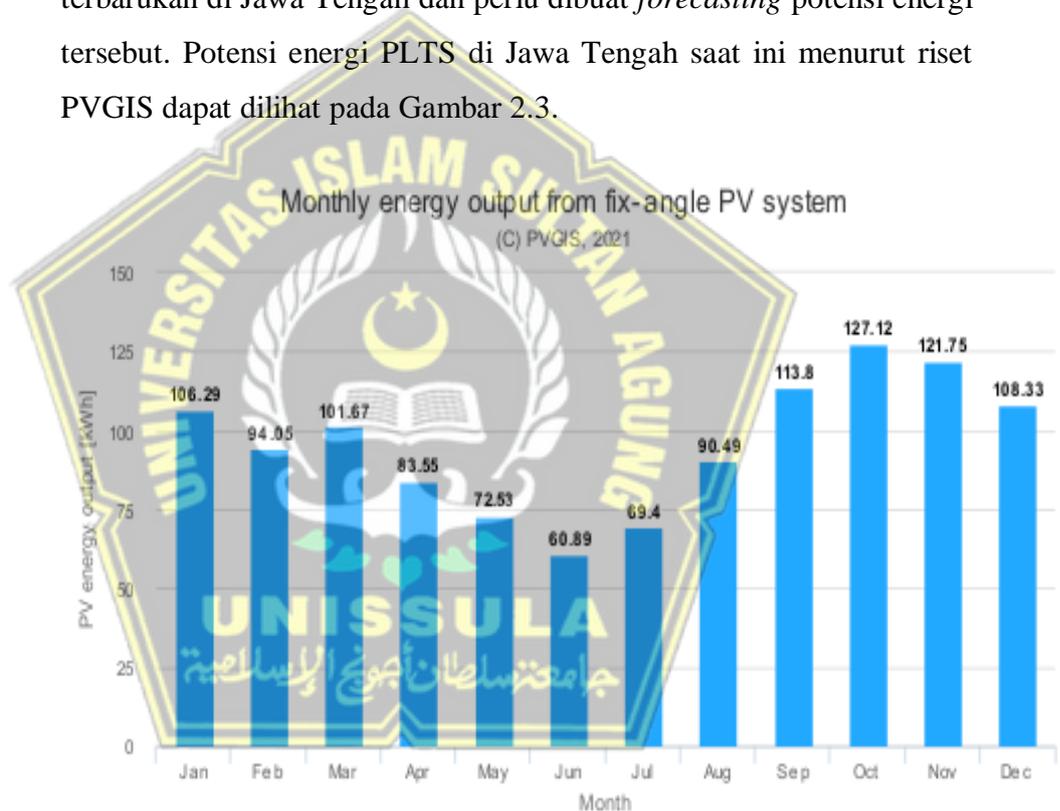
Sistem Hibrida juga dapat dikembangkan dengan integrasi PLTS dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) untuk meningkatkan kinerja sistem kelistrikan PLTB ataupun sebaliknya.

Daya yang dihasilkan oleh panel surya merupakan hasil akhir dari tahapan - tahapan dalam mengkonversi energi matahari. Energi

yang dihasilkan oleh array panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut[27] :

- Luas dari array panel surya
- Efisiensi konversi dari sebuah modul sel surya
- Lokasi geografis dari tempat pemasangan panel surya
- Sudut kemiringan pemasangan panel surya
- Suhu panel surya saat beroperasi

Menurut beberapa penelitian energi tenaga surya menjadi Energi yang sangat potensial dalam mendukung peranan energi baru terbarukan di Jawa Tengah dan perlu dibuat *forecasting* potensi energi tersebut. Potensi energi PLTS di Jawa Tengah saat ini menurut riset PVGIS dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Grafik Potensi PLTS di Jawa Tengah [28].

Berdasarkan data potensi radiasi dan asumsi kapasitas terpasang yang telah diperoleh, selanjutnya dapat dihitung besar daya *output* yang bisa dihasilkan oleh PV sesuai dengan besarnya Global Horizontal Irradiance (kWh/m²) dan suhu PV saat itu. Besarnya daya

listrik output PV (PPV) yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan (2.1) berikut ini.

$$PPV = PPV, STC \cdot f_{PV} \cdot f_{temp} \left(\frac{GHI}{IT, STC} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana PPV, STC adalah daya nominal PV sesuai dengan rating daya yang digunakan (Watt), f_{PV} merupakan penurunan daya PV yang bernilai antara 0,85 hingga 1,1, dan f_{temp} merupakan faktor penurunan daya disebabkan karena panas dinginnya suhu pada PV yang bisa dihitung menggunakan persamaan (2.2). Nilai GHI (*Global Horizontal Irradiation*) diperoleh dari informasi yang terdapat pada Global Solar Atlas dalam satuan (kWh/m²), sedangkan IT, STC merupakan besar radiasi matahari pada saat pengetesan pabrik (umumnya 1000 W/m²).

$$f_{temp} = [1 + \alpha_p (T_c - T_{c, STC})] \dots\dots\dots (2.2)$$

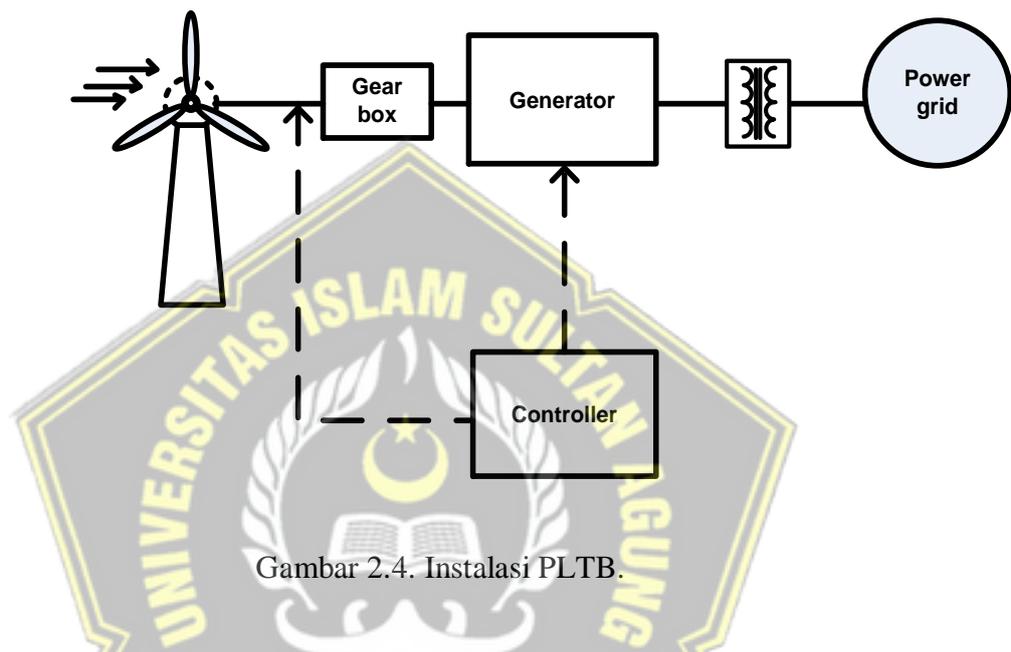
Dimana α_p adalah koefisien suhu PV (%/°C), T_c adalah suhu cell PV (°C) dan $T_{c, STC}$ merupakan suhu standar PV yaitu 25 °C.

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga angin (*wind power*) adalah konversi terjadinya energi listrik berdasarkan pada energi gerak/kecepatan angin sehingga energi gerak yang bisa dikonversi menjadi listrik melalui turbin. Saat ini, energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang belum mendapat perhatian cukup. Wilayah wilayah yang ditengarai memiliki kecepatan angin lebih dari 6m/s diantaranya ujung Pulau Sumatera, sebagian selatan pulau jawa, dan utara Pulau Sulawesi, diperkirakan potensi energi angin di Indoensia mencapai 61.97 GW [9].

Cara kerja pembangkit tenaga angin yang dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) cukup sederhana. Proses

pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Instalasi PLTB secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Instalasi PLTB.

Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah sebagai berikut [29] :

- 1) Rotor (kincir), rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter semakin besar pula listrik yang dihasilkan, dilihat dari jumlah sudut rotor (baling-baling), sudut dengan jumlah sedikit berkisar antara 3 - 6 buah lebih banyak digunakan.
- 2) Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.
- 3) Jenis generator, generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk Sistem Konversi

Energi Angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah. Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan pada malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasinya sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja.

Kontribusi daya pembangkit listrik tenaga angin setiap saat tidak tetap, mengingat tenaga angin atau angin sangat bergantung dari kondisi alam. Angin mempunyai tenaga yang sama besarnya dengan energi kinetik dari aliran angin tersebut. Perhitungan energi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3).

$$P_{tot} = m \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g_c} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

- P_{tot} = daya total angin (Watt)
- m = aliran massa angin kg/det
- v_i = kecepatan angin masuk m/det
- g_c = faktor konversi = 1 kg.m/N.det

Daya angin sebanding dengan kerapatan udara pada area luasan tertentu dan kecepatan angin pangkat tiga pada kondisi aliran angin tidak mengalami gangguan, seperti diterangkan pada persamaan (2.4).

$$P_w = \frac{1}{2} A \cdot \rho V^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

- P_w = Daya dalam angin (Watt/m²)
- A = Luas area sapuan rotor (m²)

- ρ = Densitas udara (1,225 kg/m³)
- V = Kecepatan angin (m/s)

Generator arus bolak balik atau bisa disebut juga generator dc memiliki bagian utama yang terdiri dari magnet permanen (tetap), kumparan cincin geser, dan sikat. Pada generator ini perubahan garis gaya magnet yang diperoleh dengan memutar kumparan yang ada di dalam medan magnet permanent. Karena dihubungkan dengan cincin geser, maka perputaran kumpran yang terjadi menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi ac, kejadian tersebut menimbulkan arus ac. Hubungan antara kecepatan putar dan frekuensi generator dapat dilihat pada persamaan (2.5).

$$n = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

- n = putaran (rpm)
- f = frekuensi (Hz)
- p = jumlah kutub

Potensi energi angin di Jawa Tengah belum secara optimal dimanfaatkan dan perlu adanya *forecasting* potensi energi tersebut untuk mendukung bauran energi baru terbarukan secara nasional dan khususnya untuk mendukung kebijakan EBT di Jawa Tengah.

