

**STUDY ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK
MENGUNAKAN *EXTREME LEARNING MACHINE***

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD DARWIS
D032172004**



**TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO / SEKOLAH PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR**

2022

**STUDY ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK
MENGUNAKAN *EXTREME LEARNING MACHINE***

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

*Program Studi
Teknik Elektro*

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD DARWIS
D032172004**

Kepada

**TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK/SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS**STUDY ALIRAN DAYA LISTRIK PADA SISTEM TENAGA LISTRIK
MENGUNAKAN EXTREME LEARNING MACHINE**

Diusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD DARWIS**D032172004**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 Januari dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.
Nip. 19731118 199803 2 001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT.
Nip. 19601106 198601 2 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng. IPU
Nip. 19740520 199903 1 003

Dekan Fakultas Teknik,



Prof. Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, M.T.
Nip. 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Darwis

NIM : D032172004

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 04 Februari 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Darwis

ABSTRAK

MUHAMMAD DARWIS. D032172004. “STUDY ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN EXTREME LEARNING MACHINE”. (Pembimbing: Indar Chaerah Gunadin dan Sri Mawar Said).

Load Flow atau analisa aliran daya listrik dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk menentukan parameter-parameter sistem tenaga listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, maupun daya reaktif yang terdapat pada jaringan listrik. Metode yang telah lama digunakan dalam perhitungan Load flow atau aliran daya adalah metode iterasi Newton-Raphson. Adapun dalam perkembangannya untuk menyelesaikan studi aliran daya dilakukan dengan membuat menerapkan metode Artificial Intelligence, salah satunya adalah metode Extreme Learning Machine. Metode ini digunakan dalam simulasi perhitungan sistem sederhana 39 Bus dari IEEE. Extreme Learning Machine ini dalam analisa pengujiannya dilakukan dengan 2 input, 1 hidden layer, 5 neuron, dan 2 output serta jumlah dataset sebanyak 39 untuk menghasilkan MAE dan MAPE berturut-turut sebesar 2.02 dan 0.76% serta dengan waktu proses yang sangat cepat sebesar 0.010s.

Kata Kunci : Analisa Aliran Daya, Algoritma Neural Network, Extreme Learning Machine

ABSTRACT

MUHAMMAD DARWIS. D032172004. "STUDY OF POWER FLOW IN ELECTRICITY SYSTEM USING EXTREME LEARNING MACHINE". (Supervised: Indar Chaerah Gunadin dan Sri Mawar Said).

Load Flow or Power Flow Analysis in the power system is used to determine the power system parameters such as voltage, current, active power, and reactive power contained in the power grid. The method that has long been used in the calculation of load flow or power flow is the Newton-Raphson iteration method. As for its development, to complete the power flow study, it is carried out by implementing the Artificial Intelligence method, one of which is the Extreme Learning Machine method. This method is used in the simulation of the simple 39 Bus system calculation from IEEE. In this Extreme Learning Machine, the testing analysis is carried out with 2 inputs, 1 hidden layer, 5 neurons, and 2 outputs and the number of datasets is 39 to produce MAE and MAPE respectively 2.02 and 0.76% and with a very fast processing time of 0.010s.

Keywords : Power Flow Analysis, Extreme Learning Machine, Artificial Neural Network

KATA PENGANTAR

Segala puji selalu dipanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Kuasa yang telah memberikan rahmat, hidayah dan pertolongan-Nya dalam menyelesaikan proposal tesis ini, yang berjudul “**STUDY ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN EXTREME LEARNING MACHINE**”. Penyelesaian tesis ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Peneliti memohon maaf jika dalam tesis ini masih terdapat banyak kekurangan. Dengan demikian, peneliti tetap mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca sekalian serta tetap mengharapkan semoga tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak. Penyusunan tesis ini juga tidak terlepas dari bimbingan dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, peneliti sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orangtua tercinta Ayahanda **H. Abdul Hafid Abdullah, SH** dan Ibunda **Hj. Aminah Puang Pute**. Serta Istri tercinta **dr. Nurinayah Taibien** dan anak tersayang adalah **Naila Marirah Darwis**, saudara-saudara serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya hingga terselesainya tesis ini.

2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Syafaruddin. ST., M.Eng** selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., M.T** selaku pembimbing I dan Ibu **Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T** selaku Pembimbing II, terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian tesis ini.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, ST., MT, Prof Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT dan Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, ST., M.Eng, IPU** selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan serta kritik dan saran guna penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan dan kemudahan yang diberikan selama kami menempuh proses perkuliahan.
6. Seluruh pihak PT. PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan dan Penyaluran Sulawesi dan PT. PLN (Persero) Unit Penyaluran Transmisi Makassar yang telah membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan.
7. Kepala Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Provinsi Sulawesi Selatan serta Kepala Bidang Pengawasan, terkhusus teman-teman Pengawasan Ketenagakerjaan Prov. Sulawesi Selatan yang selalu memberikan semangat dan support dalam menyelesaikan tesis ini.

8. Teman-teman Pasca Sarjana di Laboratorium Riset Relay Proteksi, terima kasih atas kebersamaan, kerjasama, saran dan dukungan kalian.
9. Kepada Rekan-Rekan seperjuangan Program Pasca Sarjana Departemen Teknik Elektro angkatan 2017 dan 2018 yang sejak pertama menginjakkan kaki di Universitas Hasanuddin hingga saat ini berjuang bersama peneliti untuk menuntut ilmu di kampus merah tercinta.
10. Buat PT. Naila Karya Indah baik Direktur, Tenaga Ahli K3 maupun seluruh staf yang selalu memberikan masukan, bantuan dalam hal analisa tesis ini sehingga bisa terselesaikan.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung peneliti dalam menyelesaikan tesis ini.

Peneliti menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam tesis ini. Oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan tesis ini. Peneliti berharap semoga tesis ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Makassar, 14 Februari 2022



Muhammad Darwis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAAN TESIS	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah	6
1.7. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1. Aliran Daya (<i>Power Flow</i>)	9
2.1.2. Sejarah Jaringan Saraf Tiruan	16
2.1.3. Konsep Dasar Jaringan Saraf Tiruan	18
2.1.4. <i>Extreme Learning Machine</i>	19
2.1.5. Algoritma <i>Extreme Learning Machine</i>	23
2.1.6. Struktur JST <i>Extreme Learning Machine</i>	25
2.2. Penelitian Terkait	26
2.3. <i>State of Art</i>	29
2.4. Kerangka Pikir	32
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. Tahap Penelitian	33

