



TESIS- TE142599

**PERAMALAN BEBAN JANGKA PENDEK UNTUK HARI
LIBUR NASIONAL MENGGUNAKAN INTERVAL *TYPE-
2 FUZZY INFERENCE SYSTEM* (STUDI KASUS:
SISTEM KELISTRIKAN JAWA-BALI)**

**HIDAYATUL NUROHMAH
2213201011**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof.Dr.(Eng).Ir. Imam Robandi, M.T.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



THESES- TE142599

**SHORT-TERM LOAD FORECASTING FOR
NATIONALS HOLIDAYS USING INTERVAL *TYPE-2*
FUZZY INFERENCE SYSTEM (CASE STUDY : JAVA-
BALI ELECTRICAL SYSTEM)**

HIDAYATUL NUROHMAH
2213201011

ADVISOR
Prof.Dr.(Eng).Ir. Imam Robandi, M.T.

**MAGISTER PROGRAM
POWER SYSTEM ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :
Hidayatul Nurohmah
NRP. 2213201011

Tanggal Ujian : 16 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui Oleh :


1. Prof. Dr. Ir. Imam Rohandi, M.T.
NIP. 196308171990031001

(Pembimbing)


2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Herv Purnomo, M.Eng.
NIP. 195809161986011001

(Penguji)


3. Dr. I. Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
NIP. 197007121998021001

(Penguji)


4. Dr. Ardyono Privadi, S.T., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

(Penguji)

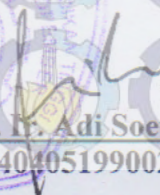

5. Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

(Penguji)


6. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.
NIP. 198109052005011002

(Penguji)


Direktur Program Pascasarjana


Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 196404051990021001

**PERAMALAN BEBAN JANGKA PENDEK UNTUK HARI LIBUR
NASIONAL MENGGUNAKAN INTERVAL *TYPE-2 FUZZY INFERENCE*
SYSTEM (STUDI KASUS: SISTEM KELISTRIKAN JAWA-BALI)**

Nama : Hidayatul Nurohmah
NRP : 2213201011
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. (Eng). Ir. Imam Robandi.M.T.

