



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**PERAMALAN BEBAN PADA SISTEM KELISTRIKAN JAWA BALI
MENGUNAKAN ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-2**

Muhamad Naufal Prawironegoro
NRP 07111640000164

Dosen Pembimbing
Prof.Dr.Ir. Imam Robandi, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul **“Peramalan Beban Pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Type-2”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2020

M. Naufal Prawironegoro
NRP. 07111640000164

**PERAMALAN BEBAN PADA SISTEM
KELISTRIKAN JAWA BALI MENGGUNAKAN
ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-2**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.

NIP. 196308171990031001

SURABAYA

Juni, 2020

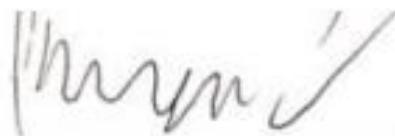
**PERAMALAN BEBAN PADA SISTEM
KELISTRIKAN JAWA BALI MENGGUNAKAN
ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-2**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.
NIP. 196308171990031001

SURABAYA
Juni, 2020

PERAMALAN BEBAN PADA SISTEM KELISTRIKAN JAWA BALI MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-2

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II



Dedet Candra Rijwan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

SURABAYA
Juni, 2020

PERAMALAN BEBAN PADA SISTEM KELISTRIKAN JAWA BALI MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-2

Nama : Muhamad Naufal Prawironegoro
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT
Pembimbing II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Penggunaan listrik dari waktu ke waktu cenderung meningkat dalam jumlah daya listrik yang tidak dapat ditentukan dengan pasti. Ini karena listrik telah menjadi bagian penting dari kemajuan peradaban manusia di berbagai bidang, termasuk di bidang ekonomi, teknologi, sosial, dan budaya. Masalahnya adalah jika daya yang dikirim dari pembangkit jauh lebih besar daripada permintaan daya pada beban, maka akan ada masalah pemborosan energi di perusahaan listrik. Kondisi ini tentunya dapat menimbulkan kerugian bagi penyedia listrik, yaitu PT PLN, dan dapat menyebabkan kerusakan pada pemasangan sistem tenaga listrik karena frekuensi sistem akan naik hingga lebih dari 50 Hz. Kebutuhan listrik ini diramalkan untuk mengetahui prakiraan listrik perhari dalam hitungan jam yang disebut peramalan beban jangka pendek. *Fuzzy Logic* merupakan salah satu metode dalam peramalan beban jangka pendek. Penelitian ini menggunakan *Interval Type-2 Fuzzy Inference System (IT2-FIS)* karena memiliki fleksibilitas yang tinggi. Dalam penelitian ini metode Fuzzy Type-1 dan Fuzzy Type-2 diterapkan untuk memperkirakan beban puncak jangka pendek di Jawa-Bali, Indonesia. Studi ini menemukan rata-rata tingkat error absolut peramalan jangka pendek pada hari Jumat keempat di bulan Oktober 2017 adalah 0,4567% ketika IT-2 FIS diimplementasikan. Hasil ini lebih baik daripada menggunakan IT-1 FIS yang rata-rata tingkat error absolut atau *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* peramalan jangka pendeknya adalah 0,540%

Kata Kunci : Absolute Error, Beban listrik, Sistem Inferensi Fuzzy Tipe-2, Pemodelan, Peramalan Beban Jangka Pendek

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LOAD FORECASTING IN JAVA BALI ELECTRICITY SYSTEM USING FUZZY LOGIC TYPE-2 ALGORITHM

Name : **Muhamad Naufal Prawironegoro**
1st Advisor : **Prof.Dr.Ir. Imam Robandi, MT**
2nd Advisor : **Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.**

ABSTRACT

The use of electricity from time to time tends to increase in the amount of electric power that cannot be determined with certainty. This is because electricity has become an important part of the progress of human civilization in various fields, including in the economic, technological, social and cultural fields. The problem is if the power sent from the plant is far greater than the demand for power at the load, then there will be a problem of energy waste in the electricity company. This condition can certainly cause losses for electricity providers, namely PT PLN, and can cause damage to the installation of electric power systems because the frequency of the system will rise to more than 50 Hz. This electricity demand is predicted to know the electricity forecast per day in a matter of hours which is called short-term load forecasting. Fuzzy Logic is one of the methods in forecasting short-term load. This study uses a Type-2 Fuzzy Inference System (IT2-FIS) interval because it has high flexibility. In this study the Fuzzy Type-1 and Fuzzy Type-2 methods are applied to estimate short-term peak loads in Java-Bali, Indonesia. This study found the average absolute error rate of short-term forecasting on the fourth Friday in October 2017 was 0.4567% when IT-2 FIS was implemented. This result is better than using IT-1 FIS where the average absolute error rate or Mean Absolute Percentage Error (MAPE) forecasting short term is 0.540%

Key Word : **Absolute Error, Electricity Load, Fuzzy Type-2 Inference System, Modeling, Short Term Load Forecasting**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrohiim
Assalamu 'alaikum.wrwb

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunianya dalam penyelesaian laporan tugas akhir. Laporan tugas akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi syarat kelulusan di Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Adapun judul tugas akhir yang penulis buat ialah **PERAMALAN BEBAN PADA SISTEM KELISTRIKAN JAWA BALI MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY LOGIC TYPE-2.**

Dalam proses penyusunannya penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT karena telah memberikan kelancaran dan keselamatan selama proses penyelesaian tugas akhir ini, dan semoga diberikan keberkahan atas ilmu yang telah penulis dapatkan dalam proses penyelesaian tugas akhir.
2. Kedua orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Prof. Imam Robandi dan Pak Dedet yang membimbing Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir yang penulis tulis masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan kedepannya. Selain itu penulis juga berharap, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan para pembaca

Surabaya, Juni 2020

M. Naufal Prawiro

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Beban Tenaga Listrik.....	7
2.2 Karakteristik Beban.....	7
2.2.1. Kondisi Beban Puncak Sistem.....	7
2.2.2. Laggam Beban Harian.....	8
2.2.3. Laggam Beban Harian Dari Tahun ke Tahun.....	10
2.3 Peramalan Beban (<i>Load Forecasting</i>).....	12
2.4 Teknik Peramalan Beban Jangka Sangat Pendek.....	14
2.5 <i>Fuzzy Logic</i>	15
2.5.1 Fungsi Keanggotaan Himpunan <i>Fuzzy Type-1</i>	15
2.5.2 <i>Type-1 Fuzzy Inference System (T1-FIS)</i>	16
2.5.3 <i>Interval Type-2 Fuzzy Logic (IT2-FL)</i>	18
2.5.4 <i>Interval Type-2 Fuzzy Set (IT2-FS)</i>	19
2.5.5 Struktur <i>Interval Type-2 Fuzzy Logic System</i>	20
2.5.6 Operasi pada Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Type-2</i>	20
2.5.7 <i>Interval Type-2 Fuzzy Inference System</i>	21
2.5.8 <i>Defuzzyfikasi</i>	22
2.5.8.1 <i>Algoritma Kernik Mendel</i>	22

2.5.8.2	Perhitungan <i>Centroid</i>	24
2.6	<i>FOU</i>	25
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Studi Literatur.....	27
3.2	Lokasi Penelitian.....	27
3.3	Alat yang digunakan.....	27
3.4	Pengumpulan Data dan Analisis.....	28
3.5	Tahap Penelitian.....	28
3.5.1	Tahap Persiapan (<i>preprocessing</i>).....	28
3.5.2	Tahap Pengolahan (<i>processing</i>).....	29
3.5.2.1	Himpunan Variabel Fuzzy.....	35
3.5.2.2	Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule).....	37
3.5.2.3	<i>FOU</i>	37
3.5.3	Tahap Lanjutan (<i>post processing</i>).....	38
3.6	Diagram Alur Penelitian.....	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN OPTIMASI PERAMALAN BEBAN JANGKA SANGAT PENDEK DENGAN MENGGUNAKAN <i>IT2-FIS</i>		41
4.1	Pengolahan Data Beban	41
4.2.	Penentuan Nilai <i>Input</i> dan <i>Output Fuzzy Logic</i>	52
4.2.1.	Perhitungan Nilai Variabel <i>Input X, Y</i> dan <i>Z</i>	53
A.	Peramalan Beban Tahun 2016.....	53
A.1	Peramalan Tahun 2016 Dengan Menggunakan <i>IT1-FIS</i>	57
A.2	Peramalan Tahun 2016 Dengan Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	60
A.3	Peramalan Tahun 2016 Dengan Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	61
A.4	Perbandingan <i>Error</i> Peramalan Tahun 2016.....	63
B.	Peramalan Beban Tahun 2017.....	65
B.1	Peramalan Tahun 2017 Dengan Menggunakan <i>IT1-FIS</i>	66
B.2	Peramalan Tahun 2017 Dengan Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	68
B.3	Peramalan Tahun 2017 Dengan Menggunakan	

	<i>IT2-FIS</i>	69
B.4	Perbandingan <i>Error</i> Peramalan Tahun 2017.....	71
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		74
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		77
LAMPIRAN		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Nama Gambar	Hal
Gambar 1.1	Topologi Jaringan Jawa Bali.....	3
Gambar 1.2	Konfigurasi Jaringan Jawa Bali.....	4
Gambar 2.1	Beban Puncak Bulanan Sistem Jawa Bali 2015..	8
Gambar 2.2	Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2015.	9
Gambar 2.3	Langgam Beban Harian Sistem APB 2015.....	10
Gambar 2.4	Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2013	11
Gambar 2.5	Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2014	12
Gambar 2.6	Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2015	12
Gambar 2.7	Struktur <i>Type-1 Fuzzy Inference System</i>	16
Gambar 2.8	<i>Type-1 Fuzzy Inference System Mamdani</i>	17
Gambar 2.9	<i>FOU</i>	20
Gambar 2.10	Struktur <i>Type-2 Fuzzy Logic System (T2FLS)</i>	20
Gambar 2.11	Operasi Himpunan <i>Fuzzy Interval Type-2 (IT2FLS)</i>	21
Gambar 2.12	<i>Fuzzy Inference System Mamdani type-2</i>	21
Gambar 3.1	Himpunan Variabel <i>IT2-FIS</i>	31
Gambar 3.2	Fungsi Keanggotaan Untuk Variable <i>X</i> dan <i>Y</i> dengan Probabilitas <i>FOU 50%</i>	31
Gambar 3.3	Fungsi Keanggotaan untuk variable <i>X</i> dan <i>Y</i> Dioptimisasi	32
Gambar 3.4	Probabilitas <i>FOU 50%</i>	33
Gambar 3.5	Fungsi Keanggotaan untuk variable <i>Z</i> Dioptimisasi ³⁴	34
Gambar 3.6	Diagram Alur Penelitian.....	39
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan <i>Error</i> Peramalan Tahun 2016.....	64
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan <i>Error</i> Peramalan Tahun 2017.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Pembebanan dan Tanggal Untuk Analisis Pada Tahun 2013.....	41
Tabel 4.2	Data Pembebanan Oktober Tahun 2013.....	43
Tabel 4.3	Data Pembebanan Oktober Tahun 2014.....	43
Tabel 4.4	Data Pembebanan Oktober Tahun 2015.....	44
Tabel 4.5	Data Pembebanan Oktober Tahun 2016.....	44
Tabel 4.6	Data Pembebanan Oktober Tahun 2017.....	45
Tabel 4.7	Nilai LA dan LD Untuk Tahun 2013.....	46
Tabel 4.8	Nilai LA dan LD Untuk Tahun 2014.....	47
Tabel 4.9	Nilai LA dan LD Untuk Tahun 2015.....	47
Tabel 4.10	Nilai LA dan LD Untuk Tahun 2016.....	48
Tabel 4.11	Nilai LA dan LD Untuk Tahun 2017.....	48
Tabel 4.12	Nilai TLD dan VLD Untuk Tahun 2015.....	50
Tabel 4.13	Nilai TLD dan VLD Untuk Tahun 2016.....	51
Tabel 4.14	Nilai TLD dan VLD Untuk Tahun 2017.....	52
Tabel 4.15	Tabel VLD 2015 dan 2016 Sebagai Nilai input <i>Fuzzy Logic</i>	53
Tabel 4.16	Fungsi Derajat Keanggotaan Himpunan X Untuk Peramalan Tahun 2016.....	54
Tabel 4.17	Fungsi Derajat Keanggotaan Himpunan Y Untuk Peramalan Tahun 2016.....	55
Tabel 4.18	Fungsi Derajat Keanggotaan Himpunan Z Untuk Peramalan Tahun 2016.....	56
Tabel 4.19	Tabel Konversi Aturan Dasar Peramalan Tahun 2016 Untuk Kode <i>Software Matlab</i>	57
Tabel 4.20	Hasil Output <i>Matlab</i> Peramalan Tahun 2016 Menggunakan <i>ITI-FIS</i>	58
Tabel 4.21	Hasil Perhitungan <i>Error</i> Tahun Peramalan 2016 Dengan menggunakan <i>ITI-FIS</i>	59
Tabel 4.22	Hasil Output <i>Matlab</i> Peramalan Tahun 2016 Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	60
Tabel 4.23	Hasil Perhitungan <i>Error</i> Tahun Peramalan 2016	

	Dengan menggunakan <i>IT2-FIS</i>	61
Tabel 4.24	Hasil Output <i>Matlab</i> Peramalan Tahun 2016 Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	62
Tabel 4.25	Hasil Perhitungan <i>Error</i> Tahun Peramalan 2016 Dengan <i>IT2-FIS</i>	63
Tabel 4.26	Tabel <i>VLD</i> 2015 dan 2016 Sebagai Nilai input <i>Fuzzy Logic</i>	65
Tabel 4.27	Tabel Konversi Aturan Dasar Peramalan Tahun 2017 Untuk Kode <i>Software Matlab</i>	66
Tabel 4.28	Hasil Output <i>Matlab</i> Peramalan Tahun 2017 Menggunakan <i>IT1-FIS</i>	66
Tabel 4.29	Hasil Perhitungan <i>Error</i> Tahun Peramalan 2017 Dengan Menggunakan <i>IT1-FIS</i>	67
Tabel 4.30	Hasil Output <i>Matlab</i> Peramalan Tahun 2017 Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	68
Tabel 4.31	Hasil Perhitungan <i>Error</i> Tahun Peramalan 2017 Dengan Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	69
Tabel 4.32	Hasil Output <i>Matlab</i> Peramalan Tahun 2017 Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	70
Tabel 4.33	Hasil Perhitungan <i>Error</i> Tahun Peramalan 2017 Dengan Menggunakan <i>IT2-FIS</i>	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring meningkatnya kegiatan ekonomi, kebutuhan energi listrik meningkat. Sebagian besar tenaga listrik merupakan kebutuhan dasar bagi manusia dalam melakukan banyak aktivitasnya. Penggunaan listrik dari waktu ke waktu cenderung mengalami peningkatan yang besarnya tidak dapat ditentukan secara pasti. Hal ini disebabkan karena listrik sudah menjadi bagian penting dari kemajuan peradaban manusia di berbagai bidang, antara lain dalam bidang ekonomi, teknologi, sosial, dan budaya.

Peningkatan kebutuhan listrik tersebut harus diikuti dengan penyediaan tenaga listrik oleh pihak penyedia tenaga listrik, dalam hal ini adalah PT PLN (Persero), agar tercapai stabilitas sistem tenaga listrik serta mampu memenuhi kebutuhan konsumen akan energi listrik. Tenaga listrik tidak dapat disimpan dalam skala besar, oleh sebab itu tenaga listrik harus dapat disediakan pada saat dibutuhkan. Akibatnya timbul persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang tidak tetap dari waktu ke waktu, bagaimana mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang selalu dapat memenuhi permintaan daya pada setiap saat dengan kualitas baik. Permasalahannya yaitu apabila daya yang dikirim dari pembangkit jauh lebih besar daripada permintaan daya pada beban, maka akan timbul masalah pemborosan energi pada perusahaan listrik. Kondisi tersebut tentunya dapat menimbulkan kerugian bagi pihak penyedia tenaga listrik, yaitu PT PLN (Persero), dan dapat menimbulkan kerusakan pada instalasi sistem tenaga listrik karena frekuensi sistem akan naik hingga lebih dari 50 Hz. Sedangkan apabila daya yang dibangkitkan dan dikirimkan lebih rendah atau tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan beban konsumen maka masalah yang akan terjadi adalah penurunan frekuensi sistem kurang dari 50 Hz dan dapat terjadi pemadaman lokal pada beban, yang akibatnya merugikan pihak konsumen. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian antara pembangkitan dengan permintaan daya. Untuk menjaga stabilitas tersebut, maka pihak penyedia tenaga listrik harus dapat meramalkan besar kebutuhan atau permintaan listrik. Jika besar permintaan listrik tidak diramalkan, maka dapat mempengaruhi kesiapan dari unit pembangkit untuk menyediakan pasokan listrik kepada konsumen.[1]

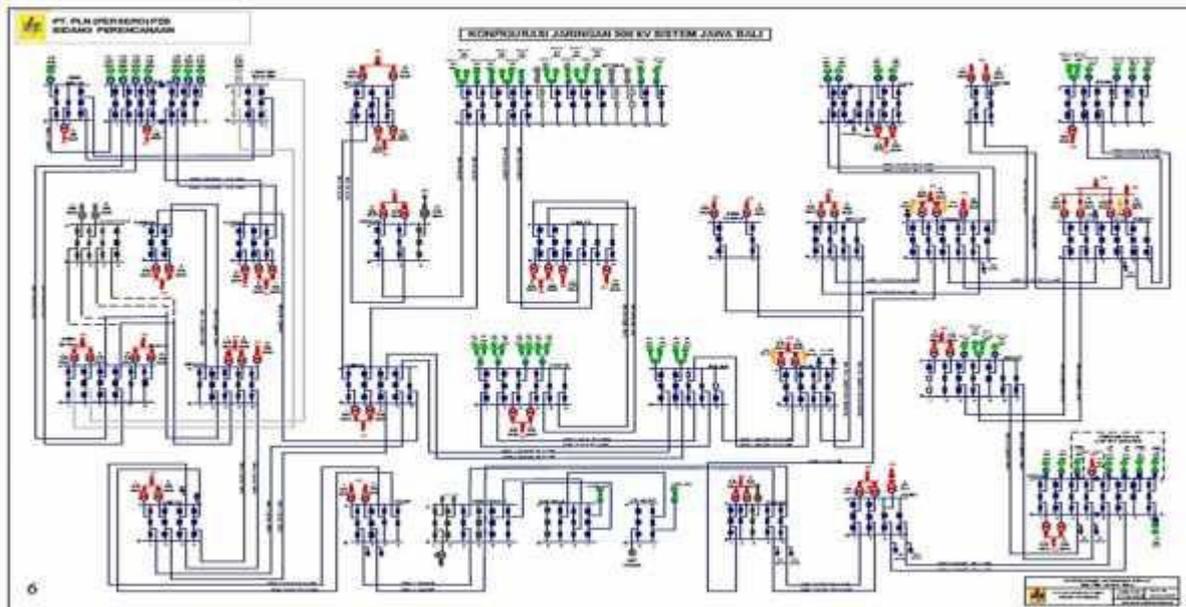
Peramalan beban listrik jangka pendek, yaitu peramalan beban listrik harian tiap setengah jam, sangat memegang peran penting khususnya dalam pengoperasian sistem tenaga listrik secara real time. Peramalan beban listrik harian yang tepat dan akurat, yaitu dengan tingkat atau persentase kesalahan (error) yang kecil, dapat memberikan keuntungan baik bagi PT PLN (Persero) sebagai pihak penyedia dan penyalur tenaga listrik maupun bagi konsumen. Karena dengan peramalan beban yang akurat (persentase kesalahan kecil), PT PLN (Persero) dapat melakukan penghematan biaya operasional sistem tenaga listrik. Sedangkan bagi konsumen, kontinuitas dan keandalan akan kebutuhan energi listrik tetap terjaga.