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	34
3.3. Jenis Penelitian.....	34
3.4. Perancangan Sistem.....	34
3.5. Sumber Data.....	35
3.6. Instrumentasi Penelitian.....	35
3.7. Jadwal Penelitian.....	35
3.8. Pengembangan Program.....	37
3.8.1. Program <i>Extreme Learning Machine</i>	37
3.8.2. Program <i>Artificial Neural Network</i>	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1. Objek Penelitian.....	39
4.2. Hasil Uji Coba	42
4.2.1. Hasil Uji <i>Coba Extreme Learning Machine</i>	42
4.2.2. Hasil Uji <i>Coba Artificial Neural Network</i>	44
4.2.3. Perbandingan Hasil Uji Coba	45
4.3. Uji Akurasi.....	46
4.3.1. MAPE (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>).....	48
4.3.1. Perbandingan Akurasi ELM dan ANN	49
4.4. Uji Performa.....	50
4.5. Percobaan Menggunakan Sistem Radial.....	50
BAB V KESIMPULAN	52
5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram impedansi sistem ketenagalistrikan sederhana....	12
Gambar 2.	Diagram admitansi sistem ketenagalistrikan sederhana.....	13
Gambar 3.	<i>Architecture of extreme learning machine</i>	22
Gambar 4.	<i>Simulation process of ELM method</i>	22
Gambar 5.	Program <i>Extreme Learning Machine</i> pada Matlab	37
Gambar 6.	Program <i>Artificial Neural Network</i> pada Matlab	38
Gambar 7.	Single Line Diagram Sistem Sulbagsel.....	41
Gambar 8.	Grafik hasil peramalan aliran daya pada sistem sulbagsel menggunakan metode <i>Extreme Learning Machine</i>	42
Gambar 9.	Grafik hasil peramalan aliran daya pada sistem sulbagsel menggunakan metode <i>Artificial Neural Network</i>	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tipe bus dalam sistem tenaga listrik.....	11
Tabel 2. <i>State of Art</i>	30
Tabel 3. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	36
Tabel 4. Aliran daya pada sistem Sulbagsel.....	39
Tabel 5. Hasil peramalan aliran daya pada sistem 43-bus Sulbagsel menggunakan metode <i>Extreme Learning Machine</i>	43
Tabel 6. Hasil peramalan aliran daya pada sistem 43-bus Sulbagsel menggunakan metode <i>Artificial Neural Network</i>	45
Tabel 7. Perbandingan data aktual terhadap hasil uji coba pada sistem sulbagsel.....	47
Tabel 8. Perbandingan Akurasi ANN dan ELM.....	48
Tabel 9. Data Sistem Radial IEEE-33 Bus dibandingkan dengan Peramalan ELM & ANN	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga listrik merupakan studi yang penting. Studi aliran daya merupakan studi yang mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja saat tunak (*steady state*). Tujuan utama studi aliran daya adalah untuk menentukan magnitudo atau besar tegangan, sudut/vektor tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran, serta rugi-rugi daya dalam sistem tenaga. [1]

Dalam dunia industri, listrik sudah menjadi kebutuhan primer sebagai sumber energi utama untuk menjalankan semua peralatan dan mesin yang ada di industri. Di daerah Sulselbar, untuk memenuhi kebutuhan listrik, energi listrik diambil dari pasokan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN). Seiring berjalannya waktu, bagian pembangunan terus berjalan dan banyaknya investor masuk untuk melakukan pembangunan di dunia industri dengan kebutuhan kelistrikan terus semakin meningkat, yang berarti bertambah pula jumlah beban yang harus ditanggung. Akibatnya, desain konfigurasi awal dari sistem jaringan kelistrikan yang awalnya baik dan mampu melayani beban dengan baik, bisa jadi menjadi tidak sesuai lagi dengan keadaan pembebanan saat ini. Untuk itu, perlu dilakukan analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi secara keseluruhan dari sistem tenaga listrik pada bagian sistem Sulselbar saat ini.

Ditambah lagi dengan pertambahannya pembangkit listrik yang berada di Kabupaten Sidrap yaitu memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau angin yang menggunakan kincir angin raksasa Desa Mattirotasi, Kecamatan Watang Pulu, Kabupaten Sidrap, Sulawesi Selatan (Sulsel). Dengan memiliki 30 *Wind Turbin Generator* (WTG) atau kincir angin, PLTB Sidrap akan menghasilkan listrik sebesar 75 Mega Watt (MW) dan diproyeksikan akan mampu mengaliri listrik kepada 70.000 pelanggan di wilayah Sulawesi Selatan.

Studi analisis aliran beban dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai aliran daya atau tegangan pada suatu jaringan sistem tenaga listrik. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga. Permasalahan aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal atau bus tertentu. Manfaat studi aliran daya ini yaitu, untuk mengetahui tegangan pada setiap simpul yang ada pada sistem, untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk meyalurkan daya yang diinginkan, dan untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru. Studi analisis aliran beban ini mengambil contoh pada implementasi sistem tenaga listrik di PT. Perusahaan Listrik Negara, Persero (PT.PLN) Sulselbar, dengan karakteristik beban terpusat (*lumped load*), jaringan sistem distribusi tenaga listrik berupa jaringan radial dan sumber tegangan berasal dari saluran menengah PLN 20 kV. Analisis aliran daya diawali menghitung tegangan pada setiap simpul (*bus*) terpasang, pembebanan

pada transformator, pembebanan pada saluran atau penghantar, nilai rugi daya, jatuh tegangan sistem, dan aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik terpasang.

Sebelum tahun 1929, semua perhitungan aliran daya dilakukan dengan tangan. Pada tahun 1929, *network calculators* (dari Westinghouse) atau *network analyzers* (dari General Electric) digunakan untuk melakukan perhitungan aliran daya. Metode digital untuk penyelesaian masalah aliran daya dipublikasikan pada tahun 1954. Namun demikian, metode digital pertama yang sukses dikembangkan adalah oleh Ward dan Hale pada tahun 1956. Metoda iteratif yang digunakan pada awalnya didasarkan pada matriks-Y dari metode Gauss-Seidel. Metode ini memerlukan simpanan komputer yang minimum dan iterasi yang sedikit untuk sistem yang kecil. Namun, bila ukuran sistem bertambah besar, jumlah iterasi yang diperlukan meningkat secara dramatis. Pada beberapa kasus, metode ini sama sekali tidak memberikan solusi.