ABSTRAK

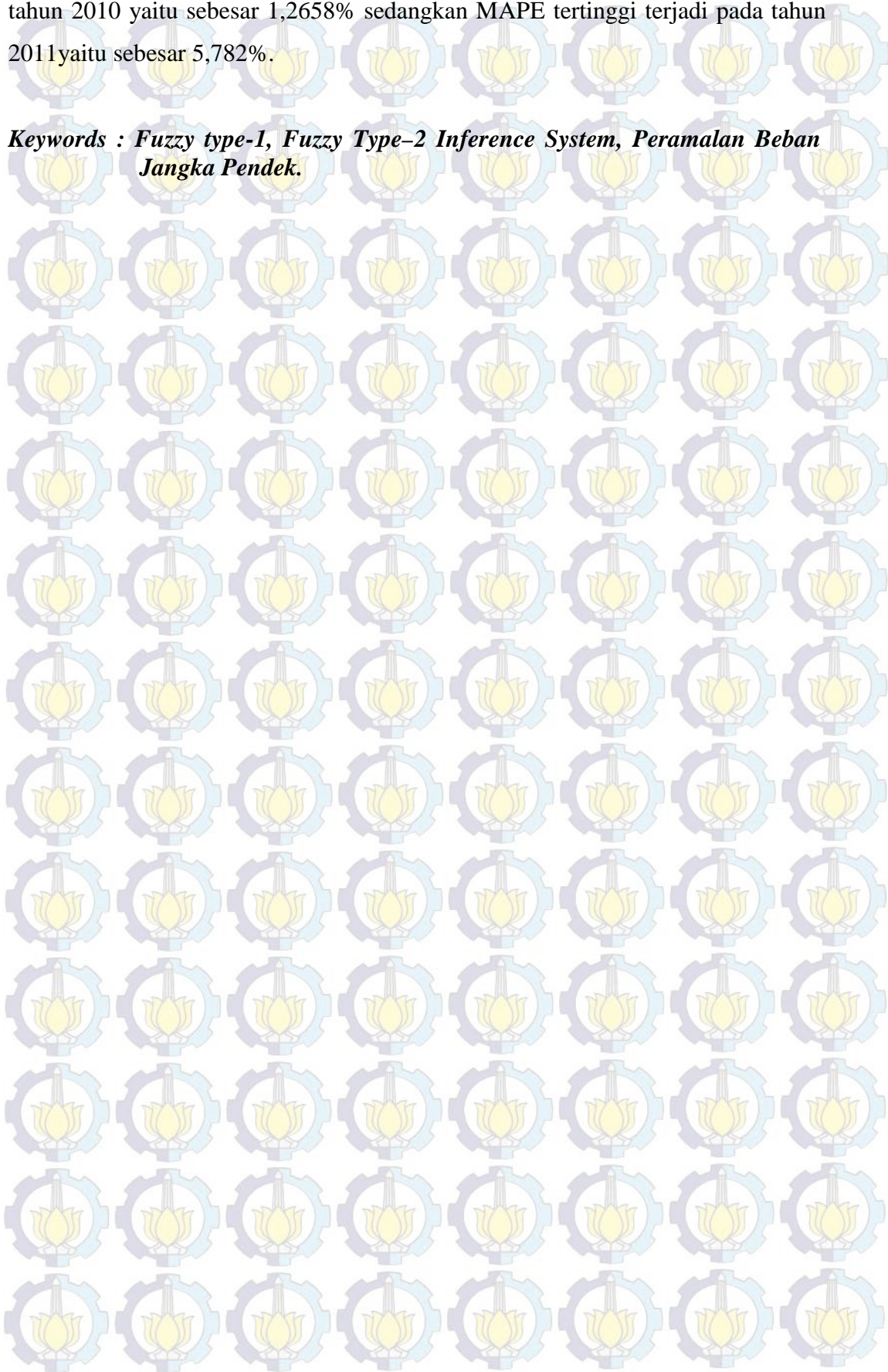
Kebutuhan energi listrik sangat dipengaruhi oleh perilaku beban yang tidak menentu. Di sisi lain, penyedia energi listrik dituntut harus mampu menjamin kontinuitas kebutuhan beban untuk saat ini dan meramalkan kebutuhan beban untuk masa yang akan datang. Perbedaan hari libur dan hari biasa mengakibatkan karakteristik beban listrik menjadi sangat kompleks dan nonlinier, Oleh karena itu masalah peramalaan beban jangka pendek sangat perlu didukung oleh metode komputasi untuk simulasi dan validasi.

Fuzzy logic adalah metode yang handal untuk peramalan beban pada sistem yang kompleks dan non-linier karena dapat mengubah variabel sistem ke bentuk linguistik dalam *reasoning approximation*. *Interval type-2 fuzzy inference system* (IT2FIS) merupakan pengembangan metode *Interval type-1 fuzzy inference system* (IT1FIS) yang sangat tepat untuk digunakan pada peramalan beban karena mempunyai kelebihan yang sangat fleksibel dalam perubahan *footprint of uncertainty* (FOU), sehingga sangat mendukung untuk membentuk pemrosesan awal data *time series*, komputasi, simulasi dan validasi model sistem.

Pada penelitian ini dilakukan simulai peramalan beban jangka pendek menggunakan *Interval type-2 fuzzy logic toolbox* (IT2FLT). Performansi error hasil prediksi yang diperoleh dari perbandingan nilai peramalan dengan nilai-nilai aktualnya ditunjukkan oleh nilai *mean absolute percentage error* (MAPE). Akurasi yang didapat dari hasil *forecasting* beban jangka pendek dengan metode permodelan fuzzy type -2 dihasilkan error secara umum lebih kecil dibandingkan dengan metode type-1. Metode peramalan tersebut memiliki MAPE terendah pada

tahun 2010 yaitu sebesar 1,2658% sedangkan MAPE tertinggi terjadi pada tahun 2011 yaitu sebesar 5,782%.