2.2.3 Metode Prediksi Potensi Energi

2.2.3.1 Analisis Regresi

Sekumpulan data memiliki peran yang penting bagi kehidupan karena bisa memudahkan dalam pengambilan keputusan. Informasi data tersebut berasal dari berbagai sumber tetapi masih berupa opini atau anggapan karena belum diolah secara lebih lanjut. Melalui data inilah para pengguna dapat menemukan pengetahuan berupa database yang semula

tidak mungkin bisa diketahui. Diantara fungsi utama data tersebut adalah *predictive*. Prediksi adalah cara untuk mencari kemungkinan hasil pada masa akan datang. Pada teknologi data mining, berdasarkan bukti dan temuan pada data yang digunakan metode prediksi dapat memprediksi kemungkinan pada masa datang. Perhitungan matematik dan statistik berperan erat dalam proses prediksi. Langkah prediksi dapat dilakukan menggunakan perhitungan rumus regresi linier.

Analisis regresi adalah teknik statistik untuk pemodelan dan investigasi hubungan dua atau lebih variabel. Dalam analisis regresi terdapat satu atau lebih variabel independen/prediktor yang biasa diwakili oleh variabel x dan satu variabel respon yang biasa diwakili oleh y . Jika jumlah variabel independen hanya satu, maka sering disebut dengan regresi linear sederhana. Sedangkan jika ada lebih dari satu variabel independen maka dikenal dengan regresi linear berganda (multiple regresi linear).

Persamaan regresi linier sederhana secara matematik diekspresikan pada persamaan (2.6)[30].

$$Y = aX + b \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan :

- Y = Variabel dependen (variabel terikat)
- X = Variabel independent (variabel bebas)
- a = Konstanta (nilai dari Y apabila $X = 0$)
- b = Koefisien regresi (pengaruh positif atau negatif)

2.2.3.2 Jaringan Saraf Tiruan

Salah satu cabang dari ilmu *artificial intellegent* (AI) adalah jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*). Jaringan syaraf tiruan (JST) merupakan suatu sistem analisis yang merepresentasikan buatan dari otak manusia atau

didasarkan pada sistem syaraf manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan proses belajarnya melalui perubahan bobot sinapsisnya [31]. JST ini terbentuk dari elemen-elemen yang diatur sedemikian rupa sehingga seakan-akan mempunyai bentuk dan fungsi yang menyerupai otak manusia. JST tersebut mampu menganalisis kegiatan berbasis data masa lalu, data masa lalu ini akan di proses oleh jaringan syaraf tiruan sehingga menghasilkan sebuah keputusan terhadap data yang belum pernah dipelajari. Proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer (*software*) yang mampu menyelesaikan proses perhitungan matematik. JST terbentuk dari generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi yang diasumsikan sebagai berikut [32] :

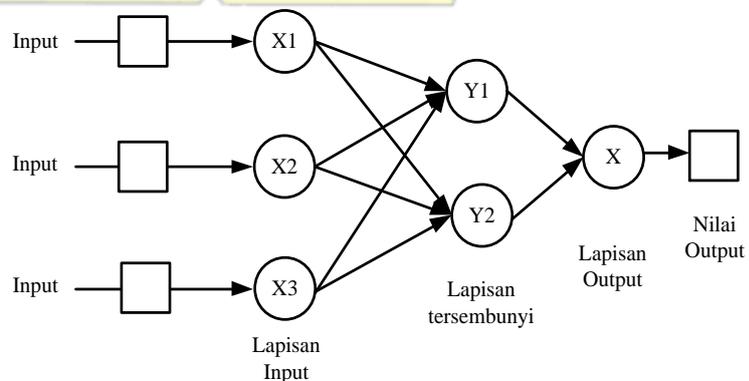
1. Neuron merupakan pemrosesan informasi yang terjadi pada elemen-elemen sederhana.
2. Pengiriman sinyal melalui neuron-neuron melewati penghubung.
3. Antara neuron terdapat penghubung yang memiliki bobot berbeda bisa memperkuat atau bahkan memperlemah sinyal.
4. Untuk menghasilkan *output*, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada jumlah *input* yang diterima. Besarnya *output* tersebut kemudian akan dibandingkan dengan suatu batas ambang.

JST merupakan sistem komputasi dimana arsitekturnya representasi dari pengetahuan tentang sel syaraf biologi otak manusia. Maka hal tersebut sangatlah cocok dalam menyelesaikan masalah sama seperti tipe otak manusia. JST memiliki 2 karakteristik utama yaitu [9]:

1. Pola hubungan antar neuron yang membentuk sebuah jaringan atau disebut arsitektur jaringan.
2. Fungsi untuk menentukan sebuah nilai keluaran suatu neuron. Disebut fungsi aktivasi.
3. Metode untuk menentukan bobot hubungan, ada 2 metode yaitu metode JST pelatihan dan metode JST pengenalan. Hal ini disebut Algoritma Jaringan.

Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan sistem pemodelan informasi yang berusaha membuat sebuah model sistem komputasi informasi yang dapat menirukan rangkaian cara kerja jaringan syaraf biologis pada manusia yang terintegrasi dengan bagian bagian yang lebih sederhana sehingga dapat melakukan hal yang terstruktur dan menghasilkan tingkat keberhasilan yang lebih baik dan terukur.

JST terinspirasi pengolahan informasi oleh sistem saraf secara biologis, seperti proses informasi pada otak manusia. Elemen kunci dari paradigma ini adalah struktur dari sistem pengolahan informasi yang terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan yang saling berhubungan (neuron), bekerja serentak untuk menyelesaikan masalah tertentu. Cara kerja JST sama seperti cara kerja manusia, yaitu belajar melalui contoh [33]. Dapat dilihat arsitektur jaringannya pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Setelah diperoleh data *input* yang tepat, kemudian dilakukan pengubahan data dari nilai aslinya menjadi angka angka yang mempunyai range 0-1 (normalisasi). Hal tersebut untuk memudahkan proses penelitian dimana setiap data set mempunyai satuan bilangan yang berbeda beda. Perhitungan yang digunakan untuk normalisasi data, dapat dilihat pada persamaan (2.7).

$$(X)' = \frac{X-Xmin}{Xmax-Xmin} * (BA - BB) + BB \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

- (X)' = Normalisasi
- X = nilai yang dinormalisasi
- Xmin = nilai terendah
- Xmax = nilai tertinggi
- BA = Batas Atas (1)
- BB = Batas Bawah (0)

Setelah dilakukan proses pengolahan data, selanjutnya dilakukan proses prediksi menggunakan data dan model yang telah dikembangkan pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan proses denormalisasi data (*post-processing*), yaitu pengubahan data yang diperoleh dari hasil proses JST yang mempunyai range 0-1 menjadi data seperti nilai aslinya. Perhitungan yang digunakan untuk denormalisasi data ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$X = X' * (Xmax - Xmin) + Xmin \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan :

- X = Denormalisasi
- X' = *Output Neural Network*
- Xmin = nilai terendah
- Xmax = nilai tertinggi

2.2.3.3 Evaluasi

Perhitungan kesalahan merupakan pengukuran dan melihat ulang bagaimana jaringan dapat belajar dengan baik, sehingga jika dibandingkan dengan pola yang baru akan mudah dikenali. Kesalahan dalam keluaran pada jaringan merupakan selisih antara keluaran sebenarnya dan keluaran yang diinginkan. Selisih yang dihasilkan antara keduanya biasanya ditentukan dengan cara dihitung menggunakan suatu persamaan.

Untuk mengevaluasi pendekatan prediksi, digunakan kesalahan prediksi kuadrat rata-rata (*mean squared error / MSE*) yang disajikan dalam persamaan (2.9).

$$MSE = \sum \frac{(Y' - Y)^2}{n} \dots \dots \dots (2.9)$$

dengan :

Y ' = Nilai prediksi

Y = Nilai sebenarnya / aktual

n = Jumlah data pelatihan

Untuk melihat apakah JST yang sudah melalui proses pelatihan mampu mengenali pola data baru (*unseen data*), maka proses validasi dilakukan. Pada tahap ini, proses yang berjalan hanyalah proses *feedforward* saja. Seperti pada proses pembelajaran, hasil dari proses *feedforward* ini kemudian diukur keakuratannya untuk mengontrol apakah jaringan sudah dapat mengenali pola dengan baik. Pengukuran keakuratan hasil prediksi pada penelitian ini dilihat dari nilai *MSE* yang dihitung dengan menggunakan rumus. Jika hasil validasi menunjukkan nilai *MSE* mendekati 0 (nol), maka model yang dibangun dianggap sudah dapat diimplementasikan ke dalam sistem.

Mean Square Error digunakan untuk menghitung nilai error set pembelajaran dengan hasil ideal yang ditentukan sebelumnya. Metode *mean square error* efektif dalam menghitung nilai error tanpa menghiraukan apakah nilai aktual berada di bawah atau di atas hasil yang ideal [34].

Kombinasi parameter pelatihan terbaik yang dihasilkan cukup bervariasi jika dikaitkan dengan nilai *learning rate* dan jumlah maksimum *epoch* yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *MSE* terkecil. Semuanya harus melalui proses *trial and error* lewat serangkaian percobaan. Untuk pengembangan selanjutnya dapat menggunakan parameter pelatihan yang berbeda, misalnya dengan menggunakan momentum serta jumlah lapisan tersembunyi yang lebih banyak.

Salah satu indikator yang digunakan untuk mengukur kualitas dari JST adalah nilai R atau disebut koefisien korelasi. Hal ini untuk mengetahui seberapa kuat atau tidaknya hubungan linier antara nilai aktual dan prediksi dengan nilai R pada interval -1 korelasi negatif kuat sampai dengan 1 korelasi positif kuat [35]. Jika hasil prediksi sempurna, maka nilai aktual dan prediksi akan memiliki nilai yang sama persis (R=1). Rumus R atau koefisien korelasi dideskripsikan pada persamaan (2.10).