Kekurangan dari metoda Gauss-Seidel diatas memicu dikembangkannya metoda Newton Raphson. Metoda ini awalnya dikembangkan oleh Van Ness dan Griffin dan kemudian dikembangkan lagi oleh peneliti-peneliti lain seperti Tinney dan Stot. Metoda ini didasarkan pada algoritma Newton-Raphson untuk penyelesaian persamaan kuadratik simultan dari jaringan daya. Berlawanan dengan algoritma Gauss-Seidel, metoda ini memerlukan waktu yang lebih panjang per-iterasinya, namun jumlah iterasinya sedikit dan tidak tergantung pada ukuran jaringan. Oleh

karenanya, masalah aliran daya yang tidak dapat diselesaikan dengan metoda Gauss-Seidel (misalnya sistem dengan impedansi negatif) dapat diselesaikan secara mudah dengan metoda ini. Akan tetapi metoda ini tidak kompetitif secara komputasional untuk sistem yang besar karena meningkatnya waktu hitung dan simpanan komputer. Namun demikian, dengan dikembangkannya teknik eliminasi yang sangat efisien oleh Tinney dkk untuk menyelesaikan persamaan-persamaan simultan, telah meningkatkan efisiensi dari metoda Newton Raphson dalam hal kecepatan dan penyimpanan komputer. [2] Hal tersebut telah membuat metoda ini menjadi metoda aliran daya yang paling luas digunakan dan berjalannya waktu dan permasalahan yang sangat komplisit dalam permasalahan aliran daya, misalnya bertambahnya jumlah bus, jumlah pembangkit, pembacaan secara online, analisa yang membutuhkan waktu yang cepat dengan skala besar, akurasi dan real time, sehingga muncullah metode *Artificial Intellegensi* (AI) yang semakin berkembang salah satunya adalah metode menggunakan *Extreme Learning Machine* yang mampu menantang persoalan aliran daya dengan secara tepat, akurasi dalam perhitungan, serta real time.

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Huang (2004) [3]. ELM (*Extreme Learning Machine*) merupakan jaringan syaraf tiruan feedforward dengan *single hidden layer* atau biasa disebut dengan *Single Hidden layer Feedforward Neural Networks* (SLFNs) metode pembelajaran ELM dibuat untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dari jaringan syaraf tiruan

feedforward terutama dalam hal *learning speed*. Huang et al mengemukakan dua alasan mengapa JST *feedforward* lain mempunyai *learning speed rendah*, pada ELM parameter-parameter seperti *input weight* dan *hidden bias* dipilih secara random, sehingga ELM memiliki *learning speed* yang cepat dan mampu menghasilkan *good generalization performance*. Metode ELM mempunyai model matematis yang berbeda dari jaringan syaraf tiruan *feedforward*. Model matematis dari ELM lebih sederhana dan efektif. Hal ini dapat dengan cepat menyelesaikan persoalan aliran daya kelistrikan. [4]

1.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang yang diuraikan yaitu:

1. Bagaimana Membuktikan dan membandingkan metode konvensional menggunakan Newton Raphson sebagai data dasar dengan *Extreme Learning Machine* (ELM) dan metode *Artificial Neural Networks* (ANN) pada bus 43 Sulbagsel?
2. Bagaimana pola *mapping* menggunakan *Extreme Learning Machine* (ELM) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dari penelitian sistem klasifikasi adalah :

1. Untuk dapat menyelesaikan aliran beban besar yang kompleks dengan tingkat kesulitan yang sama atau lebih besar dari non

linearitas yang terkait dengan masalah aliran daya pada Bus 43 Sulbagsel.

2. Untuk dapat menentukan kualitas yang baik titik awal aliran beban untuk sistem yang tidak dikondisikan.
3. Untuk mencari pola / *mapping* dalam permasalahan aliran daya dan meningkatkan proses komputasi dengan cepat pada sistem tenaga listrik pada jaringan kelistrikan 43-Bus Sulbagsel.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Dapat membantu dalam menyelesaikan permasalahan aliran daya pada sistem tenaga listrik.
2. Memperkenalkan pola/*mapping* yang cepat dalam perhitungan komputasi secara *online* maupun *offline* serta dapat disimpan dan *real time*.
3. Bagi peneliti, penelitian yang diusulkan dapat menambah pengetahuan dan kemampuan dalam permasalahan aliran daya pada sistem ketenagalistrikan.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Objek penelitian adalah pada daya aliran data ketenagalistrikan dengan menggunakan data PLN Sulbagsel Tahun 2021, dengan memulai skala kecil hingga skala besar khusus pada bus beban.

2. Menggunakan *software* Matlab 2017a untuk menyelesaikan persoalan aliran daya sistem ketanagalistrikan.
3. Menggunakan metode Newton Raphson, *Extreme Learning Machine* dan Artificial Neural Network untuk proses komputasi lebih dan menyelesaikan serangkaian persamaan nonlinier dari analisis aliran daya sistem tenaga.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN

Bab II berisi penjelasan tentang landasan teori, *state of the art*, dan kerangka pemikiran. Landasan teori dijelaskan tentang study aliran daya/load flow dan metode yang akan digunakan yaitu *Newton Raphson*, *Extreme Learning Machine* dan *Artificial Neural Network*. Dalam bab ini juga diuraikan *state of the art* yang berisi tentang penelitian terkait dan kerangka berfikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab III berisi penjelasan tentang tahapan penelitian yang akan dilakukan dimulai dari proses awal hingga akhir penelitian. Diuraikan

pula perancangan sistem yang diusulkan yaitu alur dan desain sistem. Desain sistem berupa gambaran umum dari sistem yang akan dibuat. Selain itu bab III menjelaskan sumber data, instrumen penelitian dan pengujian sistem yang akan digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV berisi penjelasan tentang hasil dan pembahasan penelitian serta implikasi dari penelitian yang dilakukan. Hasil merupakan penjelasan tentang data kuantitatif yang dikumpulkan sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan. Pembahasan berisi penjelasan tentang pengolahan data dan interpretasinya, baik dalam bentuk deskriptif ataupun penarikan inferensinya. Implikasi Penelitian merupakan suatu penjelasan tentang tindak lanjut Penelitian yang terkait dengan aspek sistem, maupun aspek Penelitian lanjutan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab V peneliti menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil pembahasan dan saran untuk pengembangan penelitian di masa yang akan datang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Aliran Daya (*Power Flow*)

Studi aliran daya di dalam sistem tenaga listrik merupakan studi yang penting. Studi aliran daya merupakan studi yang mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja saat tunak (*steady state*). Tujuan utama studi aliran daya adalah untuk menentukan magnitudo atau besar tegangan, sudut/vektor tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran, serta rugi-rugi daya yang muncul dalam sistem tenaga. [5]

Pada konsep perhitungan aliran daya dalam penyelesaian (perhitungan) sebuah aliran daya, sistem dioperasikan dalam kondisi/keadaan tunak dan keadaan seimbang. Setiap bus pada suatu sistem tenaga listrik terdapat daya aktif P , daya reaktif Q , besar tegangan $|V|$, dan sudut fasa tegangan δ . Jadi ada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P , Q , $|V|$, dan δ . Di dalam studi aliran daya, dua dari keempat besaran itu diketahui dan dua yang lainnya perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut diatas, bus-bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bus beban, bus generator, dan bus berayun/bus referensi (*slack bus*).

- Bus beban (Bus P-Q)

Bus beban adalah bus yang tidak memiliki unsur pembangkitan tenaga listrik/generator dan yang terhubung secara langsung ke beban.

Bus beban sering disebut dengan bus P-Q, karena pada bus beban yang dapat diatur adalah kapasitas daya yang terpasang. Pada bus ini, selisih daya yang dibangkitkan oleh generator dengan daya yang diserap oleh beban diketahui nilainya. Besar nilai P pada bus ini merupakan daya aktif terpasang yang diukur dalam satuan Watt (W), sedangkan besar nilai Q merupakan daya reaktif terpasang yang diukur dalam Volt Ampere Reaktif (VAR). Pada bus ini, nilai P dan Q diketahui besarnya, sementara $|V|$ dan δ harus dicari (dihitung) berapa nilainya.