Keywords : Fuzzy type-1, Fuzzy Type-2 Inference System, Peramalan Beban Jangka Pendek.



**SHORT TERM LOAD FORECASTING FOR NATIONAL SPECIAL DAY
USING INTERVAL *TYPE-2 FUZZY INFERENCE SYSTEM*
(CASE STUDY: JAVA-BALI POWER ELECTRICAL SYSTEM)**

Student name : Hidayatul Nurohmah

Advisor : Prof. Dr. (Eng). Ir. Imam Robandi.M.T.

NRP : 2213201011

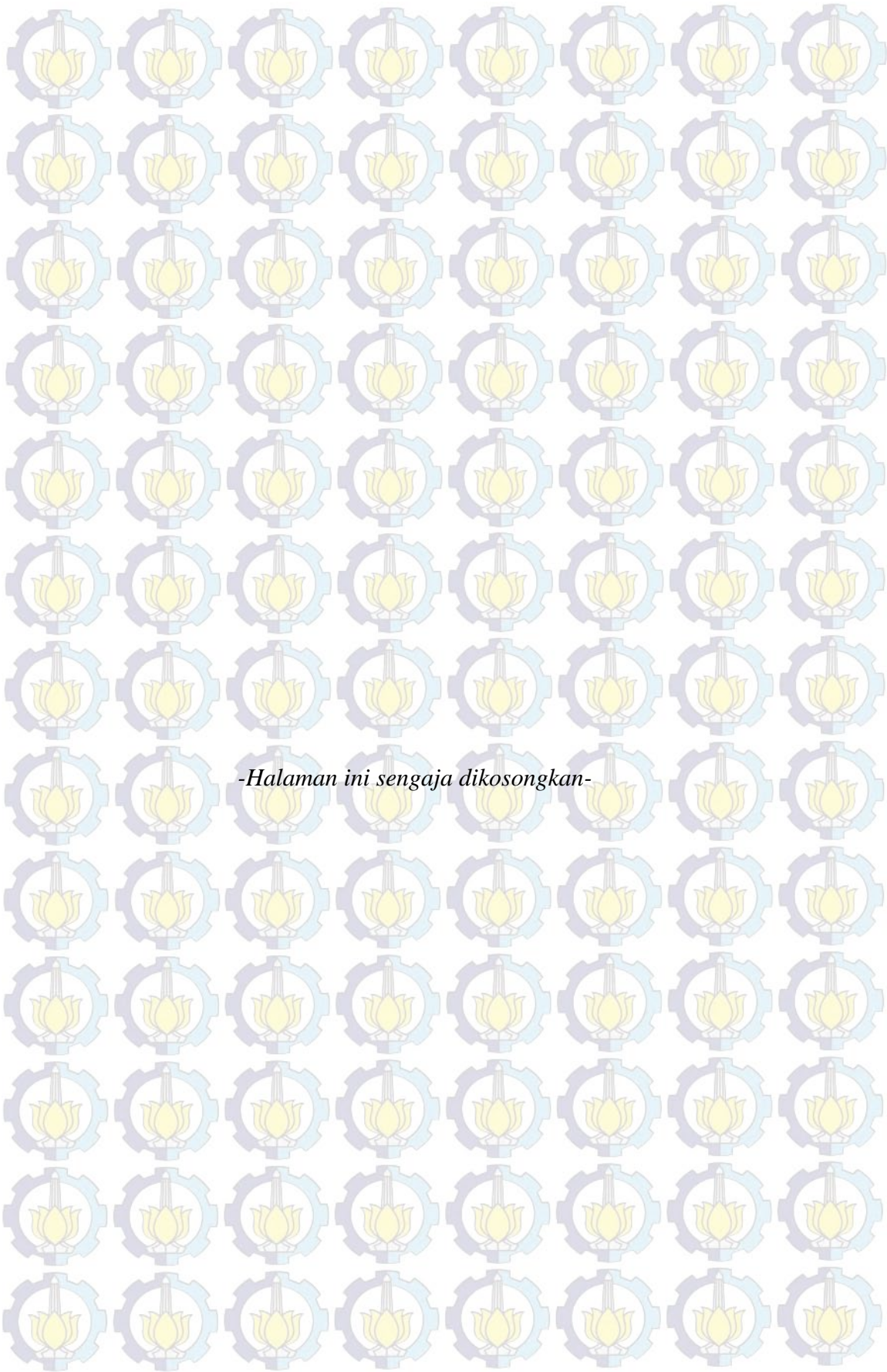
ABSTRACT

The electrical energy requirement is strongly influenced by uncertain behavior of the load. On the other side, the electric energy provider is required to be able to ensure continuity of load demand at this time, and forecast for the future. The difference of holidays and ordinary days resulted characteristics of the electrical load becomes very complex and nonlinear, therefore the problem of short-term load forecasting very need to be supported by computational methods for simulation and validation.

Fuzzy logic is a reliable method for forecasting the load on the system that complex and non-linear because it can change system variables into linguistic form through reasoning approximation. Interval type-2 fuzzy inference system (IT2FIS) as the development of methods of Interval type-1 fuzzy inference system (IT1FIS), it is appropriate to be used in load forecasting because it has the advantages that very flexible on the change of the footprint of uncertainty (FOU), so it supports to establish initial processing of the data time series , computing, simulation and validation of system models.

In this research carried out simulations of short-term load forecasting using Interval type-2 fuzzy logic toolbox (IT2FLT). The error performance of the prediction result obtained from the comparison of the value of forecasting against actual values indicated by the mean absolute percentage error (MAPE). The accuracy