Peramalan beban jangka sangat pendek dimaksud pada penelitian ini, adalah perencanaan beban per jam untuk beberapa waktu kedepan pada hari yang sama tiap tahun, berdasarkan data beban jangka sangat pendek 4 jam sebelumnya pada kurun waktu 3 tahun sebelumnya. Diharapkan dengan adanya data pada H-4 tersebut, maka kebutuhan listrik pada besoknya akan presisi dan mempunyai nilai efisien yang tinggi. Pemilihan jam yang dipergunakan dalam proses FL itu berpengaruh pada output proses FL. Berikut pada penentuan aturan dasar (Rule Base) FL juga dipengaruhi penentuan jam yang dianalisis untuk peramalannya[6].

FL merupakan salah satu metode dalam peramalan beban jangka pendek, pada penelitian ini mempergunakan Interval Type-2 Fuzzy Inference System (IT2-FIS) dengan Membership Function dari Footprint of Uncertainty (FOU) akan di optimisasi .[7][8][9] , algoritma ini memiliki kecepatan konvergen yang tinggi dan sangat efisien jika digunakan untuk perhitungan optimisasi dari parameter yang tidak terlalu besar. Di samping itu IT2-FIS memiliki kelebihan pada sisi kekokohan (Robustness) dibanding dengan menggunakan IT1-FIS.[5][11][12].



Gambar 1.1 Topologi Jaring Jawa Bali[5]



Gambar 1.2 Konfigurasi Jaringan Jawa Bali 500 kV[5]

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti yaitu :

Artificial intelligent pada penelitian ini menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Inference System (IT2FIS) dengan mengoptimisasi fungsi keanggotaan dari IT2FIS dapat diaplikasikan dalam peramalan beban jangka pendek.

Membuat program atau memanfaatkan prograam simulasi untuk menguji dan memvalidasi artificial intelligent menggunakan IT2FIS dapat digunakan dalam peramalan beban jangka sangat pendek (studi kasus sistem kelistrikan Jawa Bali).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut

1. Bagaimana perbandingan *error* antara algoritma IT1FIS dan IT2FIS untuk meramalkan pembebanan sistem listrik jawa-bali

Bagaimana menggunakan IT2-FIS dengan pada FOU untuk menyelesaikan penelitian ini diperlukan pembatasan dengan asumsi sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini pengaruh beban sesaat dari luar tidak diperhitungkan. seperti pengaruh alam dan pemerintahan.
2. Untuk keperluan analisis yang dipergunakan adalah data beban yang lampau pada waktu dan hari yang sama saat peramalan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Membuat model peramalan beban listrik jangka pendek di Indonesia, khususnya sistem interkoneksi Jawa-Bali, dengan menggunakan metode IT1-FIS dan IT2-FIS dengan jangka pendek.
2. Mengetahui tingkat akurasi model peramalan beban jangka pendek menggunakan metode IT2-FIS dengan melihat besarnya persentase kesalahan (*error*).Penelitian ini memberikan informasi dalam rangka memprediksi suatu perilaku beban listrik tiap jam pada sistem kelistrikan Jawa Bali untuk kemudian digunakan dalam kebijakan terhadap pengoperasian sistem tenaga listrik seperti Economic Dispatch, Unit Commitment, Unit Maintenance, dan lain-lain[8]

1.4 Metodologi

Metode penulisan yang digunakan dalam pembuatan skripsi ini adalah:

1. Studi Literatur, yaitu dengan mempelajari materi-materi dari buku-buku dan sumber media elektronik untuk menjadi acuan dan referensi penulisan.
2. .Konsultasi dan tanya jawab dengan pembimbing skripsi.
3. Studi Lapangan, yaitu dengan melakukan pengambilan

datayang dibutuhkan serta penelitian ke lapangan dala hal ini P2B PLN

4. Simulasi, yaitu melakukan analisis pemodelan dengan metode yang telah ditentukan (IT2-FIS) dengan bantuan perangkat lunak (software) MATLAB membandingkan hasilnya dengan teori dari berbagai referensi

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penelitian ini disusun sebagai berikut.

Bab satu menjelaskan mengenai latar belakang dari penelitian ini serta pengenalan singkat terhadap feroresonansi. Selain itu, permasalahan, metodologi, batasan masalah dan sistematika dari penulisan laporan akan dijelaskan dalam bab ini.

Bab dua menyajikan pengulasan mengenai literatur-literatur yang berkaitan dengan penulisan laporan tugas akhir ini. Pembahasan yang akan dibahas yakni mengenai sistem beban tenaga listrik, Fuzzy logic, Algoritma peramalan, dan juga FOU.

Bab tiga menjelaskan tentang metode pengujian yang dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir. Adapun metode pengujian dimulai dari permodelan rangkaian dasar proses peramalan dimana akan dibahas secara detil. Kemudian, data pengujian diambil menggunakan software MATLAB dan peralatan akuisisi data dari microsoft excel. Data yang telah diambil selanjutnya akan diolah dengan software MATLAB.

Bab empat berisikan hasil analisis dari data yang telah diolah dan disimulasi menggunakan software MATLAB. Data yang diolah yaitu nilai proyeksi x, y, z seta nilai set himpunan.

Bab lima merupakan kesimpulan secara keseluruhan dari pengujian dan simulasi yang dilakukan dengan kedua tipe algoritma. Serta, adanya penentuan threshold yang akan digunakan untuk sebagai acuan . Saran untuk studi selanjutnya juga akan dibahas dalam bab ini

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Beban Tenaga Listrik

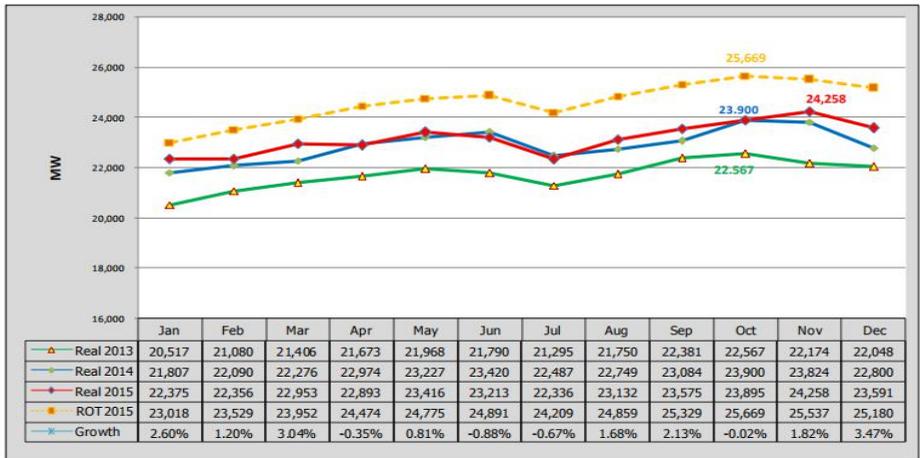
Daya listrik di distribusikan kepada konsumen oleh pemasok tenaga listrik digunakan untuk keperluan sehari-hari. Kurva pembebanan pada masih sistem kelistrikan memiliki magnitudo yang berbeda. Sementara, beban puncak harian adalah nilai pembebanan puncak sesaat pada suatu *interval* waktu tertentu (1 jam) atau beban puncak yang harus dipikul oleh sistem tenaga listrik pada *interval* waktu tertentu. [23]

2.2 Karakteristik Beban

Karakteristik beban disuatu wilayah terkait dengan perilaku (*behavior*) masyarakat dan musim (hujan atau panas) pada tempat tersebut. Sehingga faktor yang mempengaruhi karakteristik beban antara lain: faktor kebutuhan, faktor beban dan, faktor penggunaan [16]

2.2.1. Kondisi Beban Puncak Sistem

Dari Laporan Evaluasi Operasi Tahunan tahun 2015, yang dikeluarkan oleh *PT. PLN P2B*, maka diperoleh data beban puncak tertinggi. Beban Puncak (*BP*) tertinggi Sistem Jawa Bali 2015 mencapai 24.258 MW dengan pertumbuhan 1,50% (terhadap beban puncak 2015) dan faktor beban 79,28%, terjadi pada Kamis, 05 November 2015 pukul 18.00. Realisasi BP mencapai 94,5% dari rencana operasi 2015, lihat Gambar 2.1. Untuk BP siang terjadi pada hari Rabu ,tanggal 18 Nov 2015 pukul 13.30 mencapai 23.449 MW dengan pertumbuhan 2,33%[14].

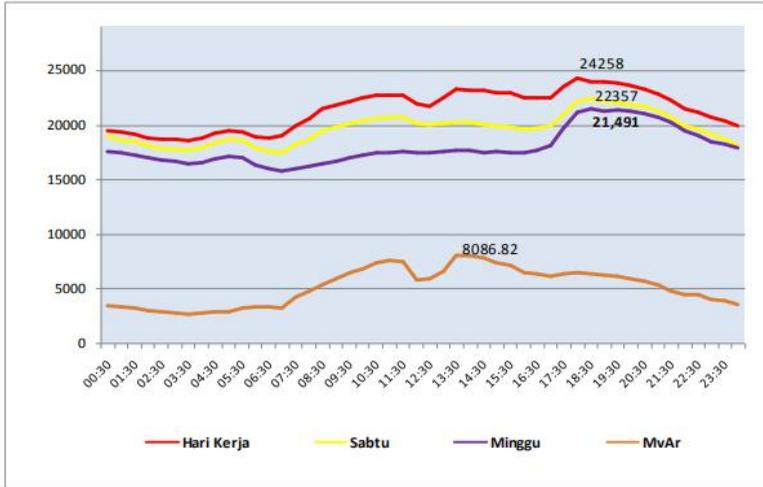


Gambar 2.1 Beban Puncak Bulanan Sistem Jawa Bali 2015[26]

Pola pertumbuhan BP bulanan relatif sama seperti tahun sebelumnya, pada periode Tahun ini dari bulan januari sampai dengan desember realisasi beban puncaknya di bawah rencana. Rendahnya BP ini terjadi karena pengaruh kondisi dinamis internal dan eksternal PLN dan perekonomian di tahun 2015 menurun.

2.2.2. Laggam Beban Harian

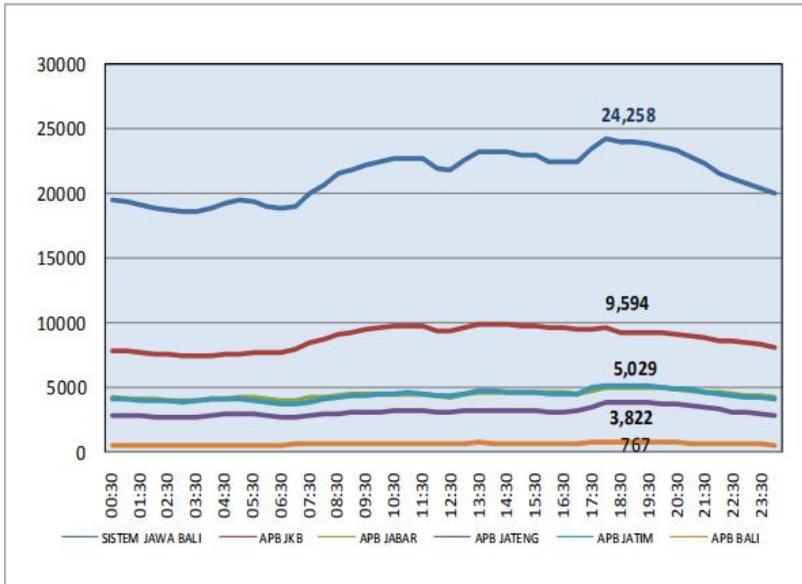
Karakteristik beban sangat penting dalam menentukan parameter pada peramalan beban (*load forecasting*). Karakteristik perubahan daya yang diterima oleh beban sistem tenaga listrik setiap saat pada *interval* jam tertentu dikenal dengan kurva beban harian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2015[7]

Langgam beban harian sistem saat beban tertinggi 05 November 2015 serta langgam beban masing-masing Area Pengatur Beban (APB) diperlihatkan pada Gambar 2.3. Langgam beban APB Jakarta & Banten didominasi oleh pelanggan industri, Di mana beban puncak siangnya lebih besar dari beban puncak malam dengan perbedaan yang relatif kecil sehingga menghasilkan faktor beban (load factor) yang tinggi. Sedangkan beban harian APB Jawa Barat, APB Jawa Tengah & DIY, APB Jawa Timur dan APB Bali hampir serupa yaitu periode 07.00 hingga 16.00 beban relatif sama dan naik cukup tinggi pada periode 16.00 sampai 20.00. Grafik ditunjukkan sebagaimana pada Gambar 2.3.

Karakteristik beban harian sistem Jawa Bali 2015 hampir tidak berubah dibanding dengan karakteristik beban tahun-tahun sebelumnya, baik karakteristik beban hari kerja maupun hari libur/Minggu, lihat Gambar 2.4. Beban harian dapat dikelompokkan sebagai berikut: Hari Kerja: Senin sampai Jumat langgam beban seperti Gambar 2.4. Beban puncak siang tertinggi 23.449 MW yang terjadi pada 18 November 2015 13.30 WIB, sedangkan beban puncak malam 24.258 MW yang terjadi pada 05 November 2015 18.00 WIB. Kebutuhan Mvar sistem Jawa Bali tertinggi mencapai 8.086 MVar terjadi pada pukul 14.00, kebutuhan MVar rata-rata hari kerja

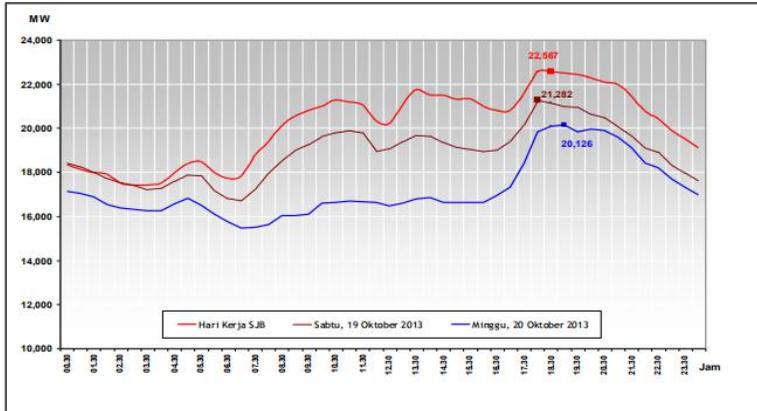


Gambar 2.3. Langgam Beban Harian sistem APB 2015 [24]

Hari Libur (Sabtu dan Ahad), sebagian konsumen PLN kelompok industri dan bisnis tidak menggunakan energi listrik sehingga pada hari Sabtu lebih rendah sekitar 1.901 MW dan hari Minggu 2.767 MW dibanding beban puncak hari kerja. Beban sistem hari Sabtu tertinggi tercatat sebesar 22.357 MW pada 14 November 2015 18.30 WIB dan hari Minggu tertinggi tercatat sebesar 21.491 MW pada 18 Oktober 2015 18.30 WIB[13].Penggambaran kurva beban dilakukan dengan cara mencatat beban persatuan jam (detik, menit, jam, hari, bulan atau tahun) dengan menggunakan *wattmeter* manual atau menggunakan peralatan *digital (data logger)* yang terdapat pada panel sistem tenaga listrik tersebut.

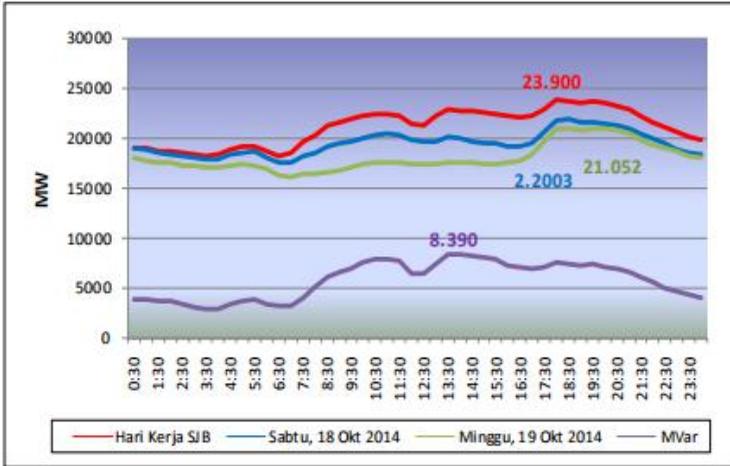
2.2.3. Langgam Beban Harian Dari Tahun ke Tahun

Pada gambar 2.4, 2.5 dan 2.6. dapat diketahui bagaimana Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali mulai dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2015.

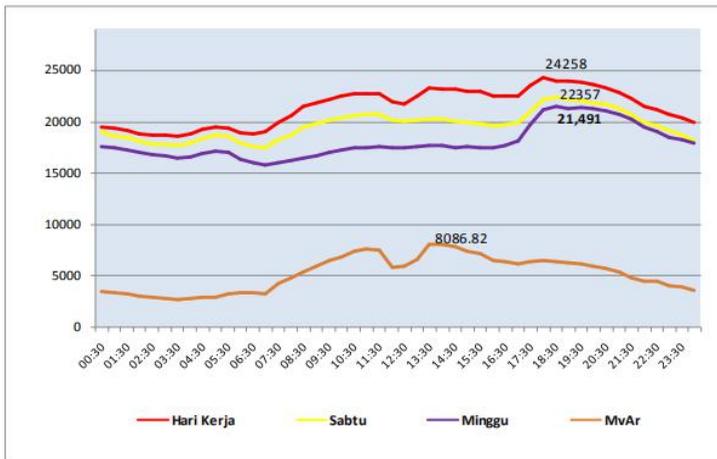


Gambar. 2.4. Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2013 [23]

Dari ketiga gambar tersebut, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pergerakan langgam beban harian sistem Jawa Bali mulai tahun 2013 sampai dengan tahun 2015 mempunyai pergerakan yang hampir sama langgamnya, dari hal ini, maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada pergerakan yang cukup ekstrim perbedaan langgamnya dari tiga tahun tersebut.