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{(n \sum_{i=1}^n y_i^2) - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad ..(2.10)$$

dengan :

R = nilai koefisien korelasi antara target dan hasil prediksi JST

n = banyaknya data

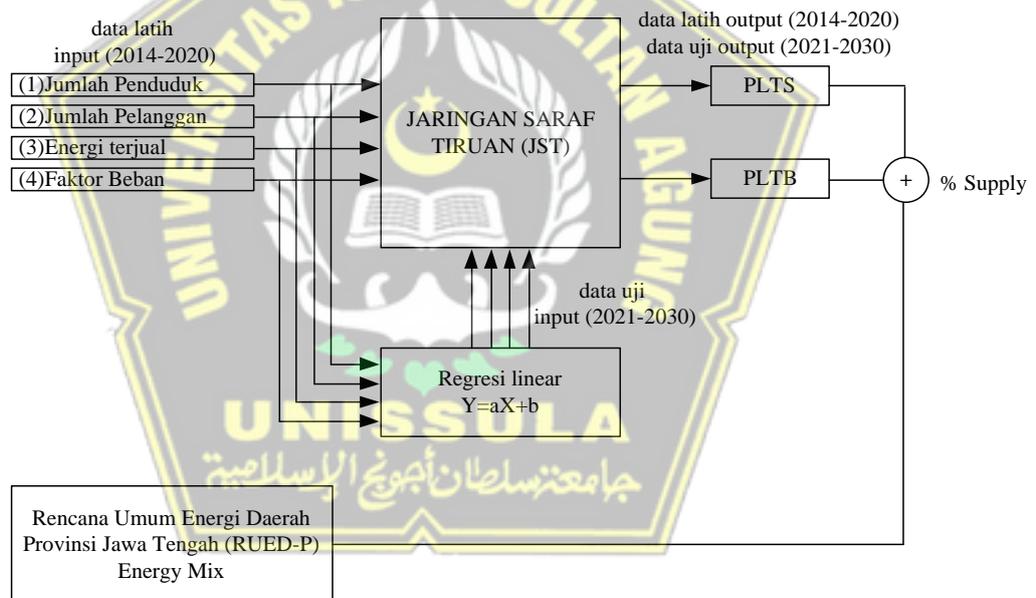
x = nilai target data asli/aktual ke-n

y = nilai hasil prediksi JST asli/aktual ke-n

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Metode penelitian merupakan prosedur atau cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan tertentu [36]. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif untuk menggambarkan suatu kondisi tertentu. Pendekatan menggunakan pendekatan kuantitatif dipilih karena data yang digunakan berupa parameter angka, serta penampilan dari hasil pendekatan tersebut. Gambaran tersebut dideskripsikan secara deduktif dari beberapa variabel dan teori-teori umum dan hasilnya akan diarahkan untuk membuat sebuah model penelitian. Model penelitian yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Model Penelitian

Data dari jumlah penduduk, jumlah pelanggan, energi terjual dan faktor beban listrik Jawa Tengah pada Gambar 3.1 dapat diterangkan bahwa data tersebut dilakukan proses pemodelan JST dengan PLTS sebagai target *output*. Hal yang sama dilakukan pada pendekatan JST yang diterapkan pada PLTB. Model tersebut dilakukan pelatihan hingga menghasilkan formulasi jaringan yang tepat. Indikator model pada JST yang baik akan

memiliki koefisien determinasi atau R square bernilai antar 0 - 1 dengan ketentuan semakin mendekati angka satu berarti semakin baik [37]. Proses tersebut dilakukan berkali kali hingga menemukan formulasi Regresi sama dengan 1 ($R=1$) atau mendekati angka 1. Seperti dijelaskan sebelumnya jika R mendekati 1 maka proses pelatihan pada model tersebut layak dilanjutkan karena model tersebut sudah bekerja dengan baik melalui latihan seperti jaringan syaraf manusia.

Setelah model JST terbangun, pemodelan tersebut di dilakukan proses data dari jumlah penduduk, jumlah pelanggan, energi terjual dan faktor beban listrik Jawa Tengah pada 10 tahun kedepan. Data tersebut didapatkan dari pemrosesan data linear regresi sebagai *input* data sehingga didapatkan *output* sebagai target PLTS atau PLTB pada 10 tahun kedepan.

Hasil perolehan tersebut telah melalui proses normalisasi dan denormalisasi, jadi didapatkan nilai potensi PLTS dan PLTB pada masa yang diharapkan.

Perhitungan potensi didapatkan dengan mengambil potensi konsumsi energi pada tahun yang sama dengan indikator nilai prosentase yang dihasilkan.

3.2 Alat Pendukung dan Bahan

Alat pendukung yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer dan software dengan spesifikasi :

1. Perangkat Komputer

- Nama Komputer : TOSHIBA Satellite L 40-A
- Processor : Intel (R) Core TM i5
- RAM : 4 GB
- System Type : 64 bit

2. Software Neural Network

- Edisi Software : MATLAB R2018b
- System Type : 64 bit (windows 64 bit)
- Publisher : MathWorks, Inc.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan hal yang sangat penting dalam sebuah penelitian, sehingga data data yang didapatkan benar-benar sesuai dengan arah dan tujuan penelitian. Pengumpulan data secara sederhana dapat dilakukan dengan metode bagaimana mengumpulkan data dilapangan dan bagaimana menggunakan teknik tersebut dalam sebuah model penelitian, sehingga tingkat validitas hasil yang akan dicapai dari sebuah penelitian mencapai akurasi yang baik. Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Mengunduh data publikasi

Publikasi data yang akan menjadi parameter penelitian diambil dari beberapa tautan dari badan pusat statistik (BPS) Jawa Tengah[38] dan badan pusat statistik (BPS) Pusat Pemerintah Republik Indonesia[39].

Teknik ini dilakukan karena data pada publikasi tidak semua dapat di ambil dan dimasukkan dalam parameter. Data pada publikasi terbatas, sehingga diperlukan observasi dan wawancara pada pengampu kebijakan pada instansi terkait.

Dari data survey BPS Jawa Tengah tersebut dilakukan validasi dan koordinasi dengan beberapa instansi pemerintahan, karena ada beberapa data publikasi dari BPS membutuhkan komparasi dengan data item lainnya yang juga dipublikasi pada *platform* publikasi BPS Jawa Tengah.

2. Koordinasi data instansi terkait.

Instansi lain yang dapat digunakan sebagai parameter pengumpulan data adalah Dinas ESDM provinsi dan beberapa publikasi pemerintahan lainnya.

Data penelitian yang diperoleh merupakan data primer dan sekunder dari kantor Dinas Energi Sumber daya mineral Jawa Tengah, BPS Provinsi Jawa Tengah. Adapun data yang diperlukan adalah data Penduduk Jawa Tengah, jumlah Pelanggan Listrik di Jawa Tengah, data Energi terjual, data

konsumsi listrik Jawa Tengah, data perkembangan instalasi pembangkit Tenaga Surya dan data perkembangan pembangkit listrik Tenaga Angin.

3.4 Input Data Parameter

Pada penelitian ini menggunakan data parameter perkembangan penduduk dan energi di Jawa Tengah serta capaian instalasi PLTS dan PLTB di Jawa Tengah. Data tersebut berupa numerik dan yang sudah disortir dan dipilih untuk kebutuhan dalam sistem model penelitian.

Penyajian data pada penelitian ini menggunakan software microsoft excel. Excel menggunakan kumpulan besar sel yang diformat untuk mengatur dan memanipulasi data serta menyelesaikan fungsi matematika yang dapat terhubung dengan software Matlab. Proses import dan export file excel dapat dengan mudah dilakukan pada software Matlab pada waktu membaca dan menyajikan file data numerik tersebut.

Pada pengolahan data yang dilakukan oleh software Matlab adalah adanya proses data normalisasi dan denormalisasi data, proses tersebut dilakukan oleh software Matlab dengan perintah atau coding tertentu.

1. *Input* data parameter perkembangan penduduk dan energi di Jawa Tengah.

Data parameter diambil dari beberapa data yang terkait dengan perkembangan konsumsi dan pasokan listrik di Jawa Tengah. Data tersebut meliputi 4 (empat) parameter sebagai *input* pelatihan JST, yaitu meliputi jumlah penduduk menurut jenis kelamin (jiwa) di Jawa Tengah, banyaknya pelanggan PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah, energi terjual PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah menurut Unit PLN dan Kelompok Pelanggan di Jawa Tengah dalam satuan Kilo Watt Jam (kWh) dan Faktor beban (load factor) menurut Unit PLN Pelanggan di Jawa Tengah dalam satuan persen (%). Data data tersebut diambil dari sumber publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Tengah, BPS pusat dan Buku Statistik PLN. Data parameter perkembangan penduduk dan energi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Input Data Parameter perkembangan penduduk dan energi di Jawa Tengah [38] [39] [40].

Tahun	Penduduk	Jumlah Pelanggan	Energi Terjual (MWh)	Faktor Beban (%)
2014	33.522.663	8.456.230	19631475,000	78,26
2015	33.774.141	8.866.323	20407997,000	80,02
2016	34.019.095	9.191.764	21674848,090	62,62
2017	34.257.865	9.603.887	22402452,910	74,93
2018	34.490.835	10.011.388	23558014,300	78,64
2019	34.718.204	10.393.738	27786773,981	76,41
2020	36.516.035	10.727.635	25279077,626	78,32

2. Data Perkembangan Pembangunan PLTS dan PLTB

Perkembangan pembangunan PLTS dan PLTB masih bersifat parsial, data ini diambil dari perkembangan pembangunan dari proyek pemerintah dan data yang diketahui oleh Dinas ESDM provinsi Jawa Tengah.

Data data yang akan dilakukan pemodelan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Perkembangan PLTS dan PLTB di Jawa Tengah [41].

Tahun	PLTS (KW)	PLTB (KW)
2014	126.35	1
2015	137.18	2.6
2016	260.08	26.5
2017	293.6	30
2018	613.14	40
2019	1027.48	100
2020	1227	100

3.5 Desain Data Aplikasi MATLAB

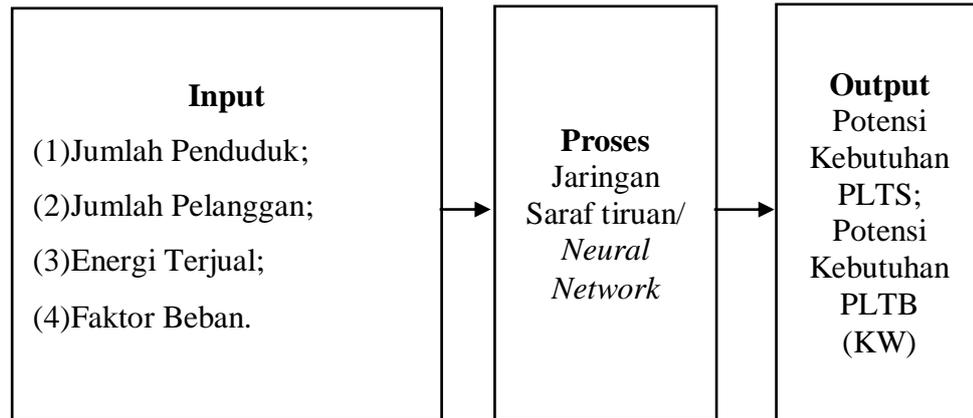
Penyajian data merupakan suatu teknik proses pengorganisasian data sehingga mudah dibaca dan dianalisa.