- Bus generator (Bus P- $|V|$)

Bus generator atau biasa disebut *bus voltage controlled* merupakan bus yang terhubung dengan generator yang dapat dikontrol daya aktif (P) dan tegangan ($|V|$) yang biasanya dijaga konstan. Pengaturan daya aktif pada bus ini diatur dengan mengontrol penggerak mula (prime mover), sedangkan pengaturan tegangan pada bus ini diatur dengan mengontrol arus eksitasi pada generator. Oleh karena daya aktif (P) dan tegangan ($|V|$) dapat dikontrol maka bus ini sering disebut sebagai bus P- $|V|$. Pada bus ini, nilai P dan $|V|$ diketahui besarnya, sementara Q dan δ harus dicari (dihitung) berapa nilainya.

- Bus referensi (*Slack bus*)

Bus referensi (*slack bus*) adalah sebuah bus generator yang dianggap sebagai bus utama karena merupakan bus yang memiliki kapasitas daya yang paling besar. Oleh karena daya yang dapat disalurkan oleh bus ini besar, maka pada bus ini hanya nilai tegangan

$|V|$ dan sudut fasa δ yang bisa diatur, sedangkan besar daya aktif P dan daya reaktif Q akan dicari dalam perhitungan.

Pada sistem pemrograman, tipe bus identik dengan kode angka, dimana kode untuk bus referensi adalah angka 1, kode untuk bus generator adalah angka 2, dan kode untuk bus beban adalah angka 3. Untuk lebih jelasnya, pembagian tipe dan kode bus dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 1. Tipe bus dalam sistem tenaga listrik

Tipe Bus	Kode Bus	Nilai yang Diketahui	Nilai yang Dihitung
Bus Beban	3	P, Q	$ V , \delta$
Bus Generator	2	$P, V $	Q, δ
Bus Slack	1	$ V , \delta$	P, Q

Tiap-tiap bus terdapat empat besaran, yaitu :

- a. Daya aktif P
- b. Daya reaktif Q
- c. Nilai skalar tegangan $|V|$
- d. Sudut fasa tegangan θ .

Pada tiap-tiap bus hanya ada dua macam besaran yang ditentukan sedangkan kedua besaran lainnya merupakan hasil akhir dari perhitungan.

Kegunaan studi analisis aliran daya ini antara lain adalah:

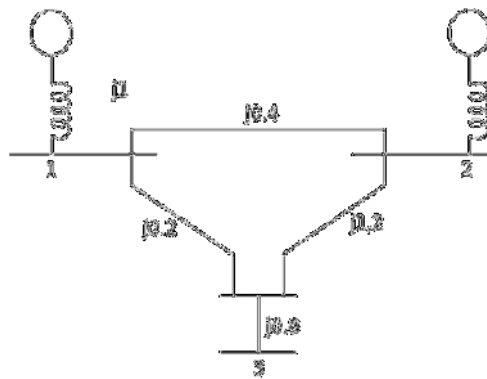
- Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap simpul yang ada dalam sistem.

- Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
- Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.
- Pada hubung singkat, stabilitas, pembebanan ekonomis.

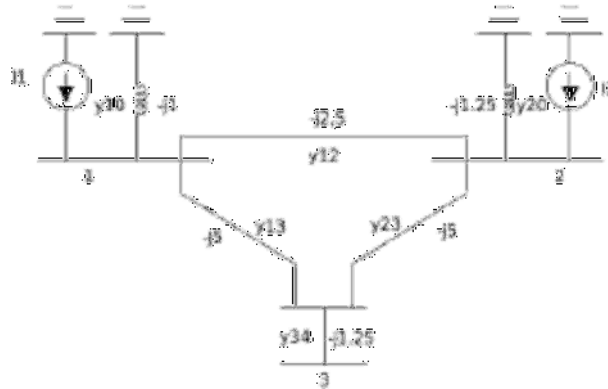
Matriks Admitansi Bus

Untuk mendapatkan persamaan bus-tegangan, sebagaimana sistem tenaga listrik sederhana pada gambar 1, dimana impedansinya dinyatakan dalam satuan per unit pada dasar MVA sementara untuk penyederhanaan resistansinya di abaikan. Berdasarkan Hukum Arus Kirchhoff impedansi-impedansi di ubah ke admitansi- admitansi, yaitu:

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}}$$



Gambar 1. Diagram impedansi sistem ketenagalistrikan sederhana



Gambar 2. Diagram admitansi sistem ketenagalistrikan sederhana

Berdasarkan gambar 1 dan gambar 2 serta menerapkan hukum Kirchoff antara bus 1 dan bus 4 akan menghasilkan:

$$I_1 = y_{10}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3)$$

$$I_2 = y_{20}V_2 + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3)$$

$$0 = y_{23}(V_3 - V_2) + y_{13}(V_3 - V_1) + y_{34}(V_3 - V_4)$$

$$0 = y_{34}(V_4 - V_3)$$

dengan menyusun ulang persamaan diatas maka diperoleh:

$$I_1 = (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 - y_{12}V_2 - y_{13}V_3$$

$$I_2 = -y_{12}V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 - y_{23}V_3$$

$$0 = -y_{13}V_1 - y_{23}V_2 + (y_{13} + y_{23} + y_{34})V_3 - y_{34}V_4$$

$$0 = -y_{34}V_3 + y_{34}V_4$$

dengan admitansi sebagai berikut.

a. Admitansi diagonal

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13}$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23}$$

$$Y_{33} = y_{13} + y_{23} + y_{34}$$

$$Y_{44} = y_{34}$$

b. Admitansi off diagonal

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12}$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13}$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23}$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34}$$

reduksi persamaan bus menjadi:

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + Y_{14}V_4$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4$$

$$I_3 = Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + Y_{34}V_4$$

$$I_4 = Y_{41}V_1 + Y_{42}V_2 + Y_{43}V_3 + Y_{44}V_4$$

Pada jaringan sistem tenaga listrik sederhana pada gambar 1 dan gambar 2 untuk bus 1 dan bus 4, maka:

$$Y_{14} = Y_{41} = 0, \text{ dan } Y_{24} = Y_{42} = 0$$

Berdasarkan persamaan seperti tersebut di atas, untuk sistem dengan n bus, persamaan tegangan bus dalam bentuk matriks ialah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

atau

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$$

dengan I_{bus} adalah vektor arus bus yang di injeksikan. Arus bernilai positif ketika masuk menuju bus dan bernilai negatif saat meninggalkan bus V_{bus} adalah vektor tegangan bus yang diukur dari simpul referensi. Y_{bus} dikenal dengan nama *matriks admitansi bus*. Elemen diagonal masing-masing bus merupakan penjumlahan admitansi bus yang terhubung padanya. Elemen diagonal ini disebut admitansi-sendiri.