of the results obtained from short-term load forecasting using fuzzy type-2 method, generally resulting error is smaller than the type-1 method. The forecasting method has the lowest MAPE in 2010 in the amount of 1.2658% while the highest MAPE occurred in 2011 in the amount of 5.782%.

Keywords: Fuzzy Type-1, Fuzzy Type-2 Inference System Short-term load forecasting



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr wb.

Alhamdulillah, puji syukur ta terhingga dipanajatkan kehadiran Allah SWT karena berkat, rahmat, taufiq, dan hidayahNya, sehingga penulisan tesis telah terselesaikan, yang berjudul :

**PERAMALAN BEBAN JANGKA PENDEK UNTUK HARI LIBUR
NASIONAL MENGGUNAKAN INTERVAL
TYPE-2 FUZZY INFERENCE SYSTEM
(STUDI KASUS: SISTEM KELISTRIKAN JAWA-BALI)**

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademis bagi mahasiswa S2 untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat banyak kekurangan, untuk itu penulis mohon kritik dan saran demi kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini dapat memberi manfaat bagi semua pihak dan memberikan kontribusi untuk pengembangan teknologi khususnya pada bidang peramalan beban listrik.

Akhir kata pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya dan tak terhingga kepada:

1. Prof. Imam Robandi, selaku pembimbing. Beliau telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran, memberi semangat dan motivasi selama studi hingga menyelesaikan tesis.
2. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT, selaku dosen wali dan seluruh dosen pengajar Magister Teknik Elektro Bidang Teknik Sistem Tenaga Listrik yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya pada bidang kelistrikan.
3. Dr.Ir.Agus Dharma,M.T. dari Universitas Udayana Bali yang telah banyak membantu mengajarkan tentang teknik peramalan beban.