Penyajian data dimaksudkan agar lebih mempermudah memasukkan data pada model penelitian. Proses ini merupakan pengorganisasian data kedalam suatu bentuk tertentu sehingga terlihat jelas dan lebih utuh. Data-data tersebut kemudian dipilih dan disisikan untuk disortir menurut kelompok dan disusun sesuai dengan kategori yang sejenis untuk ditampilkan agar selaras dengan kebutuhan dalam sistem model penelitian.

Salah satu penggunaan prediksi dalam konsep JST adalah software Matlab. Software ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan matematika dan dilengkapi dengan library yang sangat bermanfaat untuk membantu di dalam menyelesaikan berbagai masalah aritmatika. Beberapa permasalahan yang biasanya diselesaikan dengan menggunakan Matlab antara lain permodelan aritmatika, simulasi fungsi, serta perancangan GUI (*Graphical user interface*). Salah satu hal yang menjadi kelebihan dari Matlab adalah kemampuannya di dalam membuat grafik dengan visualisasi yang terbaik.

Karena kemampuan komputasi matematisnya yang tinggi, Matlab banyak digunakan di bidang pendidikan dan riset penelitian di dunia. Matlab digunakan mulai dari mengajarkan siswa tentang matriks, grafik fungsi matematik, sistem kontrol, pengolahan citra, pengolahan sinyal, sampai dengan memprediksi (*forecasting*)[42].

Perancangan desain aplikasi pada Matlab diperlukan diagram blok untuk menjelaskan proses kerja sistem. Komponen diagram blok terdiri atas data parameter *input* pada proses pelatihan JST, target sistem, serta relationship atau relasi proses. Diagram blok ini memudahkan dalam memahami, membantu penelitian untuk mengenali titik masalah atau fokus perhatian secara cepat agar pemahaman dalam alur rancangan menjadi jelas. Diagram blok JST penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Blok Prediksi menggunakan JST

Gambar 3.2. merupakan diagram blok prediksi menggunakan JST prediksi 6 (enam) *input* data di Jawa Tengah. Data parameter sudah di normalisasi untuk dapat dibaca program yang akan dibuat.

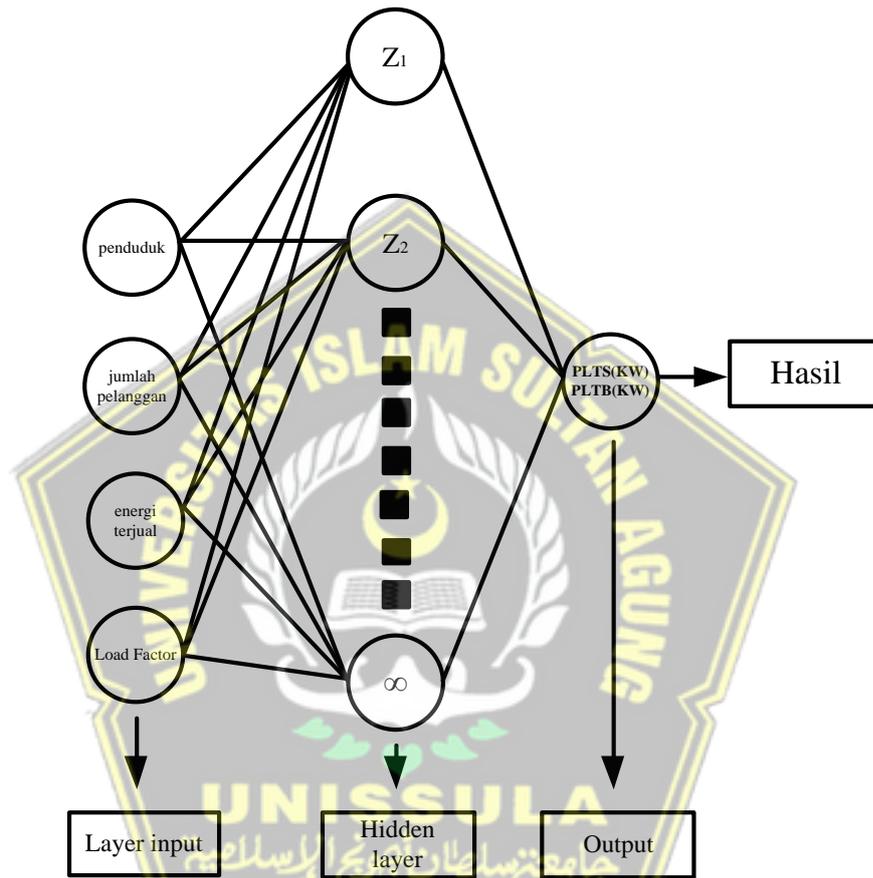
Proses selanjutnya adalah melatih jaringan syaraf tiruan untuk mendapatkan bobot akhir. Proses pelatihan menggunakan *neural network backpropagation*. Bobot pada jaringan syaraf tiruan direpresentasikan kedalam matriks oleh sistem. Jaringan syaraf tiruan yang telah dilatih akan diuji dengan menggunakan data uji yang diambil dari data *input* dan *output*. Hasil dari pengujian adalah persentase prediksi, dan selanjutnya akan dilakukan analisis parameter jaringan terhadap akurasi hasil dari prediksi.

Aliran data yang terjadi pada data latih, data uji, jumlah *neuron input* dan *hidden* pada *jst*, *epoch*, *learning rate*, *momentum*, dan *max mse* akan dimasukan oleh pengguna ke dalam sistem Matlab. Setelah data diproses dengan melakukan pelatihan dan pengujian pada sistem maka keluaran dari sistem adalah berupa hasil prediksi dan *mse* akhir.

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan untuk sistem prediksi ini memiliki 6 (enam) *input* dan satu *neuron output*. Jumlah neuron pada *hidden layer* tidak ditentukan karena merupakan salah satu variabel yang akan diteliti pengaruhnya terhadap hasil keluaran dari jaringan dengan melakukan trial and error.

Input layer 6 (enam) neuron dan Jumlah *hidden layer* yang dipakai pada penelitian ini adalah tiga *hidden layer* dengan jumlah neuron pada

hidden layer berupa variabel antara 1 sampai 15 untuk menguji pengaruhnya terhadap keakuratan hasil prediksi. *Output layer* terdiri dari satu neuron yaitu potensi pembangunan PLTS dan dengan jaringan yang sama untuk mengetahui potensi PLTB. Susunan *layer* tersebut dapat dilihat pada Arsitektur JST yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Arsitektur JST prediksi kebutuhan PLTS dan PLTB

Gambar 3.3 merupakan arsitektur prediksi PLTS dan PLTB dengan *input layer* jumlah penduduk, jumlah pelanggan, energi terjual dan faktor beban sebagai masukan neuron (*input 7* tahun data sebelumnya). Neuron-neuron pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan lainnya. Informasi yang didapatkan pada sebuah neuron akan disampaikan ke semua lapisan-lapisan pada lapisan tersembunyi (disimbolkan huruf Z) dan diteruskan pada lapisan *output* sebagai hasil.

3.6 Alur Penelitian (*Flowchart*)



Gambar 3.4. Flowchart Penelitian

3.7 Penjelasan Alur Penelitian

1. Tahap penentuan model penelitian

Dalam penelitian ini akan digunakan model sesuai dengan Gambar 3.1, dengan harapan dapat menghasilkan hasil yang terbaik dalam penelitian. Model penelitian didapatkan setelah melakukan studi literatur, data dari beberapa penelitian yang sudah dan digambarkan dalam sebuah sistem. Model penelitian yang tepat dalam pemrosesan data, selanjutnya diolah dengan perhitungan matematis didalam aplikasi software Matlab.

2. Tahap penentuan data

Pengumpulan data merupakan sarana pokok untuk menemukan penyelesaian suatu masalah secara ilmiah. Dalam pengumpulan data, peranan instansi yang terkait sangat diperlukan sebagai pendukung dalam memperoleh data-data yang diperlukan. Pada tahap ini dilakukan koordinasi terhadap pelaku kebijakan dan pihak terkait seperti BPS (Badan Pusat Statistik), PT. PLN (Persero) dan ESDM Provinsi Jawa Tengah untuk mendapatkan data yang dapat dipertanggungjawabkan. Pengumpulan data pada penelitian ini mempergunakan metode pengunduhan data publikasi serta melakukan observasi dan validasi terhadap data tersebut.

3. Tahap pengolahan data menggunakan JST.

Pengolahan data penduduk, pelanggan dan daya terpasang menggunakan JST dengan PLTS dan PLTB sebagai target data. Setelah model JST ditentukan, sesuai dengan harapan model jaringan terbaik yang sempurna dalam pembelajaran jaringan tersebut, maka masukan *input* pada tahun selanjutnya menggunakan model regresi linear. Metode regresi linear merupakan sebuah metode statistik yang melakukan prediksi menggunakan pengembangan hubungan matematis antara variabel. Analisis regresi linier digunakan untuk prediksi, dimana dalam model terdapat variabel bebas X dan variabel bebas Y untuk menentukan persamaan yang merupakan persamaan penduga penaksiran /meramalkan variabel tak bebas.

4. Tahap prediksi menggunakan JST

Analisa dan Pengolahan data dilakukan berdasarkan data-data yang dibutuhkan, selanjutnya dikelompokkan sesuai identifikasi tujuan permasalahan. Prediksi kebutuhan PLTS dan PLTB di Jawa Tengah berbasis Jaringan Syaraf Tiruan (JST), pada tahap ini berisi pengolahan data dan analisa yang didapatkan dari hasil pengumpulan data dan penentuan metode serta model yang dipilih.