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad (1)$$

elemen non-diagonal bernilai negatif terhadap admitansi antar simpul. Elemen diagonal ini dikenal dengan admitansi bersama.

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2)$$

Jika arus pada bus diketahui, dari persamaan (2) maka untuk tegangan n bus dapat ditentukan dengan :

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \quad (3)$$

Invers dari matriks admitansi bus dikenal sebagai matriks impedansi bus Z_{bus} . Berdasarkan persamaan (1.3) dan (1.4) , matriks admitansi bus untuk jaringan pada gambar 4.5 dan 4.6 yaitu :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} -j8.50 & j2.50 & j5.00 & 0 \\ j2.50 & -j8.75 & j5.00 & 0 \\ j5.00 & j5.00 & -j22.50 & -j12.50 \\ 0 & 0 & j12.50 & -j12.50 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Penyelesaian Persamaan Aljabar Nonlinear

Teknik-teknik yang paling umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan aljabar nonlinear secara iterasi adalah metode Gauss-Seidel, Newton-Raphson.

2.1.2. Sejarah Jaringan Saraf Tiruan

Sejarah jaringan saraf tiruan dimulai pada tahun 1940-an, para ilmuwan menemukan bahwa psikologi otak manusia sama dengan metode pemrosesan yang dilakukan oleh komputer. Jaringan saraf tiruan pertama kali didesain oleh Warren McCulloch dan Walter Pitts pada tahun 1943. McCulloch dan Walter Pitts merancang model formal sebagai perhitungan dasar neuron dan mencoba untuk menformulasikan model matematis sel-sel otak. Metode yang dikembangkan berdasarkan sistem saraf biologi. Ini merupakan suatu langkah maju dalam industri komputer (Kusumadewi, 2003:208). Jaringan saraf tiruan dikembangkan berdasarkan model matematis dengan mengasumsikan neuron-neuron yang saling berhubungan melalui sinyal-sinyal, dan setiap sambungan antara dua neuron mempunyai bobotnya masing-masing yang akan mengalikan sinyal yang ditransmisikan. Tiap neuron memiliki fungsi aktivasi yang akan menentukan besaran keluaran. Masa-masa keemasan jaringan saraf tiruan pada tahun 1950-an dan 1960-an. Rosenblatt memperkenalkan konsep perceptron, suatu jaringan yang terdiri atas 2 layer yang saling

berhubungan. Perceptron ini memberikan ilustrasi tentang dasar-dasar sistem intelegensia secara umum. *Perceptron convergence theorem* merupakan hasil kerja Rosenblatt pada tahun 1962, yang membuktikan bahwa bila setiap *perceptron* dapat memilah-milah 2 pola yang berbeda maka siklus pelatihannya dapat dilakukan dalam jumlah yang terbatas. Akan tetapi konsep *perceptron* yang diperkenalkan oleh Rosenblatt dikritik oleh Minsky dan Paper pada tahun 1969. Minsky dan Paper mengkritik kelemahan Rosenblatt di dalam memilah-milah pola yang tidak linier, karena pola yang tidak linier siklus pelatihannya tidak dapat dilakukan dalam jumlah yang terbatas (Hermawan,2006:18-19). Sejak saat itu penelitian dalam bidang jaringan saraf tiruan telah mengalami kevakuman selama kurang lebih 1 dasawarsa. Penelitian jaringan saraf tiruan terlahir kembali pada tahun 1980-an yang dipelopori oleh Werbos. Werbos memperkenalkan algoritma backpropagation untuk melatih perceptron dengan banyak lapisan. Setelah itu muncul peneliti-peneliti baru yang memperkenalkan metode-metode yang seperti jaringan *hopfield* yang diperkenalkan oleh Hopfield, neocognitron, mesin boltzmann, implementasi perangkat keras, sampai dikembangkannya fungsi radial basis tahun 1988 (Kusumadewi, 2003:208-210). Beberapa dekade belakangan ini, manusia telah banyak mengembangkan sistem yang menirukan perilaku dan kemampuan makhluk hidup. Jaringan saraf tiruan merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi yang didesain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan melakukan

proses belajar melalui perubahan bobot sinapsisnya. Jaringan saraf tiruan mampu mengenali kegiatan dengan berbasis pada data masa lalu. Data masa lalu akan dipelajari oleh jaringan saraf tiruan sehingga mempunyai kemampuan untuk memberi keputusan terhadap data yang belum pernah dipelajari. Jaringan saraf tiruan adalah suatu metode pengelompokan dan pemisahan data yang prinsip kerjanya sama seperti neural network pada manusia. Elemen mendasar dari paradigma tersebut adalah struktur yang baru dari sistem pemrosesan informasi. Jaringan saraf tiruan dibentuk untuk memecahkan suatu masalah tertentu seperti pengenalan pola atau klasifikasi karena proses pembelajaran (Puspitaningrum, 2006:12).

2.1.3. Konsep Dasar Jaringan Saraf Tiruan

Konsep dasar jaringan saraf tiruan bisa dilihat dari kerangka kerja dan skema interkoneksi. Kerangka kerja jaringan saraf tiruan dapat dilihat dari jumlah lapisan (*layer*) dan jumlah *node* pada setiap lapisan. Puspitaningrum (2006:6) [6] mengatakan dalam bukunya, bahwa lapisan dalam jaringan saraf tiruan dapat dibagi menjadi 3 bagian antara lain :

1. Lapisan *Input* (*Input Layer*)

Node-node didalam lapisan *input* disebut unit-unit *Input*. Unit-unit *input* menerima *input* dari luar. *Input* yang dimasukkan merupakan penggambaran dari suatu masalah.

2. Lapisan Tersembunyi (*Hidden layer*)

Node-node didalam *hidden layer* disebut unit-unit tersembunyi.

3. Lapisan *Output* (*Output Layer*)

Node-node didalam lapisan *output* disebut unit-unit *output*. Keluaran atau *output* dari lapisan ini merupakan *output* jaringan saraf tiruan terhadap suatu permasalahan.

2.1.4. Extreme Learning Machine

Extreme learning machine merupakan jaringan saraf tiruan *feedforward* dengan satu *hidden layer* atau biasa disebut dengan istilah *single hidden layer feedforward neural network* (SLFNs) (Huang,2006:492). [3] Metode ELM dibuat untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dari jaringan saraf tiruan *feedforward* terutama dalam hal *learning speed*. Algoritma ELM tidak melatih bobot *input* ataupun bias, ELM melatih untuk memperoleh bobot keluarannya dengan menggunakan *norm-least-squares solution* dan *moore-penrose inverse* pada sistem linier secara umum. Dengan menemukan node yang memberikan nilai *output* maksimal, dan parameter-parameter seperti *input weight* dan bias dipilih secara random, sehingga ELM memiliki *learning speed* yang cepat dan mampu menghasilkan *good generalization performance*.