4. Dirjen Dikti yg telah mendukung pendanaan BPPDN.
5. Pimpinan dan staff, PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali di Cinere Jakarta Selatan, atas diberikannya ijin dan kelancaran pengambilan data-data beban.
6. Dr. HM.Mudjib Musta'in, SH.MSi. selaku Rektor Universtas Darul 'Ulum Jombang, Dekan Fakultas Teknik beserta jajarannya, yang telah membantu dalam kelancaran proses belajar.
7. Teman-teman S2 angkatan 2013, yang banyak memberikan kenangan dan pelajaran berharga semasa perkuliahan di Teknik Sistem Tenaga Listrik ITS Surabaya.
8. Seluruh mamber Lab.PSOC, yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.
9. Semua keluarga besar saya yang telah membantu proses belajar saya.

Semoga Allah SWT. membalas semua kebaikan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tesis ini.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

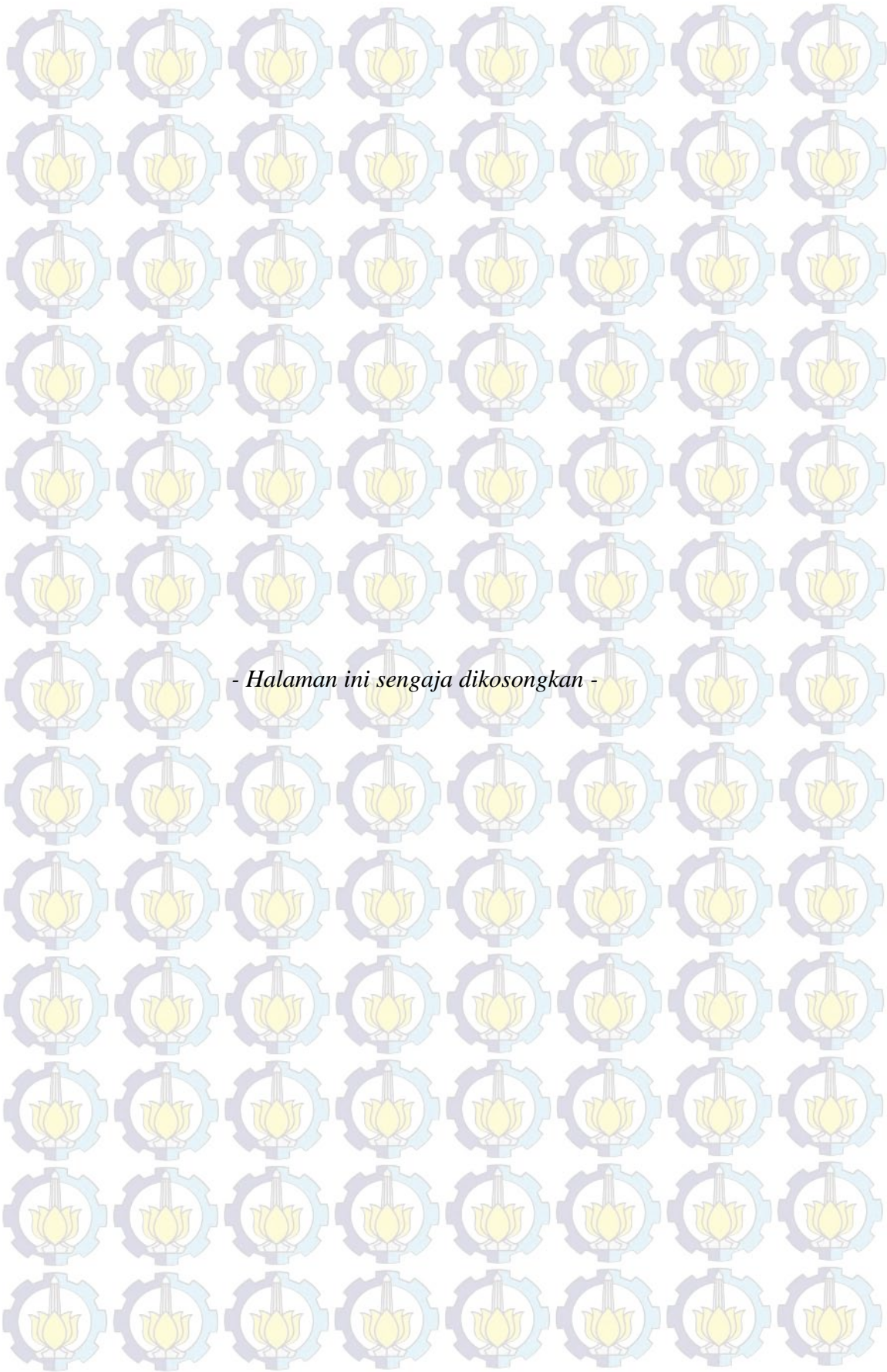
HALAMAN

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LatarBelakang	1
1.2 PerumusanMasalah	4
1.3 TujuanPenelitian	5
1.4 KontribusiPenelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Road Map Penelitian.....	7
2.2 Beban Tenaga Listrik.....	8
2.3 Karakteristik Beban	9
2.4 PeramalanBeban (<i>Load Forecasting</i>)	10
2.5 TeknikPeramalanBebanJangkaPendek	11
2.6 Logika Fuzzy (<i>Fuzzy Logic</i>)	12
2.7 Fungsi Keanggotaan Fuzzy Type-1	13
2.7.1 Representasi fungsi segitiga.....	14
2.7.2 Reprasetasi Fungsi Trapesium	14
2.8 Operasi pada Fungs KeanggotaanType-1	15
2.9. Type-1 <i>Fuzzy Inference System</i> (T1FIS).....	15
2.10. <i>Defuzzyfikasi</i>	17
2.11. <i>Interval Type-2 Fuzzy Logic</i> (IT2FL)	17
2.11.1 <i>Interval Type-2 Fuzzy Set</i> (IT2FS).....	18