Perancangan algoritma jaringan syaraf tiruan *backpropagation* terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

- a. Perancangan arsitektur jaringan untuk menentukan *node input* (simpul masukan), jumlah lapisan *layer* tersembunyi dengan jumlah nodenya (simpul hidden), dan jumlah *node output* (simpul keluaran).
 - b. Menyusun data set yang akan digunakan untuk pelatihan dan pengujian.
 - c. Inisialisasi data meliputi, inisialisasi variabel *learning rate*, *maximum epoch* dan batas nilai toleransi pelatihan.
5. Tahap analisa hasil dan evaluasi potensi.

Evaluasi kesesuaian hasil menjadi kunci dalam penulisan hasil penelitian. Jika tidak sesuai, maka perlu pengumpulan data pendukung dan mulai pemrosesan ulang. Jika sesuai, dilanjutkan dalam penulisan hasil penelitian / selesai.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

4.1 Hasil Penelitian

Jaringan syaraf tiruan dengan merujuk pada model penelitian sesuai dengan Gambar 3.1, dilakukan pemrosesan data dengan mengidentifikasi sebagai *data training* dan data testing. *Data training* merupakan data yang digunakan untuk melatih jaringan, sedangkan data testing yang digunakan untuk prediksi dan untuk menguji kerja dari jaringan. Keseluruhan data yang digunakan untuk penelitian ini berjumlah 4 data parameter indikator di Jawa Tengah. *Data training* dalam penelitian ini diambil dari data perkembangan indikator energi dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2020 sejumlah 28 data. Data data parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data set Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan target.

Tahun	Input (x)				Target/ Output (y)	Target/ Output (y)
	Penduduk	Pelanggan	Energi terjual (MWh)	Faktor beban (%)	PLTS (KW)	PLTB (KW)
2014	33.522.663	8.456.230	19631475,000	78,26	126,35	1
2015	33.774.141	8.866.323	20407997,000	80,02	137,18	2,6
2016	34.019.095	9.191.764	21674848,090	62,62	260,08	26,5
2017	34.257.865	9.603.887	22402452,910	74,93	293,6	30
2018	34.490.835	10.011.388	23558014,300	78,64	613,14	40
2019	34.718.204	10.393.738	27786773,981	76,41	1027,48	100
2020	36.516.035	10.727.635	25279077,626	78,32	1227	100
--Data prediksi/output--						

Pelatihan data dilakukan beberapa kali *trial and error* untuk mendapatkan jaringan terbaik dengan menentukan jumlah neuron. Setelah

dilakukan pelatihan dan pengujian beberapa kali didapatkan pengaturan terbaik dengan 3 lapis *hidden layer* dan jumlah neuron 15-10-1. Pada pengaturan tersebut menunjukkan nilai Regresi atau $R=1$ yang berarti antara variabel-variabel aktual dengan JST pada pengujian mempunyai relasi yang baik bahkan sempurna untuk dapat dilakukan pemodelan dengan jaringan tersebut.

4.1.1 Pemodelan Regresi Linear pada data Input / masukan tahun kedepan

Metode regresi linier merupakan sebuah metode statistik yang melakukan prediksi menggunakan pengembangan hubungan matematis antara variabel. Secara sederhana metode ini digunakan untuk menentukan fungsi linier (garis lurus) yang paling sesuai dengan kumpulan titik data yang diketahui sebelumnya.

Regresi linear menjadi salah satu metode yang dipergunakan dalam melakukan prediksi pada penelitian ini. Setelah model JST didapatkan dari pelatihan dengan jaringan terbaik dengan faktor kesalahan yang kecil, maka untuk meramalkan 10 tahun kedepan data *input* yang akan diujikan pada tahun yang sama digunakan metode Regresi Linear.

Dari data Tabel 3.1 maka dilakukan perhitungan menggunakan regresi linear sederhana menggunakan fungsi software matlab, sehingga didapatkan hasil data konstanta (a) dan koefisien regresi (b) pada masing masing data *input* yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Variabel kontanta dan koefisien regresi linear pada data uji input tahun kedepan

Variabel regresi linear	Penduduk	Jumlah Pelanggan	Energi Terjual	Faktor Beban
konstanta (a)	4050000000	3817400000	11994000000	0.3207
koefisien r(b)	-782410000	-760360000	-2396300000	-571.2807

Hasil data regresi linear 10 tahun kedepan pada parameter jumlah penduduk, jumlah pelanggan listrik energi terjual dan faktor beban listrik di Jawa Tengah ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.3. Data prediksi regresi linear 10 tahun kedepan

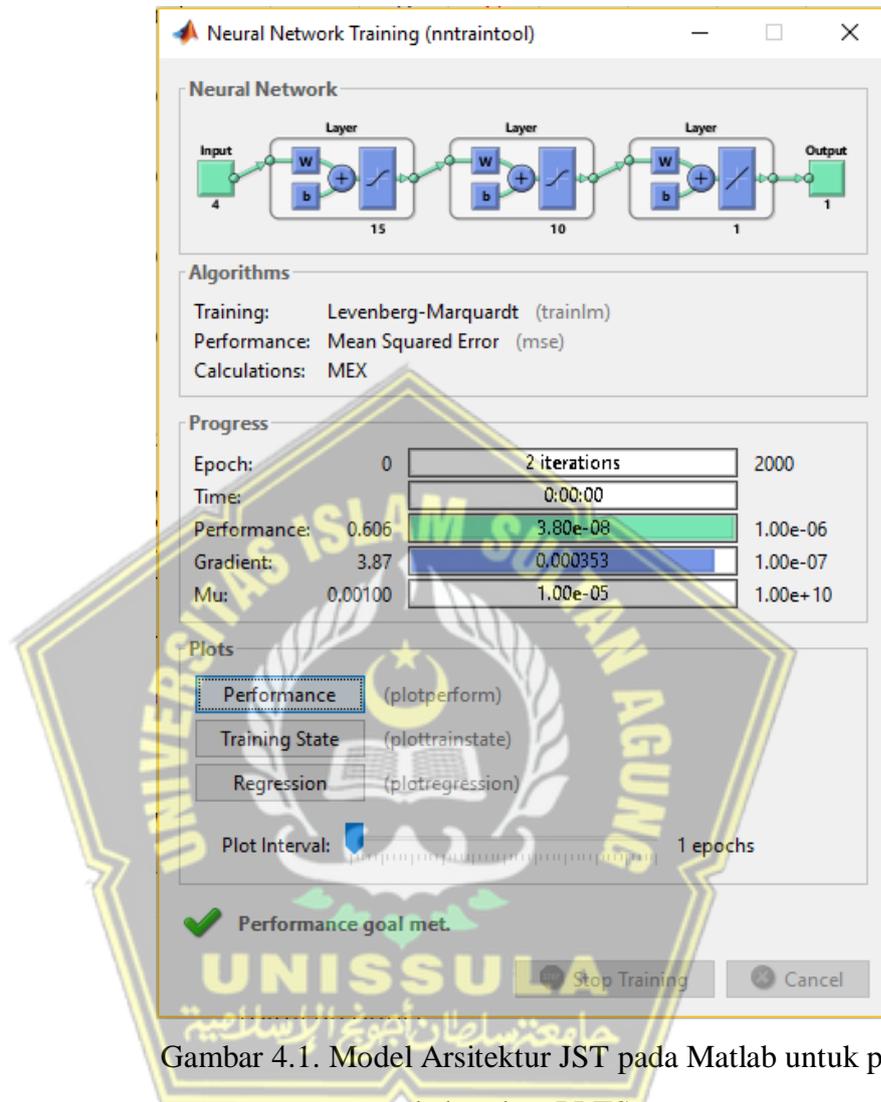
Tahun	Penduduk	Pelanggan	Energi terjual (MWh)	Faktor Beban (%)
--Data parameter/input--				
2021	36.091.260	11.134.233,43	27760595,28	76,88285714
2022	36.496.259,36	11.515.971,61	28960007	77,20357143
2023	36.901.258,71	11.897.709,79	30159418,71	77,52428571
2024	37.306.258,07	12.279.447,96	31358830,43	77,845
2025	37.711.257,43	12.661.186,14	32558242,14	78,16571429
2026	38.116.256,79	13.042.924,32	33757653,86	78,48642857
2027	38.521.256,14	13.424.662,5	34957065,58	78,80714286
2028	38.926.255,5	13.806.400,68	36156477,29	79,12785714
2029	39.331.254,86	14.188.138,86	37355889,01	79,44857143
2030	39.736.254,21	14.569.877,04	38555300,72	79,76928571

4.1.2 Model Jaringan Syaraf Tiruan PLTS

Sesuai dengan garis besar pada tujuan penelitian, prediksi kebutuhan PLTS dilakukan dengan mengimplementasikan *neural network* dengan metode *backpropagation*. *Backpropagation* merupakan salah satu metode pembelajaran dalam jaringan syaraf tiruan yang dibangun dengan banyak lapisan. Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan PLTS mempergunakan susunan neuron dengan *input* 4 (empat) parameter dan 1 (satu) *output* hasil PLTS.