Extreme Learning Machine merupakan metode pembelajaran baru dari jaringan syaraf tiruan. ELM merupakan jaringan syaraf tiruan *feedforward* dengan *single hidden layer* atau biasa disebut *single hidden layer feedforward neural networks* (SLFNs). Metode pembelajaran ELM dibuat untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dari jaringan syaraf tiruan *feedforward* terutama dalam hal *learning speed*. Huang et al

mengemukakan dua alasan mengapa JST *feedforward* mempunyai *learning speed* rendah, yaitu:

1. Menggunakan *slow gradient based learning algorithm* untuk melakukan *training*.
2. Semua parameter pada jaringan ditentukan secara iterative dengan menggunakan metode pembelajaran tersebut.

Pada pembelajaran dengan menggunakan *conventional gradient based learning algorithm* seperti *backpropagation* (BP), semua parameter pada JST *feedforward* harus ditentukan secara manual. Parameter yang dimaksud adalah *input weight* dan *hidden bias*. Parameter-parameter tersebut juga saling berhubungan antara *layer* yang satu dengan yang lain, sehingga membutuhkan *learning speed* yang lama dan sering terjebak pada *local minimal*. Sedangkan pada ELM parameter-parameter seperti *input weight* dan *hidden bias* dipilih secara *random*, sehingga ELM memiliki *learning speed* yang cepat dan mampu menghasilkan *good generalization performance*.

Metode ELM mempunyai model matematis yang berbeda dari jaringan syaraf tiruan *feedforward*. Model matematis dari ELM lebih sederhana dan efektif. Untuk N jumlah pasangan *input* dan target *output* yang berbeda (x_i, t_i) , dengan $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \in \mathbf{R}^n$ dan $t_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}]^T \in \mathbf{R}^m$, standar SLFNs dengan jumlah hidden nodes sebanyak \tilde{N} dan fungsi aktivasi $g(x)$ dapat dimodelkan secara matematis sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} (w_i \cdot x_j + b_i) = o_j \quad (5)$$

$$j = 1, 2, \dots, N$$

- a. $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$ merupakan vektor bobot yang menghubungkan *hidden node* ke-i dan *input nodes*.
- b. $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}]^T$ merupakan vektor bobot yang menghubungkan *hidden node* ke-i dan *output nodes*.
- c. b_i merupakan *threshold* dari *hidden node* ke-i
- d. $w_i \cdot x_j$ merupakan *inner product* dari w_i dan x_j

$$\sum_{i=1}^{\tilde{N}} (w_i \cdot x_j + b_i) = t_j, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$H\beta = T \quad (7)$$

$$\beta = H^+T \quad (8)$$

Algoritma *Extreme Learning Machine* (ELM) ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.

Input Pola *input* x_j dan pola target *output* $t_j, j = 1, 2, \dots, N$

Output Bobot *input* w_i , bobot *output* β_i dan bias $b_i, i = 1, 2, \dots, \tilde{N}$

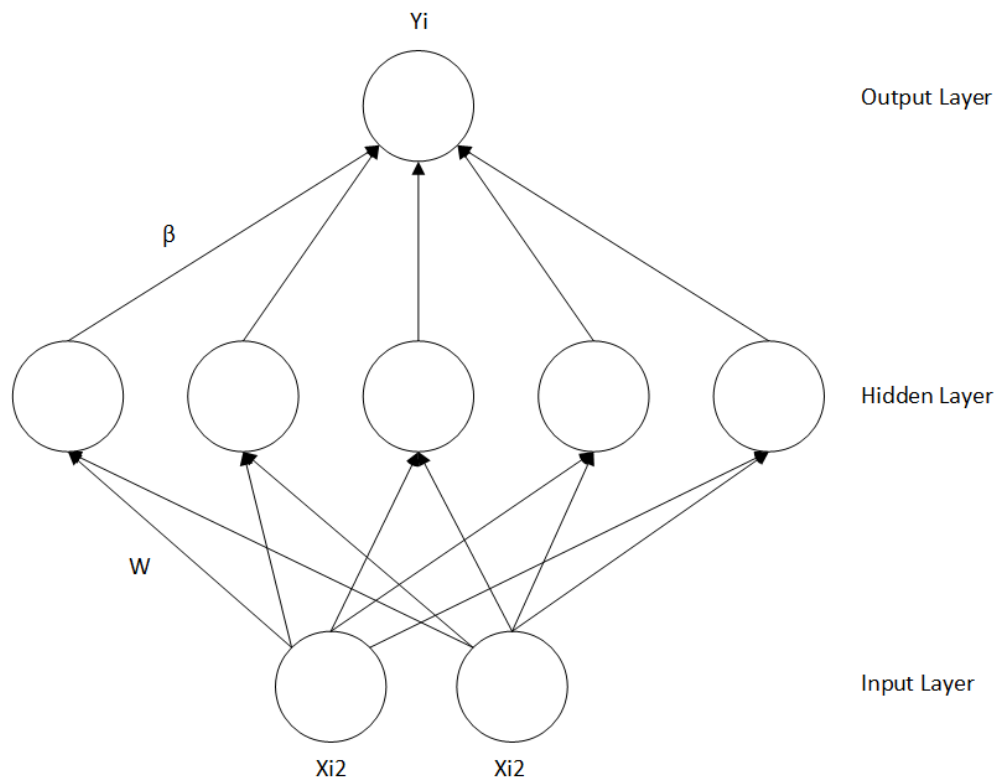
Algoritma:

Langkah 1 : Tentukan fungsi aktivasi ($g(x)$) dan jumlah *hidden nodes* (\tilde{N})

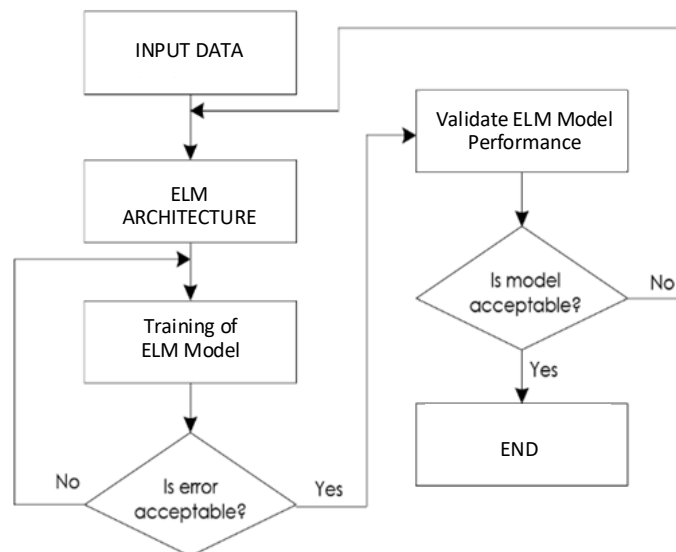
Langkah 2 : Tentukan secara acak nilai dari bobot *input* w_i dan bias $b_i, i = 1, 2, \dots, \tilde{N}$

Langkah 3 : Hitung nilai matriks *output* H pada *hidden layer*

Langkah 4 : Hitung nilai bobot *output* β dengan menggunakan $\beta = H^+T$



Gambar 3. Architecture of extreme learning machine



Gambar 4. Simulation process of ELM method

Uraian tahapan *flowchart* dengan model ELM adalah sebagai berikut.