Gambar 2.5. Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2014 [16]



Gambar 2.6. Langgam Beban Harian Sistem Jawa Bali 2015 [14]

2.3 Peramalan Beban (*Load Forecasting*)

Peramalan adalah fenomena dari perhitungan atau estimasi

pengukuran pada periode jam yang akan datang. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, masalah peramalan beban merupakan masalah yang sangat penting dalam perusahaan. Baik dari segi manajemen maupun dalam operasional, sehingga peramalan beban memiliki perhatian khusus. Adapun peramalan beban berdasarkan jam dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu [15][16][17][2]:

1. Peramalan Beban Jangka Panjang (*Long Term Load Forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka jam di atas lima tahun. Pada peramalan beban jangka panjang biasa digunakan untuk perencanaan dan pengembangan sebuah sistem (*planning*), beban puncak tertinggi pada suatu sistem tenaga listrik sering digunakan sebagai acuan dalam pengembangan sistem. Selain itu juga faktor eksternal seperti faktor makro ekonomi juga menentukan dalam peramalan beban jangka panjang.
2. Peramalan beban jangka menengah (*Medium Term Load Forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka jam satu bulan sampai lima tahun. Peramalan beban jangka menengah tidak lepas dari peramalan beban jangka panjang, sehingga peramalan beban jangka panjang tidak akan jauh menyimpang dari peramalan beban jangka panjang. Dalam peramalan jangka menengah digunakan untuk aspek operasional sistem tenaga listrik seperti kemampuan kapasitas panel *Circuit Breaker (CB)* atau Transformator, memperluas jaring distribusi sehingga tidak banyak yang dilakukan dalam peramalan beban jangka menengah.
3. Peramalan beban jangka pendek (*Sort Term Load Forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka jam beberapa jam sampai satu minggu. Dalam peramalan beban jangka pendek terdapat batas atas beban *maximum (Pmax)* dan batas bawah beban *minimum (Pmin)* yang ditentukan oleh peramalan beban jangka menengah. Peramalan beban jangka pendek paling banyak digunakan untuk operasional suatu sistem tenaga listrik.
4. Peramalan beban jangka sangat pendek (*Very Sort Term Load Forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka jam kurang dari satu jam (jam, menit, detik). Peramalan beban jangka sangat pendek digunakan untuk beberapa kasus tertentu (*special case*).

2.4 Teknik Peramalan Beban Jangka Sangat Pendek

Ada beberapa teknik peramalan beban jangka pendek[15], yang akan dipergunakan untuk melakukan peramalan beban jangka sangat pendek, yaitu :

1. *Stochastic Time Series*

Stochastic time series termasuk model peramalan beban jangka pendek yang populer digunakan seperti *Autoregressive Moving Average (ARMA)*, *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)*, *Box-Jenkins method*, dan lain-lain. Keuntungannya adalah kemudahan dalam pemahaman dan implementasi serta keakuratan hasilnya, sedangkan kerugiannya adalah jam komputasi yang lebih lama untuk identifikasi parameter.

2. *Multiple Linear Regression*

Multiple Linear Regression menggunakan pendekatan polynomial, adapun keuntungannya yaitu dapat memodelkan hubungan konsumsi beban dan faktor lainnya seperti cuaca, jenis hari, dan kelas pelanggan. Kerugiannya adalah sulit untuk menemukan hubungan fungsi antara pengaruh cuaca dengan permintaan beban

3. *Expert System*

Expert system adalah penggabungan dari aturan dan prosedur peramalan beban yang digunakan para ahli kedalam perangkat lunak (*Software*), kemudian secara otomatis membuat perkiraan tanpa bantuan orang lain. Kendalanya yaitu ketersediaan para ahli untuk peramalan beban yang di kodifikasi kedalam perangkat lunak (*Software*) sangat sedikit.

4. *Fuzzy Logic*

Fuzzy Logic (FL) merupakan metode yang dapat memodelkan ketidakpastian data (*Uncertainty*) karena sering dijumpai dalam kehidupan nyata. Hal ini dapat secara bersamaan menangani data numerik pengetahuan linguistik, adapun kendala yang dihadapi adalah pemahaman menyeluruh tentang variabel *Fuzzy* demikian juga pertimbangan yang baik untuk memilih aturan *Fuzzy* dan fungsi keanggotaan (*Membership Function*).

5. *Artificial Neural Networks (ANN)*
Artificial Neural Networks (ANNs) dapat melakukan permodelan non linier dan adaptasi (*Learning*) dengan tidak melakukan asumsi hubungan fungsional antara variabel cuaca dan beban. Kerugian yang ditemui antara lain ketidakmampuan suatu *ANN* untuk memberikan wawasan tentang sifat dari masalah yang dipecahkan dan menetapkan aturan untuk pemilihan topologi jaring optimal.
6. *Fuzzy Neural Network (FNN)*
Fuzzy neural network memiliki keunggulan untuk beberapa ketidakpastian (*Uncertainty*) dan output dihapuskan oleh *FL* sehingga dapat meningkatkan efektifitas *Artificial Neural Network (ANN)*. Kerugiannya adalah tidak mampu mengeneralisasi atau salah satu hanya menjawab apa yang tertulis dalam *rule base*, tidak *robust* dalam kaitannya dengan perubahan topologi dari sistem. Karena perubahan tersebut menuntut perubahan kembali *Rule Base*. Kerugian yang lain adalah ketergantungan dengan ahli untuk menentukan logika inferensi (*Fuzzy Inference System*).

2.5 Fuzzy Logic (FL)

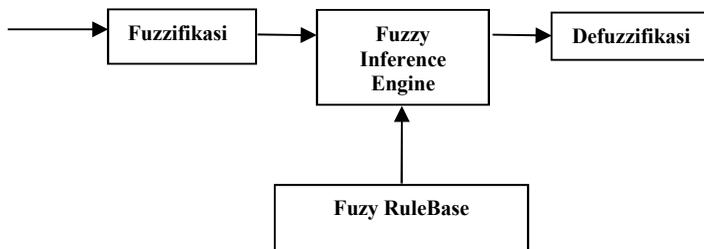
FL pertama kali dikenalkan oleh Professor Zadeh (*California University*) tahun 1965 dengan menjabarkan perhitungan matematika berdasarkan teori himpunan untuk menggambarkan ketidakjelasan dalam bentuk variabel linguistik, dalam arti lain teori *fuzzy logic* mengembangkan teori himpunan *boolean* (0 dan 1) menjadi himpunan yang memiliki nilai keanggotaan yang bersifat ketidakjelasan (antara 0 dan 1) sehingga *FL* juga disebut logika samar atau tidak jelas (*fuzzy*).

2.5.1 Fungsi Keanggotaan Himpunan Fuzzy type 1

Proses pemetaan data input himpunan crisp kedalam derajat keanggotaan yang memiliki batas-batas untuk menjadi himpunan *fuzzy* disebut Fuzzifikasi atau fungsi keanggotaan (*Membership Function*). Ada beberapa jenis model fungsi keanggotaan antara lain [15], fungsi keanggotaan segitiga, fungsi keanggotaan trapesium, dll.

2.5.2 Type-1 Fuzzy Inference System (T1FIS)

Fuzzy inference yaitu melakukan penalaran menggunakan *fuzzy input* dan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Struktur utama dari *type-1 fuzzy logic system* adalah seperti Gambar 2.7.[38] :



Gambar 2.7. Struktur *Type-1 Fuzzy Logic System*

Metode aturan *Fuzzy* pertama kali dikenalkan oleh Ebrahim Mamdani tahun 1975 yang dikenal dengan metode mamdani atau Max-Min terdapat lima tahapan untuk mendapatkan *output* yaitu [6]:

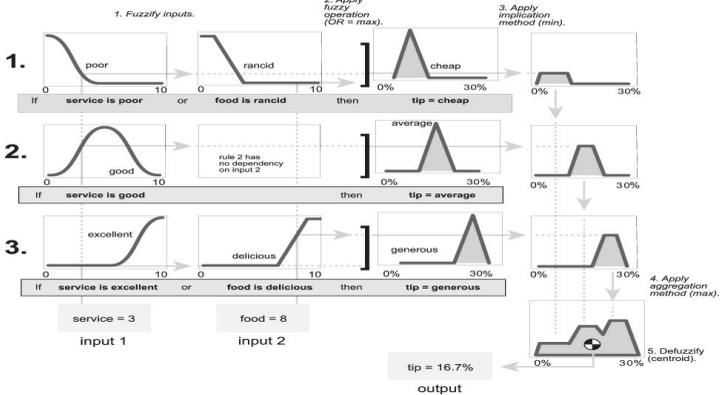
- a. Pembentukan himpunan Fuzzy (variabel input dan output)
- b. Operasi *Membership Function*
- c. Aplikasi fungsi implikasi (*Implication*), pada umumnya digunakan fungsi Min
- d. Komposisi aturan (*Agregation*)
- e. Penegasan (*Defuzzification*)

Kelima proses di atas dapat dilihat pada contoh kasus pemberian “Bonus” berdasarkan pelayanan dan makanan yang diberikan [8].

Pada Gambar 2.8. dapat dilihat input dari *FL* ada 2, yaitu : Pelayanan dan makanan sedangkan *output*-nya yaitu : Bonus. Pelayanan, makanan dan Bonus disebut dengan variabel. Antara Pelayanan, makanan dan Bonus memiliki hubungan. Di mana masing masing variabel memiliki hubungan dengan suatu aturan. Pada gambar tersebut diperoleh aturan sebagai berikut :

1. Jika Pelayanan BURUK atau jika Makanan TIDAK LEZAT maka bonus SEDIKIT.
2. Jika Pelayanan BAIK maka bonus CUKUP.

3. Jika Pelayanan BAIK atau jika makanan LEZAT maka bonus BANYAK.



Gambar 2.8. Type-1 Fuzzy Inference System Mamdani

Sehingga diperoleh hasil dari rule tersebut maka diperoleh nilai Bonus, sesuai dengan derajat keanggotaan masing – masing variabel. Output *Fuzzy* juga akan bergerak menyesuaikan dengan pergeseran variabel input.

Defuzzifikasi adalah proses pemetaan dari hasil daerah inferensi fuzzy ke daerah non *Fuzzy* (*Crisp*). Pada implementasi kontrol *Real Time Fuzzy*, proses *defuzzifikasi* digunakan *Center of Area* (*COA*).

Defuzzifikasi *center of area* menghasilkan pusat gravitasi dari distribusi aksi kontrol yang dinyatakan pada persamaan :

$$z^* = \frac{\sum_{k=1}^m V_k \mu_v \mathcal{O}_k}{\sum_{k=1}^m \mu_v \mathcal{O}_k} \quad (2.1)$$

z^* = nilai output

m = tingkat kuantisasi

V_k = elemen ke – k

μ_v = *membership degree* elemen pada fuzzy set v

2.5.3 Interval Type – 2 Fuzzy Logic (IT2-FL)

Konsep ketidakpastian dari himpunan *fuzzy type-2* pertama kali dikenalkan oleh Zadeh pada tahun 1975 sebagai pengembangan konsep *Ordinary Fuzzy Set* yaitu “*Fuzzy-Fuzzy*” atau *fuzzy type-1* yang difuzzykan lagi. Karena sebuah sistem logika *fuzzy type-1* sering kali basis pengetahuan yang digunakan untuk membangun aturan-aturan (*rules*) dalam sebuah *fuzzy logic system (FLS)* adalah tidak menentu.

Ada tiga alasan ketidaktentuan aturan-aturan dapat terjadi, yaitu [15]:

1. Kata yang digunakan sebagai *antecedents* dan *consequents* dari aturan-aturan bisa mempunyai makna yang berbeda pada orang yang berbeda.
2. *Consequents* yang diperoleh dari polling sekelompok ahli akan seringkali berbeda pada aturan yang sama dikarenakan para ahli belum tentu semua setuju pada aturan tersebut.
3. Data training yang mengandung banyak *noise*.

Ketidakpastian pada *antecedent* atau *consequent* diterjemahkan pada ketidakpastian fungsi keanggotaan *antecedent* atau *consequent*. *FL System Type-1* yang fungsi keanggotaannya berupa himpunan *Fuzzy Type-1*, tidak dapat secara langsung menyelesaikan ketidakpastian aturan *type-2 fuzzy logic system*, sedangkan *antecedent* atau *consequent* fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy type-2* mampu mengenai ketidakpastian aturan. Himpunan *fuzzy type-2* memiliki tingkat keanggotaan yang mereka sendiri adalah *fuzzy*. Tingkatan pada himpunan *fuzzy type-2* dapat berada pada subset keanggotaan sekunder. Sama dengan *Type-1 FLS*, *Type-2 FLS* juga meliputi fungsi keanggotaan *FIS* dan *Defuzzifikasi*. Perbedaannya adalah sebelum proses *defuzzifikasi* terdapat proses reduksi tipe (*Type Reduction*) yang memiliki beberapa metode algoritma seperti *Kernik Mendel Algorithm (KMA)*, *Enhance Kernik Mendel Algorithm (EKMA)*, *Enhance Kernik Mendel Algorithm with Initialization (EKMANI)*, *Iterative Algorithm with Stop Condition (IASC)*, *Enhance Iterative Algorithm with Stop Condition (EIASC)* [19][13][18].

2.5.4 Interval Type-2 Fuzzy Set

Sebuah *interval type-2 fuzzy set (IT2FS)* dilambangkan \tilde{A} dengan *Membership Function* $\mu_{\tilde{A}}$ dengan $x \in X$ dan $u \in [0,1]$, karakteristiknya dapat dikenali pada persamaan berikut [10][3] :

$$A = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{uA(x, u)}{(x, u)} \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (2.2)$$

x adalah variabel primer mempunyai domain X ; $u \in U$, variabel sekunder, mempunyai domain J_x untuk setiap $x \in X$; J_x disebut *primary membership* dari x . Ketidakpastian terhadap \tilde{A} dinyatakan dengan gabungan dari seluruh *primary membership* (J_x) disebut *footprint of uncertainty (FOU)* of \tilde{A} Sebagai mana pada gambar 2.9. Sedangkan persamaananya dapat dilihat sebagai berikut :

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} J_x = \{(x, u); u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (2.3)$$

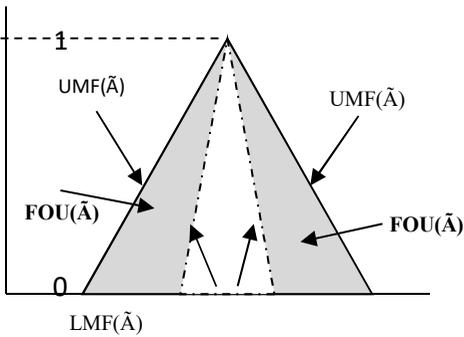
J_x adalah *Interval* dengan persamaan sebagai berikut :

$$J_x = \{(x, u); u \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)]\} \quad (2.4)$$

Dari persamaan 2.3 $FOU(\tilde{A})$ dapat diekspresikan dengan persamaan :

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)] \quad (2.5)$$

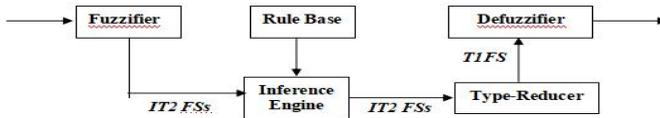
- J_x = *Primary membership* dari x
- $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$ = *Lower Membership Function* (LMF) dari \tilde{A}
- $\overline{\mu}_{\tilde{A}}$ = *Upper Membership Function* (LMF) dari \tilde{A}



Gambar 2.9.. FOU (warna abu-abu), LMF (garis putus-putus), UMF (garis solid)

2.5.5 Struktur *Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS)*

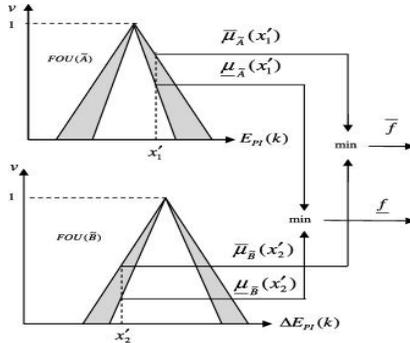
Pada Gambar 2.10. menunjukkan proses *IT2FLS* yaitu pemetaan dari nilai input himpunan *crisp* x menjadi nilai *output* yang dinyatakan dalam persamaan $Y=f(x)$.



Gambar 2.10. Struktur *Type-2 Fuzzy Logic System (T2-FLS)*

2.5.6 Operasi pada Fungsi Keanggotaan Fuzzy Interval Type-2 [23][10]

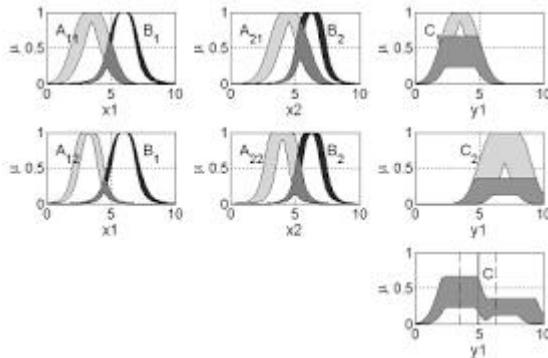
Operasi pada himpunan *fuzzy interval type-2* hampir sama dengan himpunan *fuzzy type-1*, hanya saja pada sistem logika *IT2-FL* operasi dilakukan pada dua interval yaitu atas (*UMF*) dan bawah (*LMF*) secara sekaligus. Operasi pada *Membership Function fuzzy interval type-2* dapat dilihat pada Gambar 2.11. :



Gambar 2.11. Operasi Himpunan *Fuzzy Interval Type-2 (IT2-FLS)*[10]

2.5.7 Interval Type-2 Fuzzy Inference System [20][22]

Fuzzy Inference System (FIS) type-2 hampir sama dengan *FIS type-1*, dengan menggunakan tahapan yang sama. Operasi dari *Fuzzy Inference System type-2* dapat dilihat pada kasus pemberian “tip” makanan dan *service* pada sebuah restoran seperti Gambar 2.12.:



Gambar 2.12. *Fuzzy Inference System Mamdani type-2*[20]

Pada gambar 2.12 dapat dilihat bahwa : terdapat 3 variabel yang sama sebagaimana penjelasan Gambar 2.11. tetapi terdapat perbedaan pada *FOU* atau bagian yang tebal pada sisi bawah.

2.5.8 Defuzzifikasi

Pada *Fuzzy Interval type-2* proses defuzzifikasi kontrol logika melalui *type-reducer* yang memiliki beberapa metode algoritma seperti *Kernik Mendel Algorithm (KMA)*, *Enhance Kernik Mendel Algorithm (EKMA)*, *Enhance Kernik Mendel Algorithm with Initialization (EKMANI)*, *Iterative Algorithm with Stop Condition (IASC)*, *Enhance Iterative Algorithm with Stop Condition (EIASC)* [25]. Proses defuzzifikasi dengan menggunakan *centroid* pada *IT2-FLS* telah diusulkan oleh Kernik Mendel.