Pemodelan dilakukan dengan trial and error dan melihat *MSE* pelatihan terbaik. Pelatihan yang paling optimal berdasarkan *MSE* terkecil adalah algoritma *Levenberg–Marquardt (LM)* pada susunan neuron *hidden layer* 15-10-1, dengan metode pelatihan

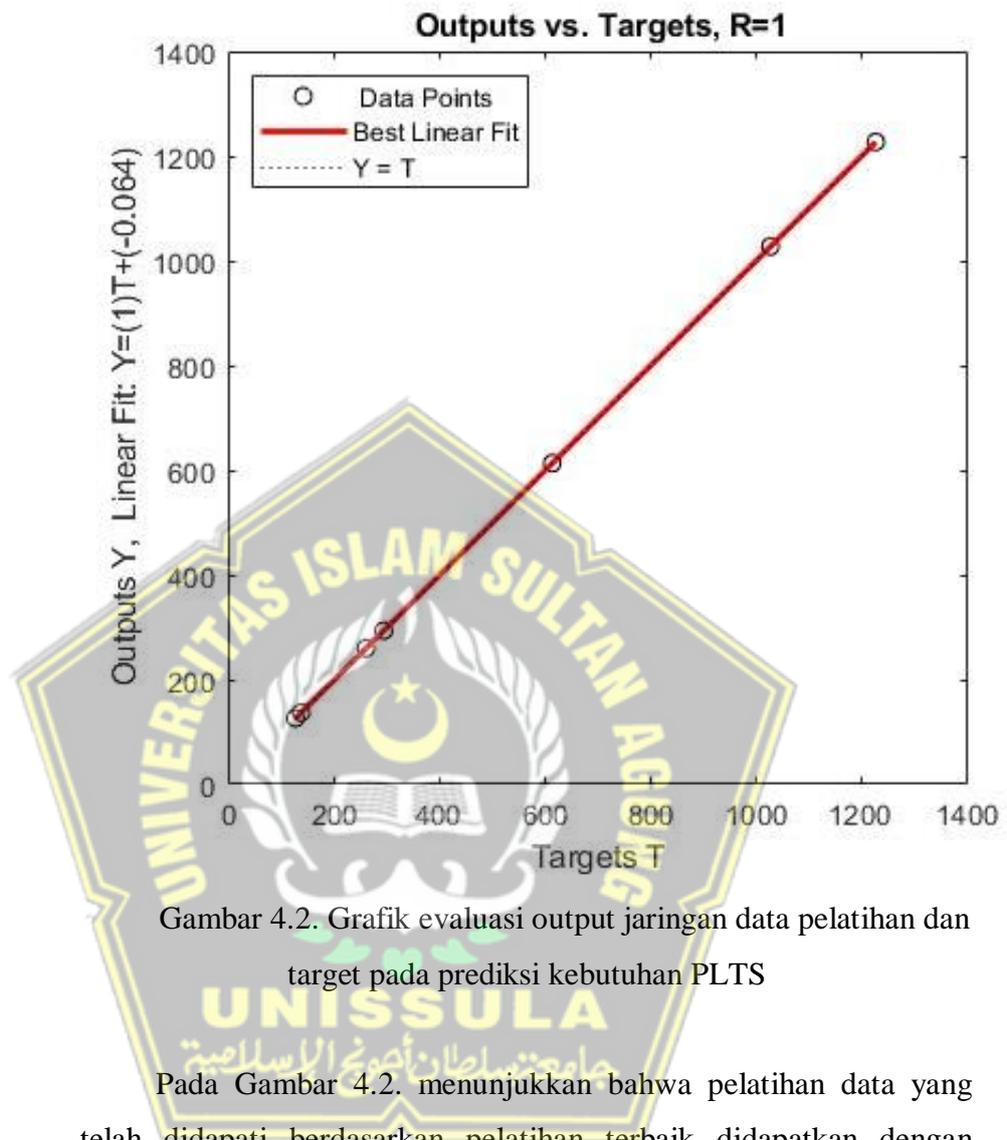
menggunakan algoritma Levenberg–Marquardt (`trainlm`). Pemodelan pada pelatihan jaringan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Model Arsitektur JST pada Matlab untuk prediksi kebutuhan PLTS.

Pada Gambar 4.1. menunjukkan bahwa pelatihan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* berhenti pada saat *performance* mencapai *best validation performance* bernilai $3.8e-08$ pada *epoch* ke-2 dari 2000. Pada jendela plots terdapat *performance*, *training state* dan *regression*, ketiga plots ini akan menunjukkan hasil pelatihan menggunakan grafik. Pemodelan JST yang sudah dilakukan pada PLTS tersebut memiliki koefisien korelasi (R)

antara *output* dan target =1, nilai tersebut dapat dilihat pada plot Regresi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



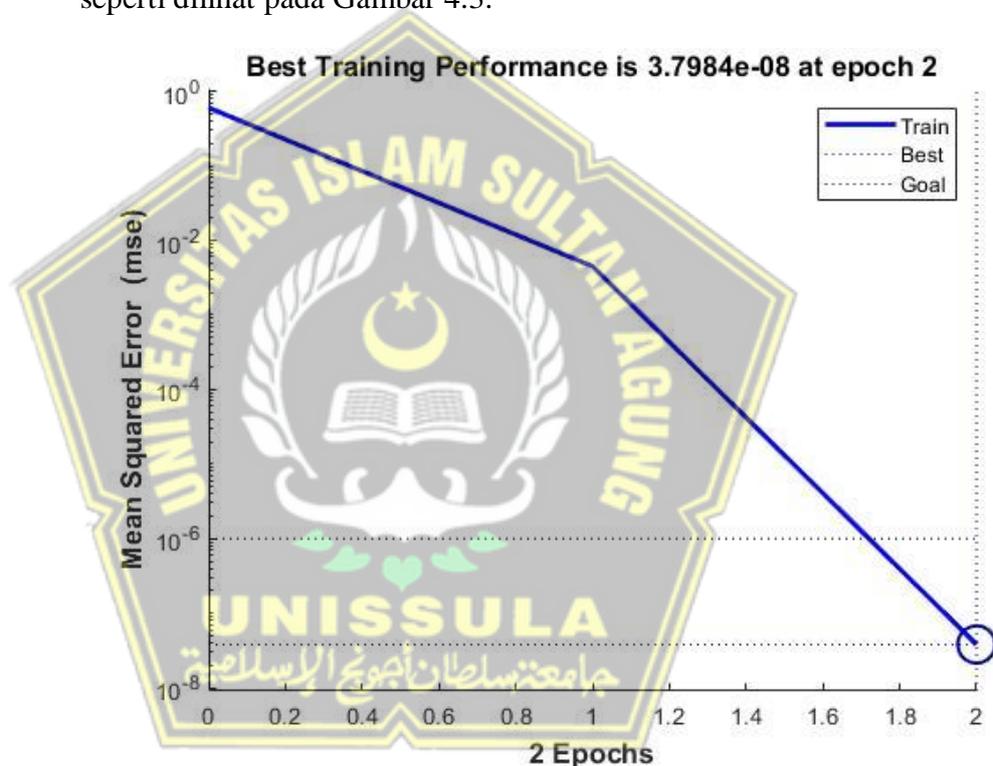
Gambar 4.2. Grafik evaluasi output jaringan data pelatihan dan target pada prediksi kebutuhan PLTS

Pada Gambar 4.2. menunjukkan bahwa pelatihan data yang telah didapati berdasarkan pelatihan terbaik didapatkan dengan indikator $R=1$ dengan menggunakan pengaturan parameter secara lengkap pada Matlab sebagai berikut:

- Jumlah Neuron dan *Hidden Layer* 3 lapis adalah 15-10-1
- *Learning rate* (lr) bertujuan untuk mempercepat laju iterasinya. Hasil pembahasan untuk lr ini dimana jika nilai lr terlalu besar maka algoritma menjadi kurang stabil dan mencapai titik minimum local. Jadi errornya adalah nol (0). Dalam penelitian ini menggunakan lr 0,01.

- *Epoch* (iterasi) bertujuan untuk menunjukkan jumlah iterasi maksimum pada pelatihan. Pada penelitian ini menggunakan nilai *epoch* 2000 agar mendapatkan hasil yang baik.
- Goal. Pengaturan parameter goal digunakan untuk menentukan batas nilai *MSE* agar iterasi berhenti. Dalam penelitian ini menggunakan goal sebesar $goal=1e-06$. Jika goal tercapai maka pada grafik performance *MSE* harus kurang atau sama dengan 0,000001.

Penggunaan model ini mendapatkan nilai *MSE* 3,7984e-08, seperti dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik *MSE* Output Vs Target prediksi kebutuhan PLTS

Pada Gambar 4.3. menunjukkan bahwa indikator kesalahan sangat kecil, setelah diberikan tahapan pengujian terhadap sejumlah data dengan jaringan neuron yang optimal. Hal ini membuktikan jaringan mampu menghasilkan prediksi yang mendekati target yang diinginkan. sehingga penggunaan model dapat dilakukan. Prediksi dilakukan untuk periode 10 (Sepuluh) tahun mendatang dengan

menggunakan data hasil regresi linear beberapa parameter *input* dari model JST sebelumnya. Hasil prediksi kebutuhan PLTS dapat dilihat di Tabel 4.3.

Tabel 4.4. Hasil prediksi kebutuhan PLTS 2021-2030

Tahun	PLTS (KW)
2021	1011,718734
2022	1091,06941
2023	1132,828491
2024	1149,49423
2025	1154,388427
2026	1154,365493
2027	1152,509633
2028	1150,198758
2029	1148,07297
2030	1146,450465

4.1.3 Model Jaringan Syaraf Tiruan PLTB

Pemodelan JST yang sudah dilakukan pada PLTS sebagai target, akan dilakukan hal serupa dengan PLTB sebagai target.

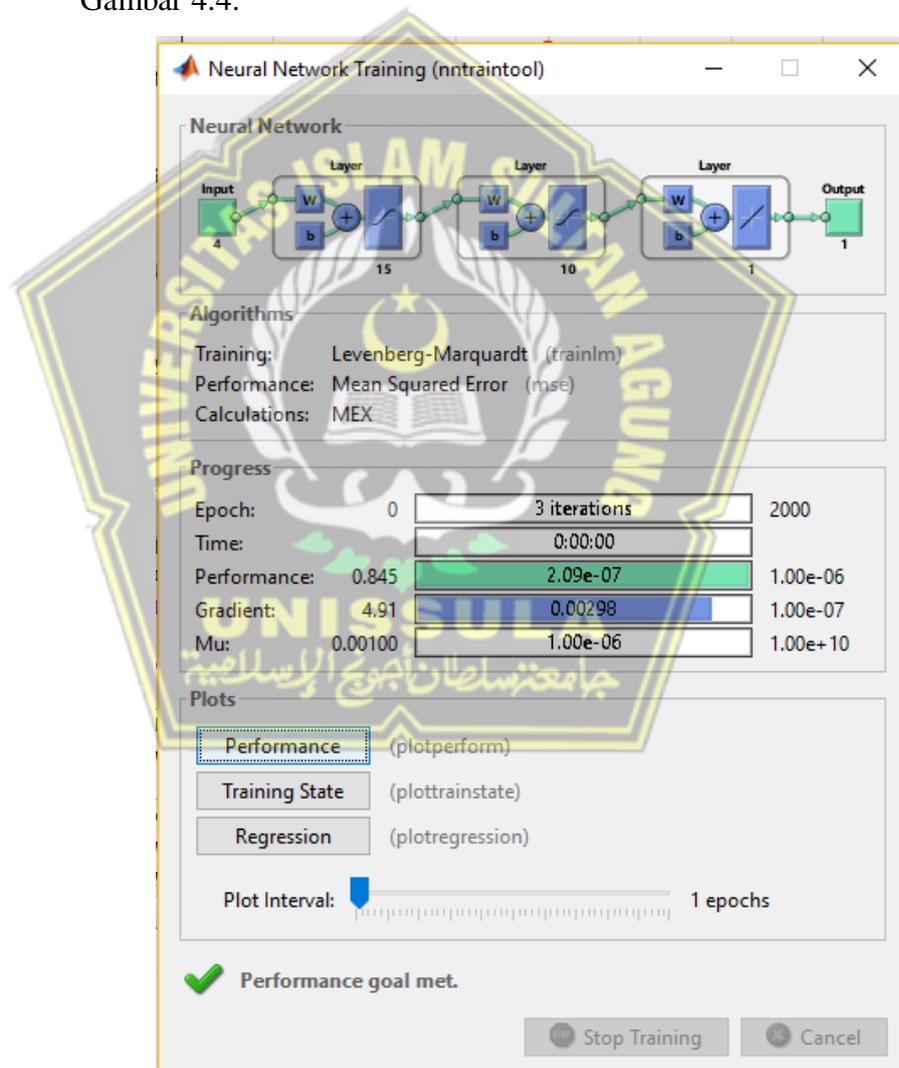
Dengan pengaturan parameter JST pada Matlab adalah sebagai berikut:

- Jumlah Neuron dan *Hidden Layer* 3 lapis adalah 15-10-1
- *Learning rate* (lr) bertujuan untuk mempercepat laju iterasinya. Hasil pembahasan untuk lr ini dimana jika nilai lr terlalu besar maka algoritma menjadi kurang stabil dan mencapai titik minimum local. Jadi errornya adalah nol (0). Dalam penelitian ini menggunakan lr 0,01.
- *Epoch* (iterasi) bertujuan untuk menunjukkan jumlah iterasi maksimum pada pelatihan. Tidak ada ketentuan berapa nilai iterasi yang harus digunakan. Namun jika terlalu banyak nilai iterasi yang digunakan akan memerlukan waktu yang lama,

sebaliknya jika iterasi terlalu sedikit hasil pelatihan akan kurang baik. Dalam penelitian ini menggunakan 2000 tercapai dan mendapatkan hasil yang baik.

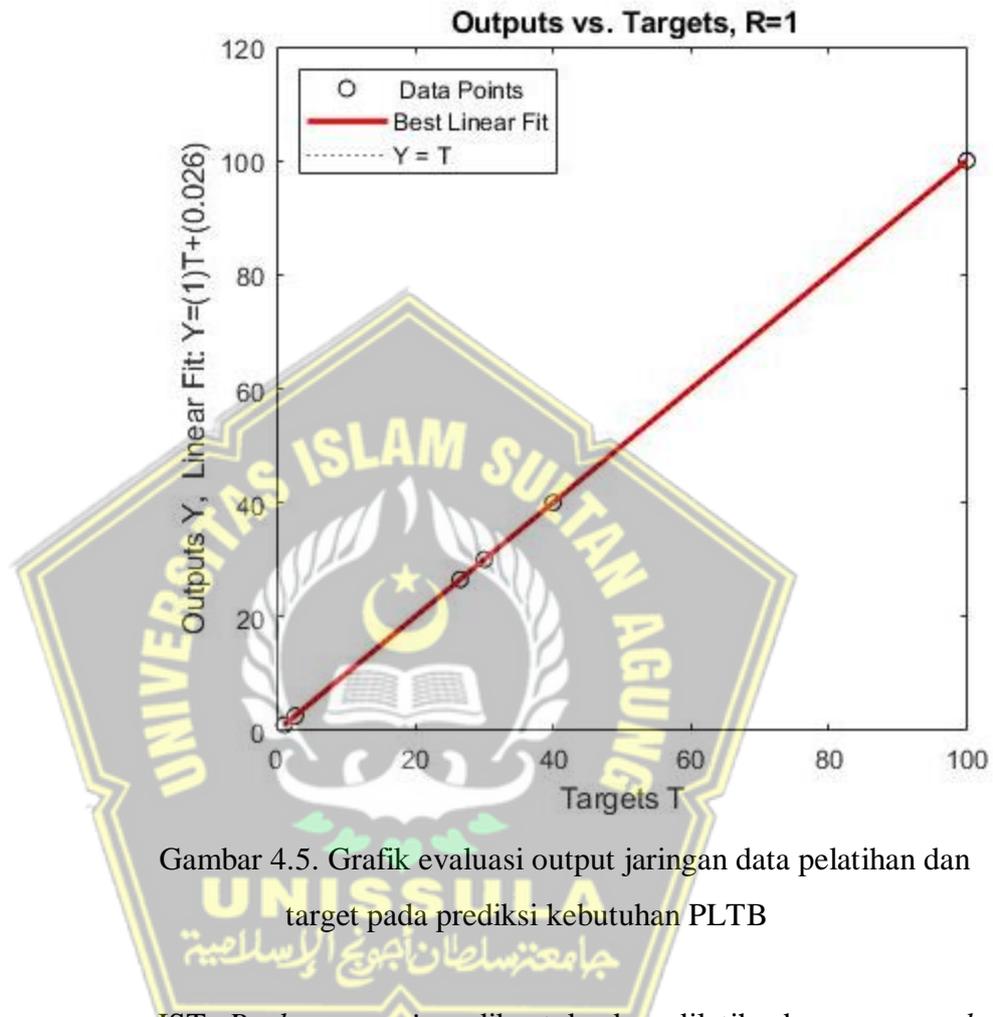
- Goal untuk menentukan batas nilai MSE agar iterasi berhenti. Dalam penelitian ini menggunakan goal sebesar goal=1e-6. Jika goal tercapai maka pada grafik performance MSE harus kurang atau sama dengan 0,000001

Pemodelan pada pelatihan jaringan PLTB dapat dilihat pada Gambar 4.4.



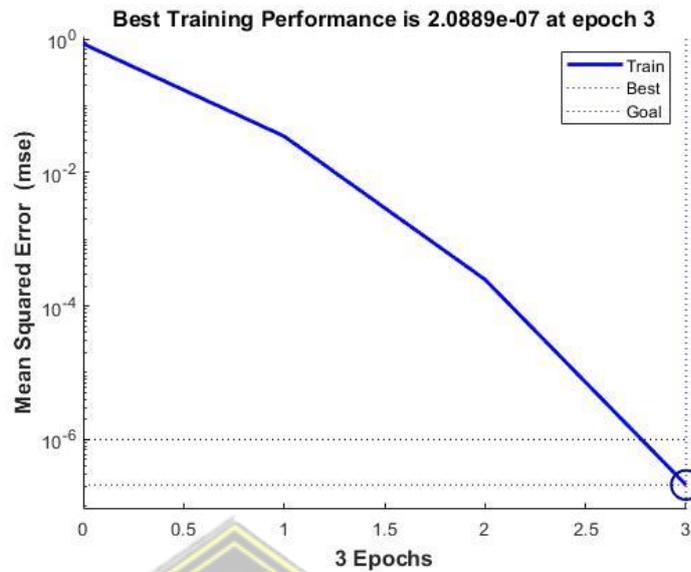
Gambar 4.4. Model Arsitektur JST Pada Matlab untuk prediksi PLTB

Pemodelan JST yang sudah dilakukan pada PLTB seperti terlihat pada Gambar 4.4 memiliki nilai Regresi atau $R=1$, nilai tersebut dapat dilihat pada plot Regresi, seperti terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik evaluasi output jaringan data pelatihan dan target pada prediksi kebutuhan PLTB

JST *Backpropagation* dibentuk dan dilatih dengan *neural network toolbox* pada Matlab. Selama proses pelatihan bobot dan bias akan terus diperbaiki hingga nilai error cukup kecil. Pelatihan akan berhenti ketika parameter pelatihan sudah ada yang terpenuhi (*epoch* atau *goal*). Pada Gambar 4.4. dapat dilihat pelatihan membutuhkan 3 iterasi untuk mendapatkan pola yang diinginkan Pada pelatihan tersebut. Pada penggunaan model jaringan PLTB ini mendapatkan nilai MSE $2,0889e-07$, dapat dilihat pada tombol “*performance*” Gambar 4.4. dan hasil grafik atau plot dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik *MSE* Output Vs Target prediksi kebutuhan PLTB

Setelah diberikan tahapan pengujian terhadap sejumlah data pada model jaringan yang sudah dilatih, JST akan menghasilkan data output prediksi. Prediksi dilakukan untuk memperoleh data output periode 10 (sepuluh) tahun mendatang dengan menggunakan data *input* hasil regresi linear pada periode yang sama. Hasil prediksi kebutuhan PLTB ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil prediksi kebutuhan PLTB 2021-2030.

Tahun	PLTB (KW)
2021	75,06084225
2022	86,01575202
2023	94,13155526
2024	100,311756
2025	105,0497842
2026	108,5667701
2027	111,0183427
2028	112,6185103
2029	113,62607
2030	114,2787751

4.2 Analisa

4.2.1 Analisa Prediksi Kebutuhan PLTS

Analisa prediksi kebutuhan daya PLTS pada tahun 2030 adalah 1146,450465 KW.

Jika dihitung dari jumlah daya yang digunakan pada waktu yang sama (2030), maka dapat dihitung potensi prosentase dari PLTS terhadap beban listrik terjual sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Potensi PLTS} &= \frac{\Sigma \text{ kW produksi PLTS} \times 8.760 \text{ jam}}{\Sigma \text{ kWh beban terjual per tahun}} \times 100\% \\ &= (1146,450465 \times 8760) / \\ &\quad (38555300,72 \times 10^3) \times 100\% \\ &= 0,00026048 \times 100 \% \\ &= 0,026048 \%\end{aligned}$$

4.2.2 Analisa Prediksi Kebutuhan PLTB

Analisa prediksi kebutuhan daya PLTB pada tahun 2030 adalah 114,2787751 KW.