1. *Input* data, memasukkan data *input*-an pada daya aktif dan daya reaktif (*P* dan *Q*).
2. Arsitektur JST ELM.
3. Proses training data metode ELM.
4. Jika memenuhi persyaratan metode ELM, maka dilakukan proses validasi.
5. Apakah model diterima dari hasil validasi, jika dilanjutkan ke proses berikutnya.
6. Hasil *output* nilai adalah *V* dan θ .

2.1.5. Algoritma *Extreme Learning Machine*

Huang et.al.(2006:492) mengatakan bahwa ada tiga tahapan dalam metode ELM, yaitu jika diberikan data training, fungsi aktivasi $g(x)$, dan m unit hidden, maka :

1. Menentukan vektor bobot *input* W_j dan bias b_j faktor pengaruh *unit hidden* ke- j , $b_j, j = 1, \dots, m$.
2. Menghitung matriks keluaran pada *hidden layer* $H_{n \times m}$.
3. Menghitung bobot keluaran β .

Proses training harus terlebih dahulu dilakukan sebelum proses prediksi.

Proses training bertujuan untuk mendapatkan nilai output weight. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses training adalah :

1. Langkah pertama adalah menginisialisasi input weight dan bias. Nilai ini diinisialisasi secara acak dengan rentang nilai antara -1 hingga 1.

2. Langkah selanjutnya adalah menghitung keluaran hidden layer (*Hinit*)

Persamaan 9 berikut untuk menghitung keluaran di hidden layer.

$$Hinit\ train = Xtrain \cdot W^T + b \quad (9)$$

Keterangan:

Hinit train = Matriks hasil keluaran hidden layer untuk proses Training

Xtrain = Input data menggunakan data training

W^T = Transpose Input weight

b = Nilai bias

Setelah nilai *Hinit* didapatkan dan dihitung menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner, fungsi aktivasi ini sangat cocok untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan bersifat non-linier. Rumus fungsi aktivasi sigmoid biner diperlihatkan dalam Persamaan 10.

$$H = \frac{1}{1 + \exp(-Hinit\ train)} \quad (10)$$

Keterangan:

H = Fungsi aktivasi sigmoid biner

exp = Eksponensial

Hinit train = Matriks keluaran hidden layer pada proses training

3. Menghitung output weight. Agar mendapatkan hasil output weight, hal pertama yang harus dilakukan adalah mentranspose matriks hasil keluaran hidden layer dengan fungsi aktivasi. Setelah itu, matriks transpose tersebut dikalikan dengan matriks hasil keluaran hidden layer dengan fungsi aktivasi sigmoid biner biasa disebut matriks H. Setelah itu,

langkah berikutnya adalah menghitung nilai invers dari matriks yang telah diperoleh sebelumnya. Setelah itu menghitung matriks Moore-Penrose Generalized Invers dari hasil keluaran hidden layer dengan fungsi aktivasi. Persamaan 11 berikut ini untuk mencari matriks Moore-Penrose Generalized Inverse.

$$H^+ = (H^T H)^{-1} H^T \quad (11)$$

Keterangan:

H^+ = Moore-Penrose Generalized Inverse

H^T = Matriks H transpose

H = Matriks H keluaran hidden layer

Persamaan 12 berikut ini untuk menghitung nilai output weight.

$$\beta = H^+ \cdot Y \quad (12)$$

Keterangan:

β = Matriks Output Weight

H^+ = Matriks Moore-Penrose Generalized Invers dari matriks H

Y = Matriks Target

2.1.6. Struktur JST *Extreme Learning Machine*

Diberikan sebuah model jaringan saraf tiruan ELM dengan n neuron *input*, m neuron *hidden layer* dan fungsi aktivasi $g(x)$. Misalkan $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ dengan merupakan nilai *input* pada jaringan tersebut, H merupakan matriks bobot penghubung *input layer* dan *hidden layer* maka matriks H mempunyai ukuran $n \times m$. Penentuan nilai elemen-elemen matriks tersebut dilakukan secara *random*. Kemudian setiap nilai

input tersebut diproses pada *hidden layer* menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid biner*, dan nilai tersebut dihimpun dalam sebuah matriks H dengan ordo $n \times m$.

2.2. Penelitian Terkait

Beberapa jurnal ilmiah penelitian terkait mengenai *study power flow* sistem tenaga listrik dengan menggunakan beberapa metode yang berbeda.

Penelitian dilakukan oleh Yanhua Chen, Tahun 2018, menggunakan *extreme learning machine* untuk perkiraan beban listrik, dengan *forecasting* jangka pendek menggunakan metode penggabungan dengan Empiris Mode Dekomposisi / EMD gabungan dengan *Extreme Learning Machine* guna memudahkan *forecasting* beban listrik ditambahkan penggabungan dengan *Kernel Radial Basic Function/RBF* dan UKF. [8]

Penelitian dilakukan oleh Ch V V S Bhaskara Reddy, Tahun 2014, *distribution load flow* menggunakan *Artificial Neural Network/ANN* yaitu metode yang diusulkan diuji pada jaringan distribusi sebanyak 33 bus yang seimbang dan 10 bus yang seimbang, dengan hasil diperoleh dari algoritma dan beban distribusi yang dimodifikasi menggunakan topologi jaringan. [9]

Penelitian dilakukan oleh Serhat Berat EFE, Tahun 2013, *Firat University*, menggunakan ANN yang ampuh untuk simulasi dan prediksi masalah nonlinier. Jaringan saraf terdiri dari banyak unit pemrosesan yang saling terhubung yang disebut neuron. Setiap neuron menjumlahkan *input*

tertimbang dan kemudian menerapkan fungsi linier atau nonlinear ke jumlah yang dihasilkan untuk menentukan *output*, dan semuanya diatur dalam lapisan dan dikombinasikan melalui konektivitas yang berlebihan.