2.5.8.1 Algoritma Kernik Mendel

Pada fuzzy interval type-2 proses pencarian centroid dilakukan pada *Upper Membership Function (UMF)* dan *Lower Membership Function (LMF)*. Metode pencarian ini dipersamakan oleh Kernik Mendel sebagai berikut [24][13][21] :

$$Y_{\text{Cent}}(x') = \bigcup_{\substack{f^n \in F^n(x') \\ y^n \leq y^n}} \frac{\sum_{n=1}^N f^n y^n}{\sum_{n=1}^N f^n} = [y^l, y^r]$$

$$y_l = \min_{k \in [1, N-1]} (2.14) \frac{\sum_{n=1}^k \bar{f}^n \underline{y}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n \underline{y}^n}{\sum_{n=1}^k \bar{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \underline{f}^n} \equiv \frac{\sum_{n=1}^L \bar{f}^n \underline{y}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n \underline{y}^n}{\sum_{n=1}^L \bar{f}^n + \sum_{n=L+1}^N \underline{f}^n}$$

$$y_r = \max_{k \in [1, N-1]} \frac{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n \bar{y}^n + \sum_{n=k+1}^N \bar{f}^n \bar{y}^n}{\sum_{n=1}^k \underline{f}^n + \sum_{n=k+1}^N \bar{f}^n} \equiv \frac{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n \bar{y}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n \bar{y}^n}{\sum_{n=1}^R \underline{f}^n + \sum_{n=R+1}^N \bar{f}^n}$$

switch point dari nilai L dan nilai R adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \underline{y}^L &\leq y^l \leq \underline{y}^{L+1} \\ \bar{y}^R &\leq y^r \leq \bar{y}^{R+1} \end{aligned}$$

A. Algoritma Kernik Mendel untuk mencari nilai y_l sebagai berikut:

1. Urutkan (sort) \underline{y}^n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) dalam penambahan order dan panggil \underline{y}^n yang sudah diurut berdasarkan nama. Tetapi $\underline{y}^1 \leq \underline{y}^2 \leq \dots \leq \underline{y}^N$. Cocokan pembobotan $F(x')$ dengan \underline{y}^n masing-masing. Kemudian beri nomor kembali sehingga indeks mereka sesuai dari penomorannya \underline{y}^n .

2. Inisialisasi f^n dengan cara :

$$f^n = \frac{f^n + \bar{f}^n}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

Kemudian hitung $y = \frac{\sum_{n=1}^N \underline{y}^n f^n}{\sum_{n=1}^N f^n}$.

3. Cari *switch point* k ($1 \leq k \leq N-1$) sehingga :

$$\underline{y}^k \leq y \leq \underline{y}^{k+1}$$

4. Set nilai f^n $f^n f(x) = \begin{cases} \bar{f}^n, & n \leq k \\ f^n, & n > k \end{cases}$

Kemudian hitung $y' = \frac{\sum_{n=1}^N \underline{y}^n f^n}{\sum_{n=1}^N f^n}$

5. Check jika $y' = y$. jika sama, maka stop dan set $y_l = y$ dan $L = k$ jika tidak kembali ke langkah 6.
6. Set $y = y'$ kemudian kembali ke langkah 3.

B. Algoritma Kernik Mendel untuk mencari nilai y_r sebagai berikut:

1. Urutkan (sort) \bar{y}^n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) dalam penambahan order dan panggil \bar{y}^n yang sudah diurut berdasarkan nama. Tetapi

$\bar{y}^{-1} \leq \bar{y}^{-2} \leq \dots \leq \bar{y}^{-N}$. Cocokkan pembobotan $F(x')$ dengan \bar{y}^{-n} masing-masing. Kemudian beri nomor kembali sehingga indeks mereka sesuai dari penomorannya \bar{y}^{-n} .

2. Inisialisasi f^n dengan cara :

$$f^n = \frac{f^n + \bar{f}^n}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots, N)$$

Kemudian hitung y

$$y = \frac{\sum_{n=1}^{N'} \bar{y}^n f^n}{\sum_{n=1}^N f^n}$$

3. Cari *switch point* k ($1 \leq k \leq N-1$) sehingga :

4. Set nilai $f^n = \bar{y}^{-k} \leq y \leq \bar{y}^{-k+1}$

Kemudian hitung $y' = \frac{\sum_{n=1}^N \bar{y}^{-n} f^n}{\sum_{n=1}^N f^n}$

5. Check jika $y' = y$. jika sama, maka stop dan set $yr = y$ dan $R = k$ jika tidak maka lanjut ke langkah 6
6. Set $y = y'$ kemudian kembali ke langkah 3

2.5.8.2 Perhitungan Centroid [11][12][16]

Setelah mendapatkan nilai yl dan yr , kemudian mencari nilai *centroid* dengan persamaan :

$$Centroid = \frac{(yl + yr)}{2}$$

Meskipun pencarian *centroid* tersebut merupakan proses iterasi, tetapi jumlah iterasi tidak akan melebihi N. Sebenarnya ada beberapa metode *type reduction* dan *defuzzification* tetapi yang paling mendekati hasilnya menggunakan metode Kernik Mendel.

2.6 FOU[9][7]

Metode optimisasi baru dalam himpunan footprint of uncertainty (FOU) termasuk dalam algoritma *traditional evolutionary* atau *heuristic papulation based* Di mana prosedur pencarian yang menggabungkan varian acak (*random*) dan pilihan [17]. Metode ini berdasarkan fase *Big Bang*, energi dissipasi (penghamburan) menghasilkan penyebaran dan pengacakan. Kemudian pada pengacakan partikel yang didistribusi akan diurutkan kembali. Secara garis besar metode meregenerasikan pengacakan titik (*Point*) pada fase *Big Bang* dan akan mengerucut ke point yang refresentatif via *Center of Mass* atau pendekatan biaya minimal pada fase lebih cepat konvergen dan *low cost computation* dibandingkan dengan *Genetic Algorithm*[7].

Adapun metode algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut [19][7][8][9]:

1. Inialisasi generation dari N kandidat dari hasil pengacakan pada ruangan pencarian.
2. Kalkulasikan atau hitung fungsi *fitness* dari semua kandidat solusi (cari nilai *cost function*)
3. Hitung *Center Of Mass* dengan persamaan berikut ini :

$$\bar{x}^c = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f^i} x^i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f^i}}$$

Kemudian best fitness yang sudah dihitung dijadikan sebagai *Center Of Mass*

4. Hitung kandidat baru yang menuju *Center Of Mass* dengan menambah atau mengalikan angka yang diacak, angka atau nilai akan berkurang setiap dilakukan iterasi dengan persamaan berikut :

$$x^{new} = x^c + lr / k$$

$x^c = \text{Center Of Mass}$
 $l = \text{Upper limit dari parameter}$
 $r = \text{Normal random}$
 $k = \text{Langkah iterasi}$
 $x^{new} = \text{Upper dan lower bounded}$

5. Kembali ke langkah 2 sampai kriteria sudah ketemu kemudian stop.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Saat fase penelitian ini dilakukan studi literatur dengan cara mencari bahan pustaka yang merupakan referensi dari topik yang diambil. Referensi yang dipakai berasal dari paper atau jurnal nasional dan internasional, tugas akhir dan buku-buku teks yang berkaitan dengan peramalan beban jangka sangat pendek yang akan diteliti. Pada penelitian ini literatur yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut :

1. Referensi yang berasal dari paper baik nasional maupun internasional yang berhubungan dengan peramalan beban jangka pendek (*Short Term Load Forecasting*).
2. Referensi dari buku-buku teks dan tugas akhir yang berkaitan dengan peramalan beban jangka sangat pendek.
3. Referensi dari paper nasional dan internasional tentang *FL* khususnya *IT2-FIS* dan penyelesaiannya
4. Referensi dari paper nasional dan international tentang optimisasi menggunakan *IT2-FIS*

3.2 Lokasi Penelitian

penelitian ini berlangsung secara akan mengkaji konsumsi tenaga listrik pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali. Tempat observasi dan pemngambilan data dilakukan pada tempat tersebut, kemudian akan dilakukan peramalan beban jangka sangat pendek *interval type-2 fuzzy inference system*. Proses persiapan, analisis, komputasi, pelaporan dan lain-lain dilakukan di laboratorium *Power System Operation dan Control (PSOC)*-ITS.

3.3 Alat yang digunakan

Pada penelitian ini diperlukan perangkat keras (*hardware*) berupa satu unit laptop lenovo dengan spesifikasi komputasi i7 dan perangkat lunak (*software*) berupa software *Matlab*, *Ms.excel* dan koneksi internet. Data mentah yang didapatkan dari PLN yang mencakup log sheet untuk *preprocessing*, *processing* dan *postprocessing*.

3.4 Pengumpulan Data dan Analisis

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kuantitatif beban listrik harian tiap 1 jam yang diamati dalam 30 menit dalam satuan *Megawatt* (MW). Pada sistem kelistrikan Jawa Bali untuk semua hari pada Jumat pertama, Jumat kedua, Jumat ketiga dan Jumat keempat bulan Oktober pada tahun 2013, 2014, 2015, 2016 dan 2017, dalam rentang jam selama 24 jam dengan data beban tiap 1 Jam

3.5 Tahap penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari persiapan (*pre-processing*), pengolahan (*processing*) dan lanjutan (*post-processing*). Tahapan penelitian tersebut akan dijelaskan sebagai berikut [20]:

3.5.1 Tahap Persiapan (*pre-processing*)

Tahapan persiapan yaitu persiapan data beban harian tiap 1 jam selama 24 jam dalam satu hari. Pada penelitian ini yang akan diteliti adalah jam beban yaitu mulai pukul 17.00 WIB sampai dengan pukul 22.00 WIB. Beban yang diambil yaitu pada hari Jumat pertama, Jumat kedua dan Jumat ketiga. Untuk mendapatkan nilai *Variation Load Difference* aktual dan data yang akurat untuk perhitungan yang lebih mudah, Sedangkan Jumat keempat adalah Jumat yang diramal. Adapun kegiatannya sebagai berikut :

1. Melakukan pengumpulan data beban listrik harian selama lima tahun pada sistem kelistrikan Jawa Bali. Kemudian data dikelompokkan menjadi data kelompok Jumat ke berapa selama 24 jam dengan interval 60 menit.
2. Identifikasi beban dicari pada hari Jumat yang diramal, yaitu Jumat keempat. Dengan jam analisis, Jumat ketiga, Jumat Kedy dan Jumat pertama

$$LA_{(t)} = \frac{L_{(j)F-3} + L_{(j)F-2} + L_{(j)F-1}}{3} \quad (3.1.)$$

Di mana :

- $LA(i)$ = (*Load Average*) Beban rata-rata pada Jumat sebelum Jumat diramal
- $L_{(i)F-3}$ = Beban pada Jumat ketiga
- $L_{(i)F-2}$ = Beban pada Jumat kedua
- $L_{(i)F-1}$ = Beban pada Jumat kesatu

Yang dimasukkan pada L adalah waktu di mana peramalan akan dilakukan.

3. Menghitung perbedaan beban yang dicari (*Load Difference*) pada waktu yang akan diramal

$$LD_{(i)} = \frac{LF_{(i)} - LA_{(i)}}{LA_{(i)}} \times 100 \quad (3.2)$$

Di mana :

- $LF_{(i)}$ = (*Load Forecasting*) Beban yang diramal pada Jumat keempat
- $LA_{(i)}$ = (*Load Average*) Beban rata-rata pada Jumat sebelum Jumat diramal
- $LD_{(i)}$ = (*Load Difference*) Keragaman beban

4. Karakteristik perbedaan beban pada waktu beban yang khas atau $TLD_{(i)}$ dengan cara merata-rata beban puncak $TLD_{(i)}$ yang sama pada tahun sebelumnya.

$$TLD_{(i)} = \frac{LD_{(i-1)} - LD_{(i-2)}}{2} \quad (3.3)$$

5. Mencari Variasi Beban pada waktu yang akan diramal (*Variation Load Difference*).

$$VLD_{(i)} = LD_{(i)} - TLD_{(i)} \quad (3.4)$$

3.5.2 Tahap Pengolahan (processing)

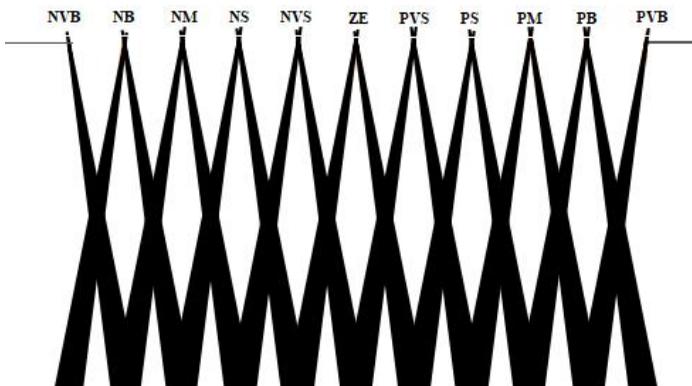
Pada tahap pengolahan yaitu memodelkan peramalan beban jangka sangat pendek pada jam yang akan diramal menggunakan *IT2-FIS* sebagai berikut :

1. Membuat fungsi keanggotaan (*Membership Function*) input *IT-2 FIS* yaitu input X dan Y , dan fungsi keanggotaan output yaitu Z untuk hari yang akan diramal dengan ketentuan sebagai berikut :
 - X : $VLD(i)$ jam diramal yang sama pada tahun sebelum tahun peramalan.
 - Y : $VLD(i)$ jam (berdekatan) dalam jenis jam yang sama pada tahun peramalan.
 - Z : *Forecast VLD(i)* jam yang akan diramal.
2. Melakukan optimisasi terhadap fungsi keanggotaan dari *IT2-FLS* yaitu *antecedent* (X, Y) dan *consequent* (Z) menggunakan *Algoritma BBBC* untuk mendapatkan nilai terbaik dari *FOU*.
3. Membuat aturan *Fuzzy (Fuzzy Rules) IT2-FIS* sebagai berikut :
 - IF X is A_i AND Y is B_i THEN Z is C_i
4. Menerapkan operasi *AND* pada *IT2-FIS*
5. Menerapkan fungsi implikasi *MIN* pada *fuzzy rules*
6. Menerapkan komposisi *MAX* pada masing-masing hasil implikasi *fuzzy rules*
7. Menghitung nilai defuzifikasi melalui *type reducer* menggunakan *Algoritma Kernik Mendel* sehingga mendapatkan nilai *Forecast VLD*.

Operasi himpunan *interval type-2 fuzzy* identik dengan himpunan *fuzzy type1*, tetapi pada *interval type-2 fuzzy* dilakukan dua kali fungsi keanggotaan *fuzzy type-1*. Berikut variabel input (X, Y) dan variabel output (Z) terdiri dari 11 himpunan Fuzzy adalah sebagai berikut :

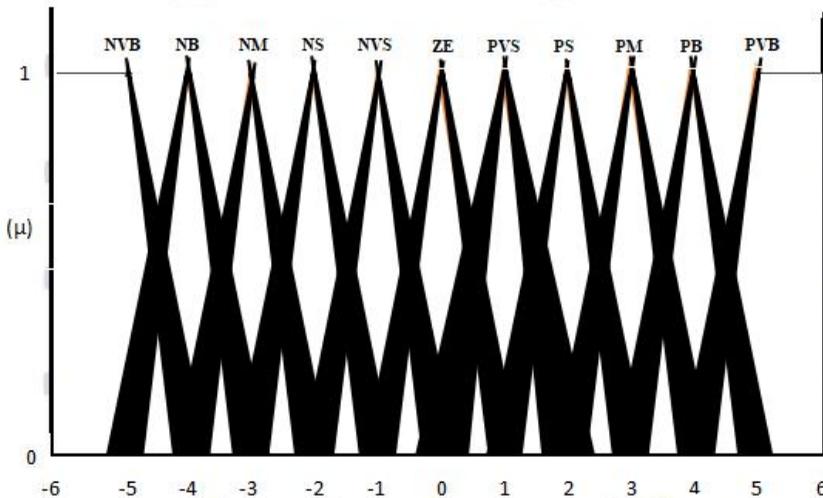
- | | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| 1) <i>Negative Very Big (NVB)</i> | dengan range nilai -6 s/d -4 |
| 2) <i>Negative Big (NB)</i> | dengan range nilai -5 s/d -3 |
| 3) <i>Negative Medium (NM)</i> | dengan range nilai -4 s/d -2 |
| 4) <i>Negative Small (NS)</i> | dengan range nilai -3 s/d -1 |
| 5) <i>Negative Very Small (NVS)</i> | dengan range nilai -2 s/d 0 |
| 6) <i>Zero (ZE)</i> | dengan range nilai -1 s/d 1 |
| 7) <i>Positive Very Small (PVS)</i> | dengan range nilai 0 s/d 2 |
| 8) <i>Positive Small (PS)</i> | dengan range nilai 1 s/d 3 |
| 9) <i>Positive Medium (PM)</i> | dengan range nilai 2 s/d 4 |
| 10) <i>Positive Big (PB)</i> | dengan range nilai 3 s/d 5 |
| 11) <i>Positive Very Big (PVB)</i> | dengan range nilai 4 s/d 6 |

Himpunan variabel FL di atas dapat ditunjukkan sebagaimana pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Himpunan Variabel $IT2-FIS$

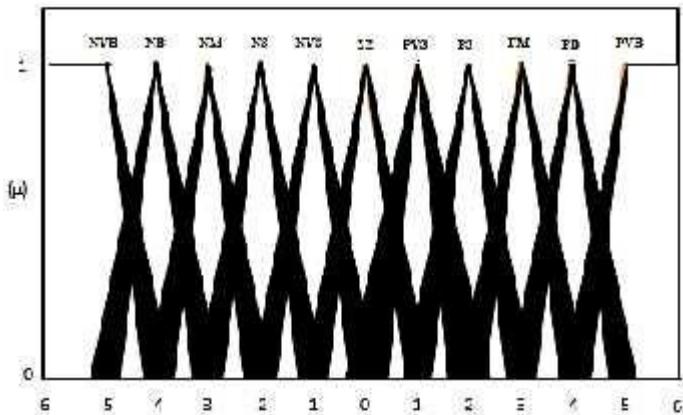
Perbandingan *antecedent* (X,Y) dan *consequent* (Z) dari peneliti sebelumnya dengan optimisasi *Algoritma BBBC* dilihat fungsi keanggotaan *fuzzy* pada Gambar 3.2 s/d 3.5. sebagai berikut :



Gambar 3.2. Fungsi Keanggotaan Untuk Variable X Dan Y Dengan Probabilitas FOU 50%