Jika dihitung dari jumlah daya yang digunakan pada waktu yang sama (2030), maka dapat dihitung potensi prosentase dari PLTS terhadap beban listrik terjual sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Potensi PLTB} &= \frac{\Sigma \text{ kW produksi PLTB} \times 8.760 \text{ jam}}{\Sigma \text{ kWh beban terjual per tahun}} \times 100\% \\ &= (114,2787751 \times 8760) / \\ &\quad (38555300,72 \times 10^3) \times 100\% \\ &= 0,0000259648 \times 100 \% \\ &= 0,00259648 \%\end{aligned}$$

Energy Mix dari energi baru terbarukan (EBT) dalam RUED-P pada tahun 2030 sebesar 22,55% [43], jadi PLTS dan PLTB tidak lebih dari 1 persen dari target rencana pembangunan provinsi Jawa Tengah yang tertuang dalam energy mix. Tetapi jika dilihat dari fluktuasi pada tahun 2020 imbas dari pandemi covid-19, maka sangat dimungkinkan energi tersebut akan kecil potensinya pada tahun 2030.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penggunaan model pembelajaran berbasis Jaringan Saraf Tiruan didapatkan kesimpulan berdasarkan hasil pemrosesan dan analisis data. Hasil dan analisa yang telah dilakukan dalam memprediksi kebutuhan PLTS dan PLTB di simpulkan sebagai berikut :

1. Penerapan algoritma jaringan saraf tiruan berhasil dilakukan dengan menghasilkan prediksi kebutuhan PLTS dan PLTB
2. Pemodelan terbaik dalam penelitian ini adalah model algoritma *neural network* dengan *hidden layer* 15 – 10 – 1, *learning rate* sebesar 0,01.
3. Model prediksi menggunakan JST pada PLTS dan PLTB memiliki tingkat kesalahan yang kecil, yaitu dengan *MSE* sebesar 3,7984e-08 model prediksi PLTS dan 2,0889e-07 pada model prediksi PLTB.
4. Tingkat akurasi pada model prediksi kebutuhan PLTS dan PLTB diukur dengan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), yaitu 99,55% pada model prediksi PLTS dan 99,05% pada model prediksi PLTB.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan sebelumnya, maka saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan dataset yang lebih banyak, terutama jika ingin mendapatkan akurasi lebih tinggi, serta pemilihan model khusus prediksi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Energy Mix dari energi baru terbarukan (EBT) dalam RUED-P pada tahun 2025 sebesar 21,32% dan pada tahun 2030 sebesar 22,55% [43], maka sebagai prediksi pada tahun tersebut hendaknya pemangku kebijakan bisa lebih mengejar atau mengoptimalkan proyek strategis dalam bidang EBT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Manab Idris, N. Sasongko, and Y. Kuntjoro, "Energy Conversion and Conservation Technology in Facing Net Zero-Emission Conditions and Supporting National Defense," *Trends Renew. Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 49–66, 2022.
- [2] Kementerian ESDM Republik Indonesia, *SIARAN PERS NOMOR: 124.Pers/04/SJI/2022 Kerjasama Menuju Net Zerro Emission Tahun 2060*. 2022.
- [3] B. A. Umam and M. Walid, "Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani," *JATIM J. Apl. Teknol. Inf. dan Manaj.*, vol. 1, no. 1, pp. 49–58, 2020.
- [4] S. Widyanto, S. Wisnugroho, and M. Agus, "Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-Wangi," *Semin. Nas. Sain dan Teknol. 2018*, pp. 1–12, 2018.
- [5] Agus Tampubolon; Hapsari Damayanti; Marlystya citraningrum; fabby tumiwa ;, "perhitungan potensi PLTS atap untuk Bangunan Pemerintah."
- [6] Z. Zhuang, Z. Peng, and W. Guo, *Comparative Study of Building Energy Use Prediction Based on Three Artificial Neural Network Algorithms*, no. Ishvac 2019. Springer Singapore, 2020.
- [7] M. Zygmunt and D. Gawin, "Potential of Renewable Energy Sources usage in an energy demand of a single-family houses neighbourhood, constituting an Energy Cluster - A case study," *E3S Web Conf.*, vol. 172, pp. 1–9, 2020.
- [8] T. S. Hayu and R. H. Siregar, "Study of the Potential of Hybrid Power Plant (Surya-Bayu) in Banda Aceh Using the Artificial Neural Network Method," *J. Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [9] C. E. Rezzy, Eko Caraka ; Puti, "Simulasi Kalkulator Energi Baru Terbarukan (Ebt) Guna Memenuhi Ketahanan Energi Di Indonesia," *STATISTIKA*, vol. 16, no. 2, pp. 77–88, 2017.
- [10] J. Li, X. Bo, and Y. Chen, "Feasibility analysis of applying the wind-solar hybrid generation system in pastoral area," *Lect. Notes Electr. Eng.*, vol.

- 144 LNEE, no. VOL. 2, pp. 621–628, 2012.
- [11] A. Z. Zakaria, I. Abadi, and A. Musyafa, “Pemodelan Dan Pemetaan Potensi Energi Angin Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Di Bendungan Karangates Kabupaten Malang,” pp. 1–8, 2010.
- [12] V. Nurmanova, M. Bagheri, T. Phung, and S. K. Panda, “Feasibility study on wind energy harvesting system implementation in moving trains,” *Electr. Eng.*, vol. 100, no. 3, pp. 1837–1845, 2018.
- [13] J. Wang, K. Fang, W. Pang, and J. Sun, “Wind power interval prediction based on improved PSO and BP neural network,” *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 989–995, 2017.
- [14] R. S. B. P. Y. Emelyana, “Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan SIG untuk pemetaan Kawasan Potensi Sumber PLTS di Pulau Jawa,” *J. Geod. Undip*, vol. 5, no. April, pp. 2010–2014, 2016.
- [15] S. Iniyana, S. Jebaraj, L. Suganthi, and A. A. Samuel, “Energy Models for Renewable Energy Utilization and To Replace fossil fuels,” *Methodology*, pp. 1–7, 2016.
- [16] S. Irradiance, M. Alhusein, and S. I. Haider, “Microgrid-Level Energy Management Approach Based on Short-Term Forecasting of Wind Speed and,” *Energies*, 2019.
- [17] W.-Y. Chang, “A Literature Review of Wind Forecasting Methods,” *J. Power Energy Eng.*, vol. 02, no. 04, pp. 161–168, 2014.
- [18] A. Gupta, D. Jain, and S. Dahiya, “Neutral current compensation techniques in autonomous wind energy sources,” *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 357–363, 2014.
- [19] W. Y. Chang, “Short-term wind power forecasting using the enhanced particle swarm optimization based hybrid method,” *Energies*, vol. 6, no. 9, pp. 4879–4896, 2013.
- [20] O. E. Dragomir, F. Dragomir, and E. Minca, “Forecasting of renewable energy load with radial basis function (RBF) neural networks,” *ICINCO 2011 - Proc. 8th Int. Conf. Informatics Control. Autom. Robot.*, vol. 2, pp. 409–412, 2011.
- [21] J. Lee and G. L. Park, “Climate effect analysis on solar energy generation

- in Jeju city,” *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 19, pp. 11692–11697, 2016.
- [22] S. K. Kar and K. Gopakumar, “Progress of renewable energy in India,” *Adv. Energy Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 97–115, 2015.
- [23] S. Mei and L. Chen, “Recent advances on smart grid technology and renewable energy integration,” *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 56, no. 12, pp. 3040–3048, 2013.
- [24] G. Felber and G. Stoeckle, “Onshore wind energy use in spatial planning—a proposal for resolving conflicts with a dynamic safety distance approach,” *Energy. Sustain. Soc.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2014.
- [25] M. Socorro García-Cascales, M. Teresa Lamata, and J. Miguel Sánchez-Lozano, “Evaluation of photovoltaic cells in a multi-criteria decision making process,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 199, no. 1, pp. 373–391, 2012.
- [26] A. Joensen, “Short – Term Wind Power Prediction,” *Wind Energy*, no. 108, pp. 15–23, 2002.
- [27] R. H. Munawar, Muhammad Ridha; Hasan, Hafidh; Siregar, “Studi Prakiraan Beban Dan Potensi Pemanfaatan Pv Untuk Mengurangi Beban Puncak Di Penyulang Unsyiah Menggunakan Ann,” *Kitekro*, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2017.
- [28] PVGIS, “Monthly Energy output from fix-angle PV System,” Jawa tengah, 2021.
- [29] R. Wahyudi and M. Irsyad, “Potensi Energi Terbarukan di Provinsi Lampung Untuk Mewujudkan Kemandirian Energi,” *Semin. Nas. Has. Penelit. SAINS, Teh. DAN Apl. Ind. 2018*, 2018.
- [30] V. Ramesh Kumar and P. Dixit, “Daily peak load forecast using artificial neural network,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 4, pp. 2256–2263, 2019.
- [31] I. N. T. Adnyana, I. G. P. S. Wijaya, and M. A. Albar, “Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Untuk Peramalan Suhu Minimum dan Maksimum,” *J-Cosine*, vol. 3, no. 2, pp. 127–136, 2019.
- [32] W. Setiawan, R. Hermawan, and S. Suardi, “Analisa Potensi Angin Dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik Di Wilayah

- Laut Sawu,” *JST (Jurnal Sains Ter.*, vol. 4, no. 1, pp. 57–62, 2018.
- [33] M. A. Bratawijaya and S. Handoko, “Analisis Perbandingan Metode Jaringan Saraf Tiruan Tanpa Dan Dengan Fuzzy Clustering Pada Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Di Indonesia Sampai Tahun 2019,” 2019.
- [34] Heaton, “Introduction to Neural Networks with C#,” *St. Louis Heat. Res.*, 2008.
- [35] B. Badieah, R. Gernowo, and B. Surarso, “Metode Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Prediksi Performa Mahasiswa Pada Pembelajaran Berbasis Problem Based Learning (PBL),” *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 6, no. 1, p. 46, 2016.
- [36] Sugiyono, “Metode Penelitian pendidikan Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan kuantitaif kualitatif dan R&D,” pp. 37–39, 2010.
- [37] imam ghozali, *Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program IBM SPSS* 23. 2016.
- [38] <https://jateng.bps.go.id/>, “Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah,” 2020, 2020. .
- [39] <https://bps.go.id/>, “Central Agency on Statistics,” 2020, 2020. .
- [40] PT. PLN (Persero), “Statistik PLN 2020,” 2020.
- [41] Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jawa Tengah, “Laporan Energi Baru Terbarukan,” 2020.
- [42] Y. S. L.T. Handoko, “Komput@si: Portal Ilmiah Populer untuk Ilmu Komputasi,” *J. Theor. Comput. Stud.*, vol. ISSN 2086-, 2010.
- [43] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, “RUED-P (Rencana Umum Energi Daerah Provinsi),” vol. 7, no. 2, pp. 44–68, 2018.