Penelitian dilakukan oleh P. Duraipandy, Tahun 2013, dengan menggunakan jaringan *neural feed-forward layer* tersembunyi tunggal, di mana *training* terbatas pada bobot *output* untuk mencapai *training* cepat dengan kinerja yang baik margin pemuatan diambil sebagai indikator ketidakstabilan tegangan. Besaran tegangan prekontensi dan sudut fase pada bus beban diambil sebagai variabel *input*. Data pelatihan diperoleh dengan menjalankan *Continuation Power Flow* (CPF) rutin. Efektivitas metode ini telah ditunjukkan melalui penilaian stabilitas tegangan pada sistem IEEE 30-bus. Untuk memverifikasi efektivitas metode ELM yang diusulkan, kinerjanya dibandingkan dengan *Multi Layer Perceptron Neural Network* (MLPNN). Hasil simulasi menunjukkan bahwa ELM memberikan hasil yang lebih cepat dan lebih akurat untuk penilaian stabilitas tegangan *on-line*. [10]

Penelitian dilakukan oleh Indar Chaerah Gunadin, Tahun 2012, University of Hasanuddin, menyelesaikan permasalahan ketidakstabilan tegangan atau fenomena *voltage collapse*. Masalah nonlinear antara tegangan, aliran daya dan faktor partisipasi dalam sistem tenaga dapat diselesaikan oleh *Extreme Learning Machine*. Metode ini diuji pada IEEE 14 bus dan sistem Jawa-Bali. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode

yang diusulkan dapat secara akurat memprediksi bus terlemah dalam sistem tenaga.

Penelitian dilakukan oleh Indar Chaerah Gunadin, Tahun 2012, University of Hasanuddin, pengoperasian *recloser* membuat ketidakstabilan suatu sistem tenaga listrik, dengan menggunakan *Extreme Learning Machine* (ELM) berdasarkan metode REI-Dimo. REI-Dimo yang setara digunakan untuk menentukan indeks SSSL dari sistem tenaga. Kemudian, hasil REI-Dimo akan ditraining pada metode ELM via online. Hasil ELM akan dibandingkan dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST). [4]

Muller, Tahun 2010, metode yang digunakan adalah *Artificial Neural Network/ANN* untuk *power flow*, metodologi yang digunakan adalah basis jaringan syaraf tiruan (ANN) untuk menyelesaikan dasar aliran beban, menyelesaikan aliran beban dengan mempertimbangkan batas daya reaktif dari bus pembangkit (PV), menentukan kualitas yang baik pada titik awal aliran beban untuk sistem yang tidak dikondisikan. [11]

Penelitian dilakukan oleh Jayendra Krishna, Tahun 2006, metode yang digunakan adalah *Counterpropagation Neural Network/CPNN* untuk masalah aliran beban/PF, yang dilakukan untuk menentukan keadaan statis sistem tenaga (besaran voltase dan sudut tegangan) di setiap bus untuk menemukan kondisi operasi kondisi mapan suatu sistem, *Counterpropagation Neural Network/CPNN* diusulkan untuk menyelesaikan masalah aliran daya di bawah kondisi kontingensi yang berbeda untuk

menghitung besaran tegangan bus dan sudut sistem daya. Jaringan kontra-propagasi menggunakan strategi pemetaan yang berbeda yaitu kontra-propagasi dan menyediakan pendekatan praktis untuk melaksanakan tugas pemetaan pola, Komposisi variabel *input* untuk jaringan saraf yang diusulkan telah dipilih untuk meniru proses solusi dari program aliran daya konvensional. [7]

2.3. State of Art

Beberapa *state of art* dari penelitian yang berhubungan dengan *study load flow* sistem tenaga listrik menggunakan *extreme learning machine*, seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2. State of Art

No	Penulis	Judul	Penerbit	Metode	Tujuan	Hasil
1	Yanhua Chen, dkk (2018)	<i>Mixed kernel based extreme learning machine for electric load forecasting</i>	Neucom 19629	Menggunakan <i>short term electric metode</i> EMD Miixed ELM dengan Kernel RBF dan UKF	Memudahkan <i>forecasting load electric</i> secara jangka pendek	Lebih Akurasi secara jangka pendek
2	Ch V V V S Bhaskara Reddy, dkk (2014)	<i>Distribution load flow using artificial neural networks</i>	International jounal of application or innovation in engineering dan management	Menggunakan metode ANN pada aliran beban distribusi	Dapat menangani bus yang seimbang dan tidak seimbang yang diperoleh hasil alogaritma	Dapat dilakukan dengan modifikasi topologi jaringan
3	Serhat Berat EFE, dkk (2013)	<i>Power flow analysis by Artificial Neural Network</i>	International Journal of Energy and Power Engineering	Menggunakan metode ANN untuk menganalisa power flow	Dapat menganalisa sistem yang sama dengan paramaeter yang sama untuk memenuhi batas konvergen	ANN dapat lebih ampuh untuk simulasi dan prediksi secara nonlinier
4	P. Duraipandy, dkk (2013)	<i>Extreme Learning Machine Approach for On-Line Voltage Stability Assessment</i>	Conference Paper	Menggunakan metode ELM dengan <i>single hidden layer feed forward neural networks</i>	Dapat menstabilikan <i>magnitude voltage</i>	Lebih akurasi dan lebih cepat estimasi kenaikan kestabilan tegangan secara bertahap
5	Indar Chaerah G, dkk (2012)	<i>Steady State Stability Assessment Using Extreme Learning Machine Based on Modal Analysis</i>	International Revied of Electrical Engineering/IREE	Menggunakan metode ELM adalah mampu menganalisa stability steady state	Dapat meng- <i>trigger</i> magnitude voltage atau menstabilkan magnitude voltage	Lebih akurat dalam memprediksi bus yang lemah pada STL

6	Indar Chaerah G,dkk (2012)	<i>Determination of Steady State Stability Margin Using Extreme Learning Machine</i>	Journal WSEAS Transactions on Power Systems	Menggunakan metode ELM) berdasarkan metode REI-Dimo.	Untuk menentukan dan memprediksi kestabilan <i>steady state</i> pada sistem tenaga listrik	Lebih cepat dalam komputasi secara efisien dan efektif untuk memonitor secara online
7	Heloisa H. Muller dkk (2010)	<i>Artificial neural networks for load flow and external equivalent studies</i>	Electric power system research – elsevier	Menggunakan metode ANN dengan <i>multilayer perceptron</i> <i>ditraining Levenberg-Marquardt</i> beberapa detik	Dapat menentukan permasalahan <i>load flow</i> pada daya reaktif pada prmbangkit PV	Sistem ANN sangat baik dalam menyelesaikan persoalan ini
8	Jayendra Krishna, dkk (2006)	<i>Counterpropagation Neural Network for Solving Power Flow Problem</i>	International Journal of Electrical and Computer Engineering	Menggunakan metode <i>counterpropagation neural networks/CPNN</i> dalam permasalahan <i>power flow</i>	Menghitung besaran tegangan bus dan sudut sistem daya. menyediakan pendekatan praktis untuk melaksanakan tugas pemetaan pola	Dengan cepat dapat memetakan pola pada data yang masuk
9	Muhammad Darwis (2019)	<i>Study of Power Flow in Electricity System using Extreme Learning Machine</i>	-	Menggunakan metode <i>Extreme Learning Machine – ELM</i>	Untuk dapat menyelesaikan load flow skala besar yang kompleks dengan tingkat kesulitan yang sama atau lebih besar dari non linearitas yang terkait dengan masalah load flow	Komputasi lebih akurat, cepat dan efektif serta efisien

2.4. Kerangka Pikir

Kerangka pikir penelitian ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