Program untuk variabel X dan Y dengan probabilitas 50 % pada *software MATLAB* adalah sebagai berikut :

```
NVB = [-6 -6 -5 -4.25 -6 -6 -5 -3.75 6 ] ;
NB = [-5.25 -4 -3.25 -4.75 -4 -2.75] ;
NM = [-4.25 -3 -2.25 -3.75 -3 -1.75] ;
NS = [-3.25 -2 -1.25 -2.75 -2 -0.75] ;
NVS = [-2.25 -1 -0.25 -1.75 -1 0.25] ;
ZE = [-1.25 0 0.75 -0.75 0 1.25] ;
PVS = [-0.25 1 1.75 0.25 1 2.25] ;
PS = [ 0.75 2 2.75 1.25 2 3.25] ;
PM = [ 1.75 3 3.75 2.25 3 4.25] ;
PB = [ 2.75 4 4.75 3.25 4 5.25] ;
PVB = [ 3.75 5 6 6 4.25 5 6 6 6] ;
```

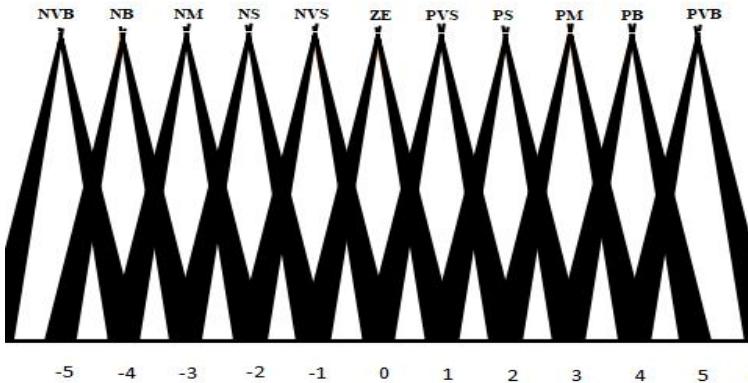


Gambar 3.3 Fungsi Keanggotaan untuk variable X dan Y Dioptimasi

Pada peneliti sebelumnya FOU didesain dalam kisaran ketidakpastian 50% dari batas atas dan batas bawah fungsi keanggotaan *fuzzy type-1*. Pada penelitian ini terdapat enam kandidat ketidakpastian FOU *antecedent* dan *consequent* yang dioptimisasi menggunakan Probabilitas 44%, 46%, 48%, 50%, 52%, dan 54% dengan *objective function* ditentukan sebesar

50%. Hasil optimisasi menggunakan *software MATLAB* untuk variabel X dan Y adalah sebagai berikut :

```
NVB =[-6 -6 -5 -4.2452 -6 -6 -5 -3.7548 6 ] ;
NB =[-5.2474 -4 -3.2474 -4.7526 -4 -2.7526] ;
NM =[-4.2484 -3 -2.2484 -3.7516 -3 -1.7516] ;
NS =[-3.2512 -2 -1.2512 -2.7448 -2 -0.7488] ;
NVS =[-2.2025 -1 -0.2025 -1.7975 -1 0.2975] ;
ZE =[-1.2450 0 0.7550 -0.7550 0 1.2450] ;
PVS =[-0.2875 1 1.7125 0.2875 1 2.2875] ;
PS =[ 0.7612 2 2.7612 1.2288 2 3.2388] ;
PM =[ 1.7584 3 3.7584 2.2416 3 4.2416] ;
PB =[ 2.7574 4 4.7574 3.2426 4 5.2426] ;
PVB =[ 3.7559 5 6 6 4.2441 5 6 6 6] ;
```



Gambar 3.4. Probabilitas FOU 50%

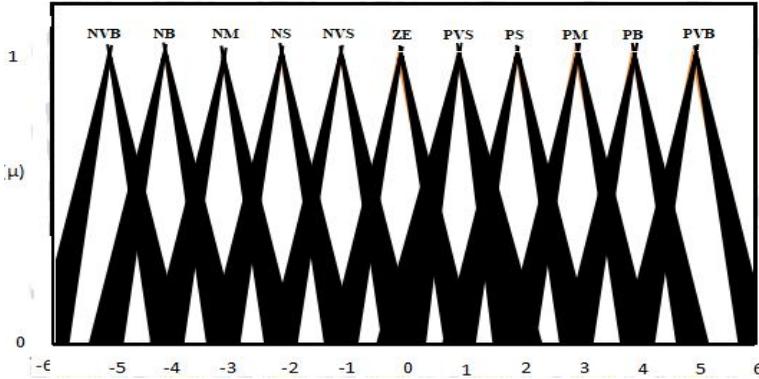
Program untuk variabel Z dengan probabilitas 50 % pada *software MATLAB* adalah sebagai berikut :

```
NVB =[-6.25 -5 -4.25 -5.75 -5 -3.75] ;
NB =[-5.25 -4 -3.25 -4.75 -4 -2.75] ;
NM =[-4.25 -3 -2.25 -3.75 -3 -1.75] ;
NS =[-3.25 -2 -1.25 -2.75 -2 -0.75] ;
NVS =[-2.25 -1 -0.25 -1.75 -1 0.25] ;
```

```

ZE = [-1.25 0 0.75 -0.75 0 1.25];
PVS = [-0.25 1 1.75 0.25 1 2.25];
PS = [ 0.75 2 2.75 1.25 2 3.25];
PM = [ 1.75 3 3.75 2.25 3 4.25];
PB = [ 2.75 4 4.75 3.25 4 5.25];
PVB = [ 3.75 5 5.75 4.25 5 6.25];

```



Gambar 3.5. Fungsi Keanggotaan untuk variable Z Dioptimasi

Hasil optimisasi untuk variabel Z menggunakan *software MATLAB* adalah sebagai berikut :

```

NVB = [-6.2469 -6 -4.2469 -5.7531 -5 -3.7531];
NB = [-5.2474 -4 -3.2474 -4.7526 -4 -2.7526];
NM = [-4.2484 -3 -2.2484 -3.7516 -3 -1.7516];
NS = [-3.2512 -2 -1.2512 -2.7448 -2 -0.7488];
NVS = [-2.2025 -1 -0.2025 -1.7975 -1 0.2975];
ZE = [-1.2450 0 0.7550 -0.7550 0 1.2450];
PVS = [-0.2875 1 1.7125 0.2875 1 2.2875];
PS = [ 0.7612 2 2.7612 1.2288 2 3.2388];
PM = [ 1.7584 3 3.7584 2.2416 3 4.2416];
PB = [ 2.7574 4 4.7574 3.2426 4 5.2426];
PVB = [ 3.7569 5 5.7569 4.2431 5 6.2431];

```

3.5.2.1. Himpunan Variabel Fuzzy

Ada 11 aturan dasar (*Rule Base*) pada tahun peramalan 2016 dan 2017, Himpunan variabel input Fuzzy (X, Y) dari *VLD* hari libur nasional untuk masing-masing linguistik derajat keanggotaan variabel *input fuzzy* (X, Y) secara matematika dijabarkan sebagai berikut :

$$\mu^{X_{NVB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \geq -4 \\ -4 - n & ; -5 \leq n \leq -4 \\ 1 & ; n \leq -5 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{NB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -5 \text{ atau } n \geq -3 \\ n+5 & ; -5 \leq n \leq -4 \\ -3 - n & ; -4 \leq n \leq -3 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{NM}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -4 \text{ atau } n \geq -2 \\ n+4 & ; -4 \leq n \leq -3 \\ -2 - n & ; -3 \leq n \leq -2 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{NS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -3 \text{ atau } n \geq -1 \\ n+3 & ; -3 \leq n \leq -2 \\ -1 - n & ; -2 \leq n \leq -1 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{NS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -2 \text{ atau } n \geq 0 \\ n+2 & ; -2 \leq n \leq -1 \\ -n & ; -1 \leq n \leq 0 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{ZE}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -1 \text{ atau } n \geq 1 \\ n+1 & ; -1 \leq n \leq 0 \\ 1-n & ; 0 \leq n \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{PVS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 0 \text{ atau } n \geq 2 \\ n & ; 0 \leq n \leq 1 \\ 2-n & ; 1 \leq n \leq 2 \end{cases}$$

$$\mu^{X_{PS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 1 \text{ atau } n \geq 3 \\ n-1 & ; 1 \leq n \leq 2 \\ 3-n & ; 2 \leq n \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PM}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 2 \text{ atau } n \geq 4 \\ n-2 & ; 2 \leq n \leq 3 \\ 4-n & ; 3 \leq n \leq 4 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 3 \text{ atau } n \geq 5 \\ n-3 & ; 3 \leq n \leq 4 \\ 5-n & ; 4 \leq n \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PVB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 4 \\ n-4 & ; 4 \leq n \leq 5 \\ 1 & ; n \geq 5 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan untuk output *Fuzzy (Z)* yang secara matematika dijabarkan sebagai berikut:

$$\mu_{X_{NVB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -6 \text{ atau } n \geq -4 \\ n+6 & ; -6 \leq n \leq -5 \\ -4-n & ; -5 \leq n \leq -4 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{NB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -5 \text{ atau } n \geq -3 \\ n+5 & ; -5 \leq n \leq -4 \\ -3-n & ; -4 \leq n \leq -3 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{NM}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -4 \text{ atau } n \geq -2 \\ n+4 & ; -4 \leq n \leq -3 \\ -2-n & ; -3 \leq n \leq -2 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{NS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -3 \text{ atau } n \geq -1 \\ n+3 & ; -3 \leq n \leq -2 \\ -1-n & ; -2 \leq n \leq -1 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{NVS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -2 \text{ atau } n \geq 0 \\ n+2 & ; -2 \leq n \leq -1 \\ -n & ; -1 \leq n \leq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{ZE}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -1 \text{ atau } n \geq 1 \\ n+1 & ; -1 \leq n \leq 0 \\ 1-n & ; 0 \leq n \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PVS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 0 \text{ atau } n \geq 2 \\ n & ; 0 \leq n \leq 1 \\ 2-n & ; 1 \leq n \leq 2 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PS}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 1 \text{ atau } n \geq 3 \\ n-1 & ; 1 \leq n \leq 2 \\ 3-n & ; 2 \leq n \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PM}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 2 \text{ atau } n \geq 4 \\ n-2 & ; 2 \leq n \leq 3 \\ 4-n & ; 3 \leq n \leq 4 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 3 \text{ atau } n \geq 5 \\ n-3 & ; 3 \leq n \leq 4 \\ 5-n & ; 4 \leq n \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{X_{PVB}}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 4 \\ n-4 & ; 4 \leq n \leq 5 \\ 1 & ; n \geq 5 \end{cases}$$

3.5.2.2. Aturan Fuzzy (Fuzzy Rules)

Dikarenakan peramalan pada penelitian ini dilakukan pada waktu beban puncak yaitu mulai jam 18.00 sampai dengan pukul 21.30 dengan interval waktu 1 jam yaitu : 18.00; 19.00; 20.00; 21.00 dan 22.00, maka dapat dibuat 9 aturan *Fuzzy (Fuzzy Rules)*. Aturan *Fuzzy* ini dibuat dengan mencari nilai derajat keanggotaan dengan fungsi maksimum. Dari fungsi tersebut di konversi dari nilai derajat keanggotaan peramalan tahun 2016 dan tahun 2017.

3.5.2.3. FOU

Hasil proses dengan menggunakan *IT2-FIS* akan dilakukan optimasi pada *FOU* nya. Pada penelitian ini terdapat enam kandidat ketidakpastian *FOU antecedent* dan *consequent* yaitu Probabilitas 44%, 46%, 48%, 50%, 52%, dan 54% dengan *objective function* ditentukan sebesar 50%.

3.5.3 Tahap Lanjutan (*post-processing*)

Pada tahap lanjutan yaitu mencari nilai beban pada waktu diramal dan *error* peramalan dari *Forecast VLD*, adapun kegiatannya sebagai berikut :

1. Menghitung perbedaan nilai beban pada waktu diramal (*Forecast Load Difference*) untuk jam yang diramal :

$$\text{Forecast LD}_{(i)} = \text{Forecast VLD}_{(i)} + \text{TLD}_{(i)} \quad (3.5)$$

2. Menghitung Daya hasil peramalan (*Forecast Power (FP)*), dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{FP}_{(i)} = \text{LA}_{(i)} + \frac{\text{FLD}_{(i)} \times \text{LA}_{(i)}}{100} \quad (3.6)$$

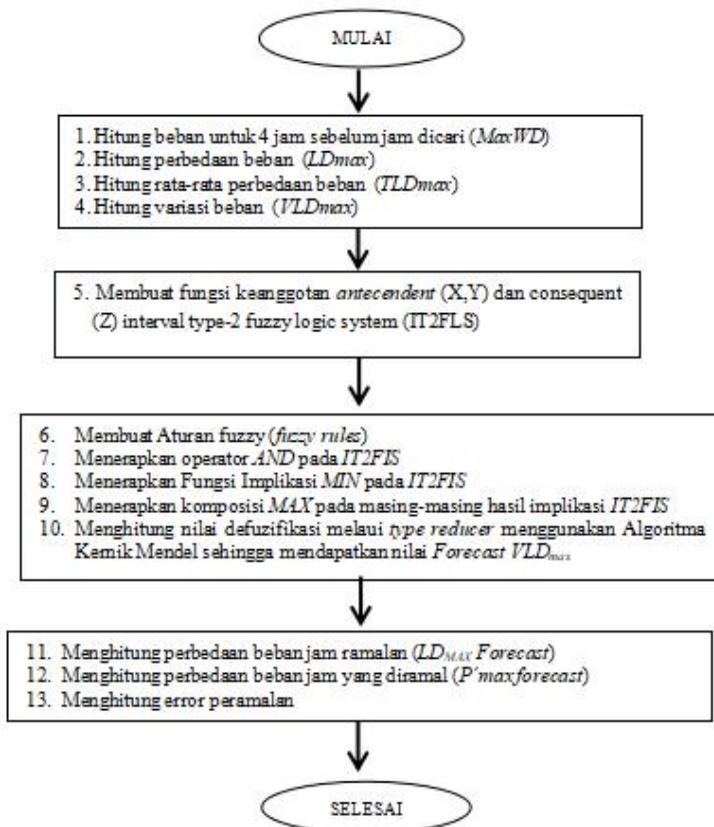
3. Menghitung *error* hasil peramalan :

$$\text{Error\%}_{(i)} = \frac{\text{FP}_{(i)} - \text{AP}_{(i)}}{\text{AP}_{(i)}} \times 100\% \quad (3.7)$$

Dengan menggunakan Persamaan 3.7, maka diperoleh nilai *Error* dalam % pada perhitungan analisis *IT1-FIS*; *IT2-FIS* Jika nilai *Error* diperoleh pada tiap jamnya, maka dengan melakukan rata-rata perhitungannya akan diperoleh nilai *Mean Absolut Percentage Errornya (MAPE)* nya.

3.6 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN OPTIMISASI PERAMALAN JANGKA SANGAT PENDEK DENGAN MENGGUNAKAN IT2- FIS

4.1. Pengolahan Data Beban

Pada penelitian ini diambil data awal pembebanan listrik sistem Jawa Bali. Data pembebanan diambil pada Jumat Pertama, Jumat kedua, Jumat ketiga dan Jumat Keempat pada bulan oktober mulai tahun 2013 sampai dengan tahun 2017. Data pada Jumat pertama, Jumat kedua dan Jumat ketiga adalah data yang dianalisis untuk menentukan data yang diramal pada Jumat keempat.

Data Real pembebanan pada masing masing – masing tahun berketepatan dengan hari Jumat pertama, Jumat kedua, Jumat ketiga dan Jumat keempat adalah sebagaimana pada tabel 4.1. Pada tabel tersebut terdapat tanggal real dari data beban yang diambil mulai tahun 2013. Bentuk susunan beban yang semacam itu adalah bentuk awal sebagaimana data yang di berikan oleh *PT. PLN P2B*.

Data tersebut dikumpulkan dicari sesuai yang diperlukan untuk analisis, yaitu data pembebanan jumat pertama, kedua, ketiga dan keempat pada tahun 2013 sampai dengan tahun 2017, pada waktu beban puncak (*WBP*). Sistem pembebanan di Indonesia dibagi menjadi 2 pembebanan, yaitu pembebanan waktu beban puncak (*WBP*) dan diluar waktu beban puncak (*LWBP*).

Masing – masing kelompok beban yang dibagi menjadi 2 bagian waktu tersebut memiliki karakteristik. Pembebanan saat malam hari mempunyai nilai yang cukup tinggi dikarenakan banyak kegiatan – kegiatan yang dilaksanakan pada saat malam hari. Kegiatan yang dilaksanakan di malam hari masih lebih tinggi dari kegiatan di siang hari. Kegiatan di siang hari adalah kegiatan yang berkaitan dengan proses industri.

Tabel 4.1. Pembebanan dan Tanggal Untuk Analisis Pada Tahun 2013

beban Jumat kesatu okt tanggal 4 Okt 2013									
	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30
MW	21.078,26	22.215,57	22.262,71	22.141,64	22.009,02	21.924,67	21.665,60	21.335,91	20.889,71
beban Jumat kedua okt tanggal 11 Okt 2013									
	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30
MW	21.304,92	22.145,91	22.132,62	22.068,45	21.911,98	21.807,14	21.594,28	21.266,36	20.695,91
beban Jumat ketiga okt tanggal 18 Okt 2013									
	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30
MW	21.740,95	22.153,90	21.997,23	22.001,77	21.867,85	21.928,49	21.652,08	21.323,16	20.854,26
beban Jumat keempat okt tanggal 25 Okt 2013									
	17.30	18.00	18.30	19.00	19.30	20.00	20.30	21.00	21.30
MW	21.549,77	22.446,90	22.126,08	22.168,47	21.899,62	21.800,85	21.757,99	21.179,30	20.779,69

Pada penelitian ini waktu *WBP* dimaksud, yaitu mulai pukul 17.30; 18.00; 18.30; 19.00; 19.30; 20.00; 20.30; 21.00 dan 21.30. Dari tabel pembebanan dan tanggal di atas, dapat dilakukan resume data pembebanan per Jumat bulan Oktober per tahun sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.2. sampai dengan 4.6.

Tabel 4.2. Data Pembebanan Oktober Tahun 2013

Pukul	Jumat-3	Jumat-2	Jumat-1	LF
17.30	21.078,26	21.304,92	21.740,95	21.549,77
18.00	22.215,57	22.145,91	22.153,90	22.446,90
18.30	22.262,71	22.132,62	21.997,23	22.126,08
19.00	22.141,64	22.068,45	22.001,77	22.168,47
19.30	22.009,02	21.911,98	21.867,85	21.899,62
20.00	21.924,67	21.807,14	21.928,49	21.800,85
20.30	21.665,60	21.594,28	21.652,08	21.757,99
21.00	21.335,91	21.266,36	21.323,16	21.179,30
21.30	20.889,71	20.695,91	20.854,26	20.779,69

Tabel 4.3. Data Pembebanan Oktober Tahun 2014

Pukul	Jumat-3	Jumat-2	Jumat-1	LF
17.30	21.925,41	22.133,11	23.140,96	22.264,34
18.00	22.636,60	22.901,87	23.879,98	23.036,11
18.30	22.459,62	22.821,94	23.620,74	22.936,70
19.00	22.514,09	22.704,61	23.616,65	22.741,60
19.30	22.598,62	22.941,31	23.499,58	22.723,65
20.00	22.467,44	22.779,65	23.285,09	22.461,54
20.30	22.250,45	22.636,61	23.115,79	22.027,31
21.00	21.777,09	22.286,85	22.575,60	21.953,24
21.30	21.294,38	21.548,88	21.920,54	21.331,52

Tabel 4.4. Data Pembebanan Oktober Tahun 2015

Pukul	Jumat-3	Jumat-2	Jumat-1	LF
17.30	22.341,67	22.682,46	22.501,49	22.827,34
18.00	23.305,32	23.447,15	23.471,72	23.546,15
18.30	23.069,33	23.265,53	23.320,30	23.340,42
19.00	23.041,64	23.136,51	23.145,77	23.415,53
19.30	22.991,50	23.094,16	23.044,15	23.318,23
20.00	22.728,37	22.936,65	22.869,35	23.216,36
20.30	22.535,49	22.534,01	22.646,73	22.783,93
21.00	22.057,01	22.082,91	22.126,74	22.367,77
21.30	21.495,67	21.539,79	21.481,37	21.687,59

Tabel 4.5. Data Pembebanan Oktober Tahun 2016

Pukul	Jumat-3	Jumat-2	Jumat-1	LF
17.30	23.654,00	23.308,10	23.588,81	23.389,96
18.00	24.339,84	23.810,72	24.132,61	23.549,40
18.30	23.936,75	23.602,36	23.830,92	23.231,48
19.00	23.838,27	23.350,87	23.635,96	23.085,77
19.30	23.763,27	23.348,21	23.477,65	23.078,29
20.00	23.628,02	23.162,51	23.295,47	22.710,10
20.30	23.195,96	22.661,36	23.006,30	22.415,55
21.00	22.641,35	22.276,04	22.595,39	21.911,92
21.30	22.057,56	21.545,51	21.904,09	21.347,10

Tabel 4.6. Data Pembebanan Oktober Tahun 2017

Pukul	Jumat-3	Jumat-2	Jumat-1	LF
17.30	24.581,39	24.987,75	24.369,17	24.922,55
18.00	25.413,99	25.459,39	25.147,77	25.213,52
18.30	24.883,45	25.168,86	24.865,09	24.971,09
19.00	24.809,42	25.007,72	24.702,20	24.666,76
19.30	24.797,64	24.577,78	24.636,14	24.599,17
20.00	24.640,52	24.413,92	24.444,91	24.314,79
20.30	24.463,31	23.981,52	24.121,06	24.046,51
21.00	23.876,46	23.650,05	23.571,18	23.673,53
21.30	23.399,22	23.323,86	22.976,22	22.946,42

Pada Tabel 4.2 sampai dengan tabel 4.6 nampak pembebanan sistem Jawa Bali setiap tahun pada jam yang sama mengalami kenaikan. Sedangkan antara Jumat pertama, Jumat kedua, Jumat ketiga dan Jumat keempat juga tidak sama, ada perbedaan.

Setelah mendapatkan data pembebanan sebagaimana di atas, maka langkah selanjutnya adalah mencari beban rata-rata ($LA_{(i)}$) pada waktu Jumat diramal dengan analisis analisis Jumat pertama, Jumat kedua dan Jumat ketiga pada tahun-tahun sebelumnya. Dengan memasukkan data pada persamaan (3.1):

$$LA_{(i)} = \frac{L_{(i)F-3} + L_{(i)F-2} + L_{(i)F-1}}{3}$$

Penentuan LA untuk tahun 2013, pada pukul 17.30 WIB adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & LA_{(2013(17.30))} \\
 &= \frac{L_{(2013(17.30))F-3} + L_{(2013(17.30))F-2} + L_{(2013(17.30))F-1}}{3} \\
 & LA_{(2013(17.30))} = \frac{21.078,26 + 21.304,92 + 21.704,95}{3}
 \end{aligned}$$

$$LA_{(2013(17.30))} = 21.374,71 \text{ MW}$$

Sesudah dihitung nilai identifikasi jamnya ($LA(i)$), maka langkah selanjutnya adalah menghitung perbedaan beban (Load Difference nya ($LD(i)$)). Perhitungan ini dengan dilakukan dengan mengurangi nilai Beban pada waktu diramal (LF- Load Forecasting) dengan nilai Beban rata-rata pada jam diramal dan dibagi dengan LF nya. Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan

$$LD_{(2013)} = \frac{LF_{(2013)} - LA_{(2013)}}{LA_{(2013)}} \times 100$$

Dengan perhitungan pada Oktober tahun 2013 pada pukul 17.30 WIB sebagai berikut:

$$\begin{aligned} LD_{(2013(17.30))} &= \frac{LF_{(2013(17.30))} - LA_{(2013(17.30))}}{LA_{(2013(17.30))}} \times 100 \\ LD_{(2013(17.30))} &= \frac{21.549,77 - 21.374,71}{21.374,71} \times 100 \\ LD_{(2013(17.30))} &= 0,82 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh hasil identifikasi jam (LA) dan perbedaan beban (LD) untuk tahun 2013 pada waktu yang lain diperoleh hasil sebagaimana tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai LA dan LD Untuk Tahun 2013

Pukul	LA	LD
17.30	21.374,71	0,82
18.00	22.171,79	1,24
18.30	22.130,85	(0,02)
19.00	22.070,62	0,44
19.30	21.929,62	(0,14)
20.00	21.886,77	(0,39)
20.30	21.637,32	0,56
21.00	21.308,48	(0,61)
21.30	20.813,29	(0,16)

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh hasil identifikasi waktu (*LA*) dan perbedaan beban (*LD*) untuk tahun 2014 pada waktu yang lain diperoleh hasil sebagaimana tabel 4.8.

Tabel 4.8. Nilai *LA* dan *LD* Untuk Tahun 2014

Pukul	<i>LA</i>	<i>LD</i>
17.30	22.399,83	(0,60)
18.00	23.139,48	(0,45)
18.30	22.967,43	(0,13)
19.00	22.945,12	(0,89)
19.30	23.013,17	(1,26)
20.00	22.844,06	(1,67)
20.30	22.667,62	(2,82)
21.00	22.213,18	(1,17)
21.30	21.587,93	(1,19)

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh hasil identifikasi waktu rata-rata (*LA*) dan perbedaan beban (*LD*) untuk tahun 2015 pada waktu yang lain diperoleh hasil sebagaimana tabel 4.9.

Tabel 4.9. Nilai *LA* dan *LD* Untuk Tahun 2015

Pukul	<i>LA</i>	<i>LD</i>
17.30	22.508,54	1,42
18.00	23.408,06	0,59
18.30	23.218,39	0,53
19.00	23.107,97	1,33
19.30	23.043,27	1,19
20.00	22.844,79	1,63
20.30	22.572,08	0,94
21.00	22.088,89	1,26
21.30	21.505,61	0,85

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh hasil identifikasi waktu (*LA*) dan perbedaan beban (*LD*) untuk tahun 2016 pada waktu yang lain diperoleh hasil sebagaimana tabel 4.10.

Tabel 4.10. Nilai *LA* dan *LD* Untuk Tahun 2016

Pukul	<i>LA</i>	<i>LD</i>
17.30	22.508,54	1,42
18.00	23.408,06	0,59
18.30	23.218,39	0,53
19.00	23.107,97	1,33
19.30	23.043,27	1,19
20.00	22.844,79	1,63
20.30	22.572,08	0,94
21.00	22.088,89	1,26
21.30	21.505,61	0,85

Dari perhitungan di atas, maka diperoleh hasil beban rata-rata (*LA*) dan perbedaan beban (*LD*) untuk tahun 2017 pada waktu yang lain diperoleh hasil sebagaimana tabel 4.11.

Tabel 4.11. Nilai *LA* dan *LD* Untuk Tahun 2017

Pukul	<i>LA</i>	<i>LD</i>
17.30	24.646,10	1,12
18.00	25.340,38	(0,50)
18.30	24.972,47	(0,01)
19.00	24.839,78	(0,70)
19.30	24.670,52	(0,29)
20.00	24.499,78	(0,76)
20.30	24.188,63	(0,59)
21.00	23.699,23	(0,11)
21.30	23.233,10	(1,23)

Pada tabel 4.11 sampai dengan 4.15 nilai perbedaan beban (LD) akan di proses lebih lanjut untuk mendapatkan nilai karakteristik perbedaan beban pada jam beban yang khas atau $TLD(i)$ dengan cara merata-rata beban puncak $TLD(i)$ yang sama pada tahun-tahun sebelumnya. Dengan menggunakan persamaan 3.3:

$$TLD_{(i)} = \frac{LD_{(i-1)} - LD_{(i-2)}}{2}$$

Untuk TLD tahun 2015, diperoleh dari nilai LD tahun 2014 dan tahun 2013 pada pukul 17.30 dihitung. Untuk waktu yang lain dipergunakan dengan cara yang sama, sehingga akan diperoleh hasil untuk TLD tahun 2016 dan 2017 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.16. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai variasi beban (VLD) pada jam yang akan diramal. Nilai VLD diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.4:

$$VLD_{(i)} = LD_{(i)} - TLD_{(i)}$$

Di mana VLD tahun 2015 pada pukul 17.30 dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$VLD_{(2015(17.30))} = LD_{(2015(17.30))} - TLD_{(2015(17.30))}$$

$$VLD_{(2015(17.30))} = 1,42 - 0,11$$

$$VLD_{(2015(17.30))} = 1,31$$

Untuk jam - jam yang lain dipergunakan dengan cara yang sama, sehingga akan diperoleh hasil untuk VLD tahun 2015 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Nilai *TLD* dan *VLD* Untuk Tahun 2015

Pukul	<i>LA</i>	<i>LD</i>	<i>TLD</i>	<i>VLD</i>
17.30	22.508,54	1,42	0,11	1,31
18.00	23.408,06	0,59	0,40	0,19
18.30	23.218,39	0,53	(0,08)	0,60
19.00	23.107,97	1,33	(0,22)	1,55
19.30	23.043,27	1,19	(0,70)	1,89
20.00	22.844,79	1,63	(1,03)	2,66
20.30	22.572,08	0,94	(1,13)	2,07
21.00	22.088,89	1,26	(0,89)	2,15
21.30	21.505,61	0,85	(0,67)	1,52

Untuk *TLD* tahun 2016, diperoleh dari nilai *LD* tahun 2015 dan tahun 2014 pada pukul 17.30 dengan menggunakan persamaan 3.3 diperoleh hasil:

$$TLD_{(2016(17.30))} = \frac{LD_{(2015(17.30))} - LD_{(2014(17.30))}}{2}$$

$$TLD_{(2016(17.30))} = \frac{1,42 - 0,60}{2}$$

$$TLD_{(2016(17.30))} = 0,41$$

Untuk waktu yang lain dipergunakan dengan cara yang sama, sehingga akan diperoleh hasil untuk *TLD* tahun 2016 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.17. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai Variasi beban (*VLD*) pada waktu yang akan diramal. Nilai *VLD* diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.4:

$$VLD_{(t)} = LD_{(t)} - TLD_{(t)}$$

Di mana *VLD* tahun 2016 pada pukul 17.30 dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$VLD_{(2016(17.30))} = LD_{(2016(17.30))} - TLD_{(2016(17.30))}$$

$$VLD_{(2016(17.30))} = 1,42 - 0,41$$

$$VLD_{(2016(17.30))} = 1,01$$

Untuk waktu yang lain dipergunakan dengan cara yang sama, sehingga akan diperoleh hasil untuk *VLD* tahun 2016 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai *TLD* dan *VLD* Untuk Tahun 2016

Pukul	<i>LA</i>	<i>LD</i>	<i>TLD</i>	<i>VLD</i>
17.30	22.508,54	1,42	0,41	1,01
18.00	23.408,06	0,59	0,07	0,52
18.30	23.218,39	0,53	0,20	0,33
19.00	23.107,97	1,33	0,22	1,11
19.30	23.043,27	1,19	(0,03)	1,23
20.00	22.844,79	1,63	(0,02)	1,65
20.30	22.572,08	0,94	(0,94)	1,88
21.00	22.088,89	1,26	0,05	1,22
21.30	21.505,61	0,85	(0,17)	1,02

Untuk *TLD* tahun 2016, diperoleh dari nilai *LD* tahun 2015 dan tahun 2014 pada pukul 17.30 dengan menggunakan persamaan 3.3 diperoleh hasil

$$TLD_{(2016(17.30))} = \frac{LD_{(2015(17.30))} - LD_{(2014(17.30))}}{2}$$

$$TLD_{(2016(17.30))} = \frac{1,42 - 0,60}{2}$$

$$TLD_{(2016(17.30))} = 0,41$$

Waktu yang lain dipergunakan dengan cara yang sama, sehingga akan diperoleh hasil untuk *TLD* tahun 2017 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.17. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai Variasi beban (*VLD*) pada waktu yang akan diramal. Nilai *VLD* diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.4 :

$$VLD_{(t)} = LD_{(t)} - TLD_{(t)}$$

Di mana VLD tahun 2017 pada pukul 17.30 dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$VLD_{(2017(17.30))} = LD_{(2017(17.30))} - TLD_{(2017(17.30))}$$

$$VLD_{(2017(17.30))} = 1,12 - 1,42$$

$$VLD_{(2017(17.30))} = -0,29$$

Untuk waktu yang lain dipergunakan dengan cara yang sama, sehingga akan diperoleh hasil untuk VLD tahun 2017 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Nilai TLD dan VLD Untuk Tahun 2017

Pukul	LA	LD	TLD	VLD
17.30	24.646,10	1,12	1,42	(0,29)
18.00	25.340,38	(0,50)	0,59	(1,09)
18.30	24.972,47	(0,01)	0,53	(0,53)
19.00	24.839,78	(0,70)	1,33	(2,03)
19.30	24.670,52	(0,29)	1,19	(1,48)
20.00	24.499,78	(0,76)	1,63	(2,38)
20.30	24.188,63	(0,59)	0,94	(1,53)
21.00	23.699,23	(0,11)	1,26	(1,37)
21.30	23.233,10	(1,23)	0,85	(2,08)

Sesudah mengetahui nilai VLD maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai X , Y dan Z sebagai inputan dari proses *Fuzzy Logic*.

4.2. Penentuan Nilai Input dan Output Fuzzy Logic

Dengan diperolehnya nilai VLD pada tahun 2015, 2016 dan 2017, maka akan dapat dibuat menjadi nilai inputan *Fuzzy Logic* dengan tahapan sebagai berikut:

- A. Peramalan Beban Tahun 2016.
1. Nilai *VLD* yang diperoleh tahun 2015 merupakan input nilai *X* untuk peramalan tahun 2016.
 2. Nilai *VLD* tahun 2016 merupakan output ramalan dan dijadikan nilai *Z*.
 3. Sedangkan nilai *Y* untuk peramalan tahun 2016 diperoleh dari nilai output yang berdekatan dengan jam yang diramal.
- B. Peramalan Beban Tahun 2017.
1. Nilai *VLD* yang diperoleh tahun 2016 merupakan input nilai *X* untuk peramalan tahun 2017.
 2. Nilai *VLD* tahun 2017 merupakan output ramalan dan dijadikan nilai *Z*.
 3. Sedangkan nilai *Y* untuk peramalan tahun 2017 diperoleh dari nilai output yang berdekatan dengan jam yang diramal.

4.2.1. Perhitungan Nilai Variabel Input X, Y dan Z

A. Peramalan Beban Tahun 2016

Untuk Peramalan beban tahun 2016, maka diambil data *VLD* tahun 2015 yang dijadikan nilai input *X* dan *VLD* tahun 2016 yang dijadikan sebagai nilai output *Z*. Adapun nilai *VLD* tahun 2015 dan 2016 dapat dilihat sebagaimana pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. Tabel *VLD* 2015 dan 2016 Sebagai Nilai input *FL*

Pukul	VLD		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
	2015	2016			
17.30	1,31	1,01	1,31	1,02	1,01
18.00	0,19	0,52	0,19	1,01	0,52
18.30	0,60	0,33	0,60	0,52	0,33
19.00	1,55	1,11	1,55	0,33	1,11
19.30	1,89	1,23	1,89	1,11	1,23
20.00	2,66	1,65	2,66	1,23	1,65
20.30	2,07	1,88	2,07	1,65	1,88
21.00	2,15	1,22	2,15	1,88	1,22
21.30	1,52	1,02	1,52	1,22	1,02

Maka nilai X , Y dan Z sebagaimana pada tabel 4.19 akan dicari nilai derajat keanggotaannya. Penjabaran matematika dari fungsi keanggotaan *antecedent* (X, Y) dan *consequent* (Z) digunakan untuk pembuatan *Rules Base* untuk proses *Fuzzy Inference System*. Pembuatan aturan dasar *Fuzzy* (*Fuzzy Rule Base*) untuk peramalan beban jangka pendek untuk tahun 2016 ditunjukkan Tabel 4.16 sampai dengan Tabel 4.18.

Tabel 4.16. Fungsi Derajat Keanggotaan Himpunan X Untuk Peramalan Tahun 2016

Pukul	NILAI X	Fungsi Keanggotaan (μ)										Sets X	
		NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB		PVB
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4		5
17.30	1,31							0,69	0,31				PVS
18.00	0,19						0,81	0,19					ZE
18.30	0,60						0,40	0,60					PVS
19.00	1,55							0,45	0,55				PS
19.30	1,89							0,11	0,89				PM
20.00	2,66								0,34	0,66			PM
20.30	2,07								0,30	0,70			PM
21.00	2,15								0,85	0,15			PS
21.30	1,52							0,48	0,52				PS

Tabel 4.17. Fungsi Derajat Keanggotaan Himpunan Y Untuk Peramalan Tahun 2016

Pukul	NILAI Y	Fungsi Keanggotaan (μ)										Sets Y		
		NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB		PVB	
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4		5	
17.30	1,02							0,98	0,02					PVS
18.00	1,01							0,99	0,01					PVS
18.30	0,52						0,48	0,52						PVS
19.00	0,33						0,67	0,33						ZE
19.30	1,11							0,89	0,11					PVS
20.00	1,23							0,77	0,23					PVS
20.30	1,65							0,35	0,65					PS
21.00	1,88							0,12	0,88					PS
21.30	1,22							0,78	0,22					PVS

Tabel 4.18. Fungsi Derajat Keanggotaan Himpunan Z Untuk Peramalan Tahun 2016

Pukul	NILAI Z	Fungsi Keanggotaan (μ)											Sets Z	
		NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB	PVB		
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5		
17.30	1,01							0,99	0,01					PVS
18.00	0,52						0,48	0,52						PVS
18.30	0,33						0,67	0,33						ZE
19.00	1,11							0,89	0,11					PVS
19.30	1,23							0,77	0,23					PVS
20.00	1,65							0,35	0,65					PS
20.30	1,88							0,12	0,88					PS
21.00	1,22							0,78	0,22					PVS
21.30	1,02							0,98	0,02					PVS

Dari nilai derajat keanggotaan tersebut, maka dirangkum menjadi aturan dasar (*Rule Base*) peramalan tahun 2016 sebagaimana pada tabel 4.23.

Tabel 4.19 Tabel Konversi Aturan Dasar Peramalan Tahun 2016
Untuk Kode *Software Matlab*

Pukul	X	Y	Z	Pukul	X	Y	Z
17.30	PVS	PVS	PVS	17.30	7	7	7
18.00	ZE	PVS	PVS	18.00	6	7	7
18.30	PVS	PVS	ZE	18.30	7	7	6
19.00	PS	ZE	PVS	19.00	8	6	7
19.30	PM	PVS	PVS	19.30	9	7	7
20.00	PM	PVS	PS	20.00	9	7	8
20.30	PM	PS	PS	20.30	9	8	8
21.00	PS	PS	PVS	21.00	8	8	7
21.30	PS	PVS	PVS	21.30	8	7	7

Dengan diperolehnya hasil sebagaimana tabel 4.19 untuk memberikan nilai input dan output *FL*. Tabel 4.19 untuk memberikan input pada Aturan *Fuzzy (Rule Base)*, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan data tersebut pada Matlab untuk diperoleh nilai *error* nya dengan coding *IT1-FIS*; *IT2-FIS* dan *BBBC*.

A.1. Peramalan Tahun 2016 Dengan Menggunakan *IT1-FIS*

Sesudah memasukkan nilai input *X*, *Y* dan output *Z* pada Matlab Matlab dengan menggunakan *IT1-FIS*, maka diperoleh hasil *Matlab* sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.20.

Tabel 4.20. Hasil Output *Matlab* Peramalan Tahun 2016
Menggunakan *ITI-FIS*

Pukul	Output Matlab
17.30	0,5007
18.00	1,5670
18.30	1,3410
19.00	0,6114
19.30	0,8569
20.00	1,5000

Dari hasil *Matlab* tersebut, maka dapat dihitung nilai Peramalan *LD* (*Forecast LD*) dari *TLD* tahun dan waktu analisis dengan menggunakan persamaan 3.5.

$$\text{Forecast } LD(i) = \text{Forecast } VLD(i) + TLD(i)$$

Untuk nilai *Forecast LD* peramalan tahun 2016 menggunakan *ITI-FIS* pada pukul 17.30, maka diperoleh hasil :

$$\text{Forecast } LD_{(2016(17.30))} = \text{Forecast } VLD_{(2016(17.30))} + TLD_{(2016(17.30))}$$

$$\text{Forecast } LD_{(2016(17.30))} = 0,5007 + 0,4057$$

$$\text{Forecast } LD_{(2016(17.30))} = 0,9064$$

Sesudah diperoleh nilai Peramalan *LD* (*Forecast LD*), maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai Daya Peramalan (*FP*) pada tahun peramalan 2016 dengan menggunakan *ITI-FIS* dengan cara memasukan ke persamaan 3.6:

$$FP_{(i)} = LA_{(i)} + \frac{FLD_{(i)} \times LA_{(i)}}{100}$$

Untuk menentukan nilai *FP* tahun peramalan 2016 menggunakan *ITI-FIS* pada pukul 17.30 adalah sebagai berikut:

$$FP_{(2016(17.30))} = LA_{(2016(17.30))} + \frac{FLD_{(2016(17.30))} \times LA_{(2016(17.30))}}{100}$$

$$FP_{(2016(17.30))} = 22.508,54 + \frac{0,9064 \times 22.508,54}{100}$$

$$FP_{(2016(17.30))} = 22.712,57 \text{ MW}$$

Sesudah melakukan perhitungan nilai Daya Peramalan (*FP*) untuk tahun 2016, dengan menggunakan *ITI-FIS*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung persentase *error* hasil peramalan. Nilai ini diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.7.

$$Error\%_{(t)} = \frac{FP_{(t)} - AP_{(t)}}{AP_{(t)}} \times 100\%$$

Untuk nilai persentase *error* peramalan tahun 2016 dengan menggunakan *ITI-FIS* pada pukul 17.30 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Error\%_{(2016(17.30))} &= \frac{FP_{(2016(17.30))} - AP_{(2016(17.30))}}{AP_{(2016(17.30))}} \times 100\% \\ &= \frac{22.827,41 - 22.827,34}{22.827,34} \times 100\% \\ Error\%_{(2016(17.30))} &= 0,5028\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, maka diperoleh nilai *FLD*, *FP*, *AP* dan *error* sebagaimana pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan *Error* Tahun Peramalan 2016 dengan Menggunakan *ITI-FIS*

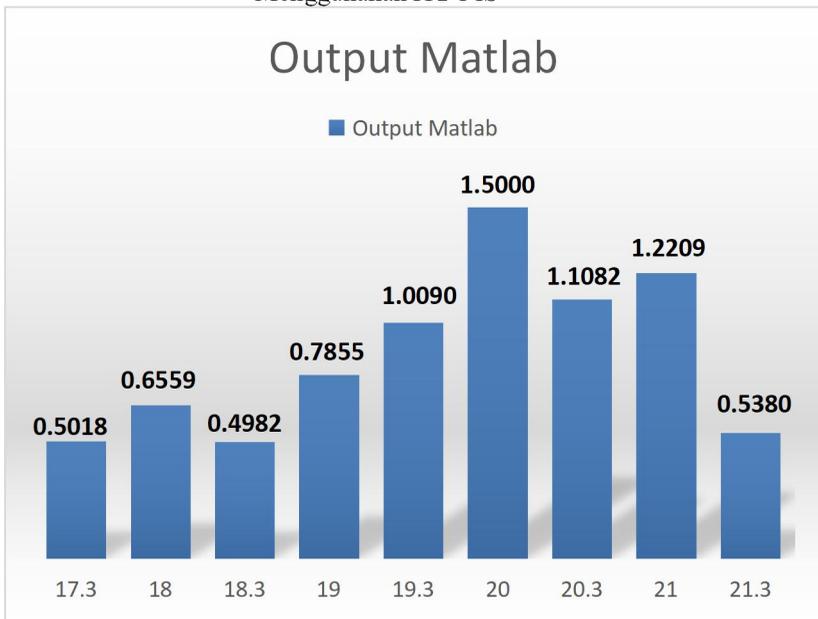
ITI FIS - 2016					
Pukul	Output Forecast	Forecast LD	Forecast P'(MW)	Actual (MW)	Error (%)
17.30	0,5007	0,9064	22.712,57	22.827,34	0,50
18.00	1,5670	4,0576	24.357,87	23.546,15	3,45
18.30	1,3410	0,6947	23.379,68	23.340,42	0,17
19.00	0,6114	0,8334	23.300,55	23.415,53	0,49
19.30	0,8569	0,8245	23.233,26	23.318,23	0,36
20.00	1,5000	1,4760	23.181,98	23.216,36	0,15
20.30	1,1087	0,1656	22.609,46	22.783,93	0,77
21.00	18970	4,3672	23.053,55	22.367,77	3,07
21.30	0,5167	0,3459	21.580,00	21.687,59	0,50

Dari Tabel 4.25 dapat dilihat nilai error peramalan rata – rata pada jam tertentu di tahun 2016 dengan menggunakan *IT1-FIS* adalah sebesar 0,5467 %.

A.2. Peramalan Tahun 2016 Dengan Menggunakan *IT2-FIS*

Sesudah memasukkan nilai input *X*, *Y* dan output *Z* pada Matlab dengan menggunakan *IT2-FIS*, maka diperoleh hasil Matlab sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.22.

Tabel 4.22. Hasil Output Matlab Peramalan Tahun 2016 Menggunakan *IT2-FIS*



Dari hasil perhitungan yang sama seperti di atas, maka diperoleh nilai *FLD*, *FP*, *AP* dan *error* sebagaimana pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan *Error* Tahun Peramalan 2016 dengan Menggunakan *IT2-FIS*

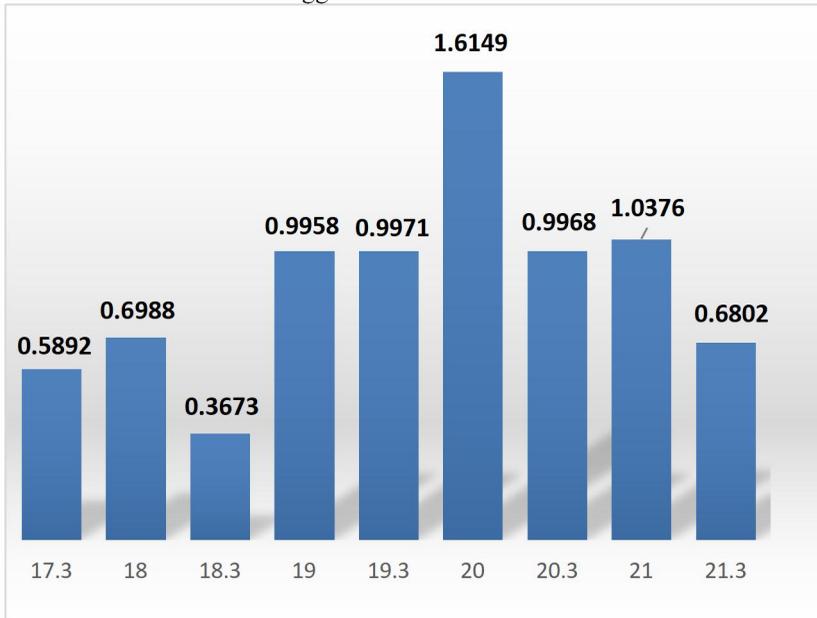
<i>IT-2 FIS - 2016</i>					
Pukul	<i>Output Forecast</i>	<i>Forecast LD</i>	<i>Forecast P'(MW)</i>	<i>Actual (MW)</i>	<i>Error (%)</i>
17.30	0,5018	0,9075	22.712,82	22.827,34	0,50
18.00	0,6559	0,7275	23.578,35	23.546,15	0,14
18.30	0,4982	0,6941	23.379,54	23.340,42	0,17
19.00	0,7855	1,0075	23.340,78	23.415,53	0,32
19.30	1,0090	0,9766	23.268,31	23.318,23	0,21
20.00	1,5000	1,4760	23.181,98	23.216,36	0,15
20.30	1,1082	0,1651	22.609,34	22.783,93	0,77

Dari Tabel 4.27 dapat dilihat nilai *error* peramalan rata – rata pada waktu tertentu di tahun 2016 dengan menggunakan *IT2-FIS* adalah sebesar 0,4506 %.

A.3. Peramalan Tahun 2016 Dengan Menggunakan *IT2-FIS*

Sesudah memasukkan nilai input X , Y dan output Z pada Matlab dengan menggunakan *IT2-FIS* maka diperoleh hasil Matlab sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.24.

Tabel 4.24. Hasil *Output Matlab* Peramalan Tahun 2016
Menggunakan *IT2-FIS*



Dari hasil perhitungan yang sama seperti di atas, maka diperoleh nilai *FLD*, *FP*, *AP* dan *error* sebagaimana pada Tabel 4.25.

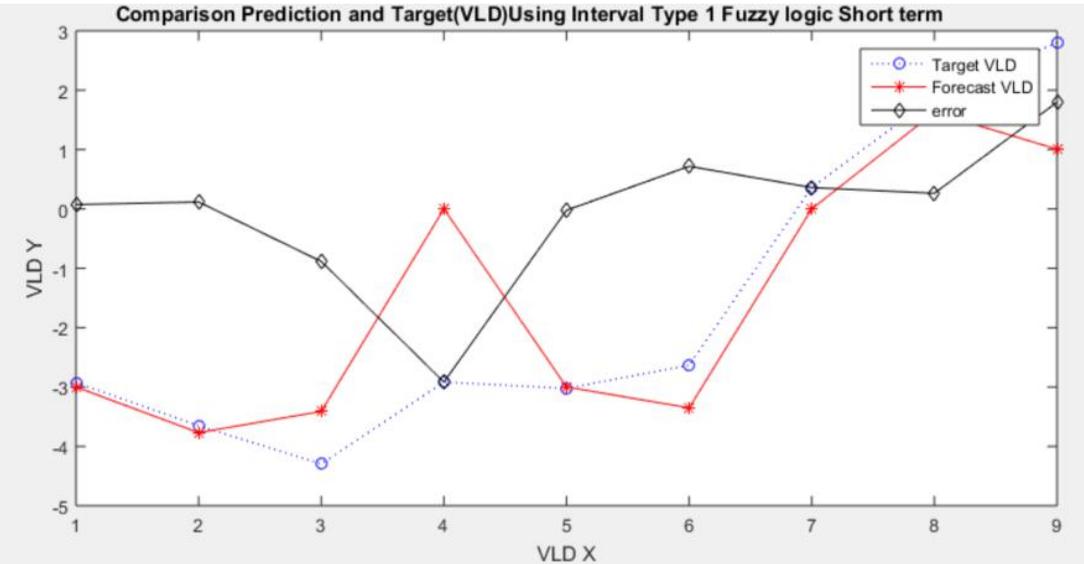
Tabel 4.25 Hasil Perhitungan Error Tahun Peramalan 2016 dengan Menggunakan *IT2-FIS*

<i>IT-2 FIS - 2016-BBBC</i>					
Pukul	<i>Output Forecast</i>	<i>Forecast LD</i>	<i>Peramalan P'(MW)</i>	<i>Actual (MW)</i>	<i>Error (%)</i>
17.30	0,5892	0,9949	22.732,49	22.827,34	0,42
18.00	0,6988	0,7704	23.588,40	23.546,15	0,18
18.30	0,3673	0,5632	23.349,15	23.340,42	0,04
19.00	0,9958	1,2178	23.389,38	23.415,53	0,11
19.30	0,9971	0,9647	23.265,57	23.318,23	0,23
20.00	1,6149	1,5909	23.208,23	23.216,36	0,04
20.30	0,9968	0,0537	22.584,20	22.783,93	0,88
21.00	1,0376	1,0838	22.328,28	22.367,77	0,18

Dari Tabel 4.29 dapat dilihat nilai *error* peramalan rata – rata pada jam tertentu di tahun 2016 dengan menggunakan *IT2-FIS-BBBC* adalah sebesar 0,2658 %.

A.4. Perbandingan *Error* Peramalan Tahun 2016

Dengan data nilai *error* di atas, maka nilai rata – rata *MAPE* peramalan tahun 2016 dengan menggunakan *IT1-FIS*; *IT2-FIS* dan *IT2-FIS-BBBC* dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan *Error* Peramalan Tahun 2016

B. Peramalan Beban Tahun 2017

Untuk Peramalan beban tahun 2017, maka diambil data *VLD* tahun 2016 yang dijadikan nilai input *X* dan *VLD* tahun 2017 yang dijadikan sebagai nilai *output Z*. Adapun nilai *VLD* tahun 2016 dan 2017 dapat dilihat sebagaimana pada tabel 4.26.

Tabel 4.26. Tabel *VLD* 2015 dan 2016 Sebagai Nilai *input Fuzzy Logic*

Pukul	VLD		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
	2016	2017			
17.30	1,0106	(0,2947)	1,0106	(2,0801)	(0,2947)
18.00	0,5183	(1,0905)	0,5183	(0,2947)	(1,0905)
18.30	0,3297	(0,5311)	0,3297	(1,0905)	(0,5311)
19.00	1,1090	(2,0275)	1,1090	(0,5311)	(2,0275)
19.30	1,2256	(1,4824)	1,2256	(2,0275)	(1,4824)
20.00	1,6505	(2,3816)	1,6505	(1,4824)	(2,3816)
20.30	1,8817	(1,5261)	1,8817	(2,3816)	(1,5261)
21.00	1,2164	(1,3710)	1,2164	(1,5261)	(1,3710)
21.30	1,0170	(2,0801)	1,0170	(1,3710)	(2,0801)

Nilai pada tabel 4.28 ini dipergunakan untuk memberikan inputan *Fuzzy Logic X, Y* dan *Z* nya. Sedangkan langkah selanjutnya adalah mencari nilai derajat keanggotaan *X, Y* dan *Z*.

Maka nilai *X, Y* dan *Z* sebagaimana pada tabel 4.28 akan dicari nilai derajat keanggotaannya. Penjabaran matematika dari fungsi keanggotaan *antecedent (X,Y)* dan *consequent (Z)* digunakan untuk pembuatan *Rules Base* untuk proses *Fuzzy Inference System*. Pembuatan aturan dasar *Fuzzy (Fuzzy Rule Base)*.

Dari nilai derajat keanggotaannya, maka dirangkum menjadi aturan dasar (*Rule Base*) peramalan tahun 2017 sebagaimana pada tabel 4.27.

Tabel 4.27 Tabel Konversi Aturan Dasar Peramalan Tahun 2017
Untuk Kode *Software Matlab*

Pukul	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	Pukul	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
17.30	PVS	NS	ZE	17.30	7	4	6
18.00	PVS	ZE	NVS	18.00	7	6	5
18.30	ZE	NVS	NVS	18.30	6	5	5
19.00	PVS	NVS	NS	19.00	7	5	4
19.30	PVS	NS	NVS	19.30	7	4	5
20.00	PS	NVS	NS	20.00	8	5	4
20.30	PS	NS	NS	20.30	8	4	4
21.00	PVS	NS	NVS	21.00	7	4	5
21.30	PVS	NVS	NS	21.30	7	5	4

Dengan diperolehnya hasil sebagaimana tabel 4.27 untuk memberikan nilai input dan *output FL*. Tabel 4.27 untuk memberikan input pada Aturan *Fuzzy (Fuzzy Rules)* . maka langkah selanjutnya adalah memasukkan data tersebut pada *Matlab* untuk diperoleh nilai *error* dengan coding *IT1-FIS*; *IT2-FIS* dan *IT2-FIS-BBBC*.

B.1. Peramalan Tahun 2017 Dengan Menggunakan *IT1-FIS*

Sesudah memasukkan nilai input *X*, *Y* dan output *Z* pada *Matlab* dengan menggunakan *IT1-FIS*, maka diperoleh hasil *Matlab* sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.28.

Tabel 4.28. Hasil Output *Matlab* Peramalan Tahun 2017
Menggunakan *IT1-FIS*

Pukul	Output <i>Matlab</i>
17.30	(0,5120)
18.00	(1,3743)
18.30	(1,2335)
19.00	(1,5241)
19.30	(0,7256)
20.00	(1,1280)

Dari hasil *Matlab* tersebut, maka dapat dihitung nilai Peramalan *LD (Forecast LD)* dari *TLD* tahun dan jam analisis dengan menggunakan persamaan 3.5. Pada analisis menggunakan *ITI-FIS*. Sesudah diperoleh nilai Peramalan *LD (Forecast LD)*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai Daya Peramalan (*FP*) pada tahun Peramalan 2017 dengan menggunakan *ITI-FIS*, dengan cara memasukkan ke persamaan 3.6:

Sesudah melakukan perhitungan nilai Daya Peramalan (*FP*) untuk tahun 2017, dengan menggunakan *ITI-FIS*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung persentase *error* hasil peramalan. Nilai ini diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.7. Maka dengan cara yang sama sebagaimana peramalan tahun 2016, di dapatlah hasil perhitungan *error* peramalan tahun 2017 dengan mempergunakan *ITI-FIS* pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Error Tahun Peramalan 2017 dengan Menggunakan *ITI-FIS*

<i>IT-1 FIS - 2017</i>					
Pukul	<i>Output Forecast</i>	<i>Forecast LD</i>	<i>Forecast P'(MW)</i>	<i>Actual (MW)</i>	<i>Error (%)</i>
17.30	(0,5120)	0,90	24.868,99	24.922,55	0,21
18.00	(1,3743)	(0,78)	25.141,62	25.213,52	0,29
18.30	(1,2335)	(0,71)	24.795,68	24.971,09	0,70
19.00	(1,5241)	(0,19)	24.791,80	24.666,76	0,51
19.30	(0,7256)	0,47	24.785,89	24.599,17	0,76
20.00	(1,1280)	0,50	24.621,91	24.314,79	1,26
20.30	(1,5775)	(0,64)	24.034,08	24.046,51	0,05
21.00	(0,9690)	0,29	23.768,80	23.673,53	0,40

Dari tabel 4.29 dapat dilihat nilai error peramalan rata – rata pada jam tertentu di tahun 2017 dengan menggunakan *IT1-FIS* adalah sebesar 0,5687 %.

B.2. Peramalan Tahun 2017 Dengan Menggunakan *IT2-FIS*

Sesudah memasukkan nilai input *X*, *Y* dan output *Z* pada Matlab dengan menggunakan *IT2-FIS*, maka diperoleh hasil Matlab sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.30.

Tabel 4.30. Hasil Output Matlab Peramalan Tahun 2017 Menggunakan *IT2-FIS*

Pukul	Output Matlab
17.30	(0,5077)
18.00	(1,2920)
18.30	(0,9720)
19.00	(1,5146)
19.30	(0,8251)
20.00	(1,3590)
20.30	(1,2926)
21.00	(0,9808)
21.30	(1,3851)

Dari hasil Matlab tersebut, maka dapat dihitung nilai Peramalan *LD (Forecast LD)* dari *TLD* tahun dan jam analisis dengan menggunakan persamaan 3.5. Pada analisis menggunakan *IT2-FIS*. Sesudah diperoleh nilai Peramalan *LD (Forecast LD)*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai Daya Peramalan (*FP*) pada tahun Peramalan 2017 dengan menggunakan *IT2-FIS* dengan cara memasukkan ke persamaan 3.6:

Sesudah melakukan perhitungan nilai Daya Peramalan (*FP*) untuk tahun 2017, dengan menggunakan *IT2-FIS* , maka langkah selanjutnya adalah menghitung persentase *error* hasil peramalan. Nilai ini diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.7. Maka dengan cara yang sama sebagaimana peramalan tahun 2016, di

dapatlah hasil perhitungan *error* peramalan tahun 2017 dengan mempergunakan *IT2-FIS* sebagaimana pada tabel 4.31.

Tabel 4.31 Hasil Perhitungan *Error* Tahun Peramalan 2017 dengan Menggunakan *IT2-FIS*

Pukul	P forecasting using <i>IT-2 FIS</i>				
	<i>Output Forecast</i>	<i>Forecast LD</i>	<i>Forecast P(MW)</i>	<i>Actual (MW)</i>	<i>Error (%)</i>
17.30	(0,5077)	0,9087	24.870,05	24.922,55	0,21
18.00	(1,2920)	(0,7021)	25.162,47	25.213,52	0,20
18.30	(0,9720)	(0,4464)	24.860,99	24.971,09	0,44
19.00	(1,5146)	(0,1836)	24.794,16	24.666,76	0,52
19.30	(0,8251)	0,3681	24.761,34	24.599,17	0,66
20.00	(1,3590)	0,2675	24.565,32	24.314,79	1,03
20.30	(1,2926)	(0,3540)	24.102,99	24.046,51	0,23
21.00	(0,9808)	0,2818	23.766,00	23.673,53	0,39

Dari Tabel 4.31 dapat dilihat nilai *error* peramalan rata – rata pada jam tertentu di tahun 2017 dengan menggunakan *IT2-FIS* adalah sebesar 0,490 %.

B.3. Peramalan Tahun 2017 Dengan Menggunakan *BBBC*

Sesudah memasukkan nilai input X , Y dan output Z pada *Matlab* dengan menggunakan *BBBC*, maka diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.32.

Tabel 4.32. Hasil *Output* Matlab Peramalan Tahun 2017
Menggunakan *IT2-FIS*

Pukul	Output Matlab
17.30	(0,5938)
18.00	(1,1937)
18.30	(1,0010)
19.00	(1,5869)
19.30	(0,7802)
20.00	(2,0021)
20.30	(1,1878)
21.00	(1,0570)
21.30	(1,3523)

Dari hasil *Matlab* tersebut, maka dapat dihitung nilai Peramalan *LD (Forecast LD)* dari *TLD* tahun dan jam analisis dengan menggunakan persamaan 3.5. Pada analisis menggunakan *BBBC*. Sesudah diperoleh nilai Peramalan *LD (Forecast LD)*, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai Daya Peramalan (*FP*) pada tahun Peramalan 2017 dengan menggunakan *IT2-FIS-BBBC* dengan cara memasukkan ke persamaan 3.6:

Sesudah melakukan perhitungan nilai Daya Peramalan (*FP*) untuk tahun 2017, dengan menggunakan *BBBC*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung persentase *error* hasil peramalan. Nilai ini diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.7. Maka dengan cara yang sama sebagaimana peramalan tahun 2016, di dapatlah hasil perhitungan *error* peramalan tahun 2017 dengan mempergunakan *IT2-FIS-BBBC* sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.33.

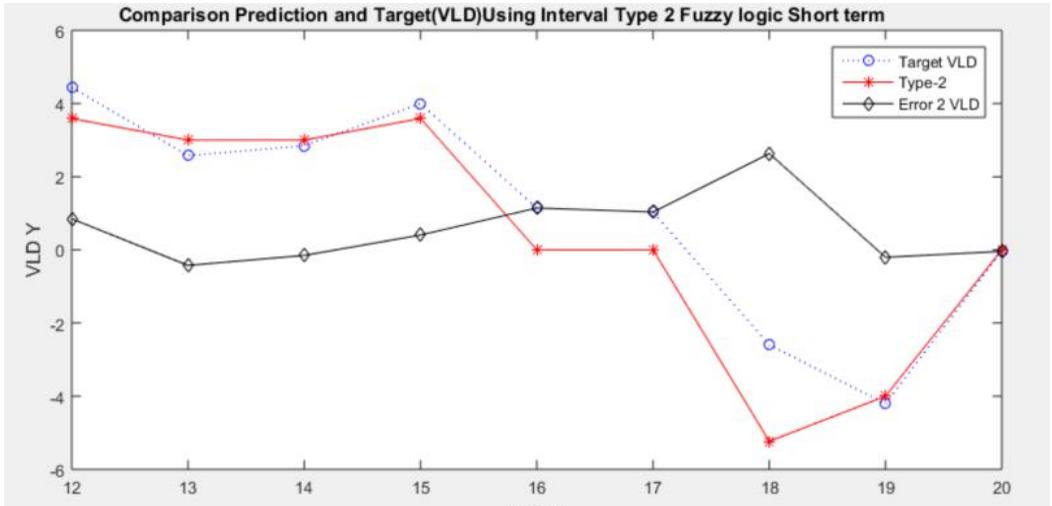
Tabel 4.33 Hasil Perhitungan *Error* Tahun Peramalan 2017 dengan Menggunakan *IT2-FIS*

P forecasting using <i>IT-2 FIS - BBBC</i>					
Pukul	<i>Output Forecast</i>	<i>Forecast LD</i>	<i>Forecast P(MW)</i>	<i>Actual (MW)</i>	<i>Error (%)</i>
17.30	(0,5938)	0,8226	24.848,83	24.922,55	0,30
18.00	(1,1937)	(0,6038)	25.187,38	25.213,52	0,10
18.30	(1,0010)	(0,4754)	24.853,74	24.971,09	0,47
19.00	(1,5869)	(0,2559)	24.776,20	24.666,76	0,44
19.30	(0,7802)	0,4130	24.772,42	24.599,17	0,70
20.00	(2,0021)	(0,3756)	24.407,76	24.314,79	0,38
20.30	(1,1878)	(0,2492)	24.128,34	24.046,51	0,34
21.00	(1,0570)	0,2056	23.747,94	23.673,53	0,31

Dari tabel 4.33 dapat dilihat nilai *error* peramalan rata – rata pada jam tertentu di tahun 2017 dengan menggunakan *BBBC*

B.4. Perbandingan *Error* Peramalan Tahun 2017

Dengan data nilai *error* di atas, maka nilai rata – rata *MAPE* peramalan tahun 2016 dengan menggunakan *IT1-FIS*; *IT2-FIS* dan *IT2-FIS-BBBC* dapat dilihat sebagaimana pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Error Peramalan Tahun 2017

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa yang mempunyai nilai rata-rata *MAPE* terendah adalah dengan menggunakan *IT2-FIS*, sedangkan yang mempunyai nilai yang tertinggi rata-rata *MAPE* nya adalah dengan menggunakan *IT1-FIS*.

Diperoleh hasil dari penelitian tersebut, peramalan beban jangka sangat pendek pada tahun 2016 dengan menggunakan *IT2-FIS* mendapatkan hasil rata-rata *MAPE* sebesar 0,72%. Sedangkan jika menggunakan *IT1-FIS* diperoleh nilai rata-rata *MAPE* nya sebesar 1,72% [14].

Hasil analisis pada paper dengan hasil tugas akhir ini ditemukan ada sedikit perbedaan nilai rata-rata *MAPE*. Perbedaan ini dikarenakan metode perhitungan *TD* nya berbeda. Untuk yang terdapat pada paper menggunakan *TD* Jumat diramal, Jumat kurang 1 hari, Jumat kurang 2 hari dan Jumat kurang 3 hari. Sedangkan pada disertasi menggunakan Jumat ke pertama, Jumat kedua, Jumat ketiga dan Jumat diramal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan hasil pembahasan optimisasi peramalan beban jangka sangat pendek menggunakan *IT2-FIS-BBBC*, maka kesimpulan dan saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. *IT2-FIS* untuk sistem Jawa-Bali peramalan beban listrik jangka pendek, menunjukkan nilai MAPE untuk metode *IT2FIS* lebih kecil dari metode sebelumnya menggunakan *ITI-FIS*. Untuk 2017, nilai MAPE menggunakan metode *ITI-FIS* adalah 0,5467%, *IT2-FIS* adalah 0,4506%.
2. Pada peramalan 2017, ada nilai MAPE tertinggi pada pukul 18:00 WIB, yaitu 1,21%. Hal ini dikarenakan terjadi pembebanan yang bervariasi.

5.2 Saran

Algoritma *IT2-FIS* untuk peramalan beban jangka sangat pendek dapat diterapkan pada studi kasus yang berbeda. Studi kasus berbeda semisal masalah- masalah: tentang banjir, tentang kelulusan studi, rencana reduksi dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. P. Demello and C. Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-88, pp. 316–329, 1969.
- [2] I. Robandi, *Modern Power System Control*, 1st ed. Yogyakarta: Andi, 2009.
- [3] I. Robandi, *Desain Sistem Tenaga Modern*. Yogyakarta: Andi Offset, 2006.
- [4] M. H. P. Agus Dharma, Imam Robandi, "Application of Short Term Load Forecasting On Special Days Using Interval Type-2 Fuzzy Inference System; Study Case in Bali Indonesia," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. Vol.49 no.
- [5] PT. PLN (Persero), *Topologi KONfigurasi Jaringan Sistem Jawa Bali 2016*, 2016th ed. Jakarta, 2016.
- [6] I. Robandi, *Artificial Intelligence*, Pertama. Surabaya, 2019.
- [7] O. K. Erol and I. Eksin, "A new optimization method: Big Bang-Big Crunch," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 37, no. 2, pp. 106–111, 2006.
- [8] A. Hatamlou, S. Abdullah, and M. Hatamlou, "Data clustering using big bang-big crunch algorithm," in *Communications in Computer and Information Science*, 2011, vol. 241 CCIS, pp. 383–388.
- [9] E. Yesil, "Interval type-2 fuzzy PID load frequency controller using Big Bang-Big Crunch optimization," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 15, pp. 100–112, 2014.
- [10] T. Kumbasar, "Robust Stability Analysis and Systematic Design of Single-Input Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 2016.
- [11] M. Biglarbegian, W. Melek, and J. Mendel, "On the robustness of type-1 and interval type-2 fuzzy logic systems in modeling," *Inf. Sci. (Ny).*, 2011.
- [12] Y. S. Chen and L. Yao, "Robust type-2 fuzzy control of an automatic guided vehicle for wall-following," in *SoCPaR 2009 - Soft Computing and Pattern Recognition*, 2009.
- [13] R. Shankar, K. Chatterjee, and T. Chatterjee, "A Very Short-Term Load forecasting using Kalman filter for Load Frequency Control with Economic Load Dispatch," *J. Eng. Sci. ...*, vol. 5, no. 1, pp. 97–103, 2012.

- [14] Jamaaluddin, I. Robandi, and I. Anshory, "A very short-term load forecasting in time of peak loads using interval type-2 fuzzy inference system: A case study on java bali electrical system," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 464–478, 2019.
- [15] A. Dharma, "Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari-Hari Khusus Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Inference System (Studi Kasus di Pulau Bali)," ITS, Surabaya, 2013.
- [16] A. Imran, "Prediksi Beban Puncak Hari Libur Nasional Berbasis Radial Basis Function Neural Network," *Teknik Elektro UNHAS*, Makasar.
- [17] A. Dharma, "Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari-Hari Libur Menggunakan Metode Fuzzy Linear Regression (Studi Kasus di Pulau Bali)," ITS, Surabaya.
- [18] K.-B. Song, Y.-S. Baek, D. H. Hong, and G. Jang, "Short-Term Load Forecasting for the Holidays Using Fuzzy Linear Regression Method," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 1, pp. 96–101, 2005.
- [19] K. Kim, J. Park, K.-J. Hwang, and S. Kim, "Implementation of hybrid short-term load forecasting system using artificial neural networks and fuzzy expert systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 1534–1539, 1995.
- [20] A. RAMADHANI, "Optimisasi Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Inference System Big Bang-Big Crunch Algorithm (Studi Kasus: Sistem Kelistrikan Kalimantan Selatan Dan Tengah)," INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA, 2015.
- [21] A. Laouafi, M. Mordjaoui, and D. Dib, "Very short-term electricity demand forecasting using adaptive exponential smoothing methods," *STA 2014 - 15th Int. Conf. Sci. Tech. Autom. Control Comput. Eng.*, pp. 553–557, 2014.
- [22] L. C. M. De Andrade, M. Oleskovicz, A. Q. Santos, D. V. Coury, R. Augusto, and S. Fernandes, "Very Short-Term Load Forecasting Based on NARX Recurrent Neural Networks," 2014.
- [23] Kurniawan Fitrianto, "Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2006 – 2015 Pada PT. PLN (persero) Unit Pelayanan

Jaringan (UPJ) Di Wilayah Kota Semarang Dengan Metode Gabungan”. Teknik Elektro UNDIP, 2006A. Kotillová, “Very Short-Term Load Forecasting Using Exponential Smoothing and Arima Models,” vol. 9, no. 2, pp. 85–92, 2011.

- [24] J. W. Taylor, “An evaluation of methods for very short-term load forecasting using minute-by-minute British data,” *Int. J. Forecast.*, vol. 24, no. 4, pp. 645–658, 2008.
- [25] W. Charytoniuk and M.-S. Chen, “Very Short-Term Load Forecasting Using Artificial Neural Networks,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, no. 1, p. 263, 2000.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Naufal P. Penulis lahir pada tanggal 23 september 1999 di Jakarta. Penulis merupakan anak kembar dari pasangan Indira S. dan Edhi N. Saat menulis laporan tugas akhir ini, penulis sedang menimba ilmu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Adapun Jurusan yang penulis tempuh yaitu Teknik Elektro dengan fokus kejuruan teknik sistem tenaga. Penulis juga aktif di MWA WM wakil mahasiswa, MUN ITS Club, IEEE ITS Student Branch dll. Serta Laboratorium PSOC. Penulis selama kuliah juga turut

andil dalam beberapa proyek comissioning gardu induk serta magang di beberapa perusahaan manufaktur, konsultan, dan perminyakan.

Penulis dapat dihubungi pada email: Naufalprawiro1@gmail.com

LAMPIRAN

TANGGAL	MAX	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
6-Oct-2017	25,413.99	25413.99	24809.42	24640.52	23876.46	22687.69
13-Oct-2017	25,459.39	25459.39	25007.72	24413.92	23650.05	22687.67
20-Oct-2017	25,147.77	25147.77	24702.20	24444.91	23571.18	22208.63
27-Oct-2017	25,213.52	25213.52	24666.76	24314.79	23673.53	22461.69

Log Data P2B

Date	Day	WD_{MAX}	LD_{MAX}
	4		
01 January	233.92	231.5175	4.074206054
17 August	224.60	237.575	4.851099653
27 November	235.10	241.475	0.714359665
18 Desember	224.20	235.275	4.771012645
09 March	239.15	242.1625	0.18066381
20 July	246.80	245.95	-6.525716609
20 September	248.40	244.95	-5.735864462
21 September	247.80	240.575	-2.649901278
10 April	246.80	244.425	0.153421295

Varian Data Beban

Proyeksi set himpunan

Short Term Load Forecasting at 2017
Fourth Friday October Using IT-1 FIS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Actual (VLD)	Forecasting (VLD)	Error (VLD)
-----------------	----------------------	----------------

ans =

4.4380	3.5007	0.9373
2.5752	3.0000	-0.4248
2.8478	3.0000	-0.1522
3.9985	3.5001	0.4984
1.1427	0	1.1427
1.0344	0	1.0344
-2.5978	-4.9990	2.4012
-4.2031	-4.0012	-0.2019
-0.0419	0	-0.0419

>> AL_2_JESTEC_IT2_FIS_2016

Short Term Load Forecasting at 201
Fourth Friday October Using IT-2 FIS
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Actual	Forecasting	Error
--------	-------------	-------

(VLD) (VLD) (VLD)

ans =

4.4380	3.5893	0.8487
2.5752	3.0003	-0.4252
2.8478	3.0000	-0.1522
3.9985	3.5922	0.4063
1.1427	0	1.1427
1.0344	0	1.0344
-2.5978	-5.2317	2.6339
-4.2031	-4.0006	-0.2025
-0.0419	0	-0.0419