2.11.2 Struktur <i>Interval Type-2 Fuzzy Logic System</i>	20
2.11.3 Fungsi Keanggotaan dan <i>Fuzzy Rules</i>	20
2.11.4 Operasi Pada Fungsi Keanggotaan Tipe-2.....	21
2.11.5 FIS Type-2	22
2.11.6 <i>Defuzzyfikasi</i>	22
2.11.6.1 Algoritma Kernik Mendel.....	23
2.11 6.2.Perhitungan <i>Centroid</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 Sistem Kelistrikan Kalimantan Selatan dan Tengah	28
3.6 Tahap Penelitian	28
3.6.1 Tahap Persiapan (<i>preprocessing</i>).....	28
3.6.2 Tahap Pengolahan (<i>processing</i>)	28
3.6.3 Tahap Lanjutan (<i>post-processing</i>).....	29
3.7 Diagram Alur Penelitian.....	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Peramalan Beban Puncak Hari Libur Nasional Menggunakan Metode type 1 Fuzzy Inference System (TiFIS).....	31
4.1.1 Fungsi Keanggotaan untuk variable Input dan Output.....	32
4.1.2 Perhitungan Nilai Variabel Input X.....	32
4.1.3 Perhitungan Nilai Variabel Input Y.....	35
4.1.4 Perhitungan Nilai Variabel Input Z	38
4.2 Peramalan Beban Puncak Untuk Hari libur Nasional Menggunakan IT2FIS	40
4.2.1 Fungsi Keanggotaan untuk Variabel Input dan Output.....	41
4.2.2 Aturan Fuzzy (<i>Fuzzy Rules</i>)	42
4.3. Implementasi Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari-Hari Libur Nasional Pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali Menggunakan Metode <i>Interval Type-2 Fuzzy Inference System (IT2FIS)</i> Dengan Data 5 Tahun Terakhir Dengan Memperhitungkan Data Aktual Tahun Peramalan	51
BAB 5 PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN A	61
LAMPIRAN B	63
LAMPIRAN C	69
LAMPIRAN D	73
BIOGRAFI PENULIS.....	89
ADENDUM	91
INDEKS.....	93

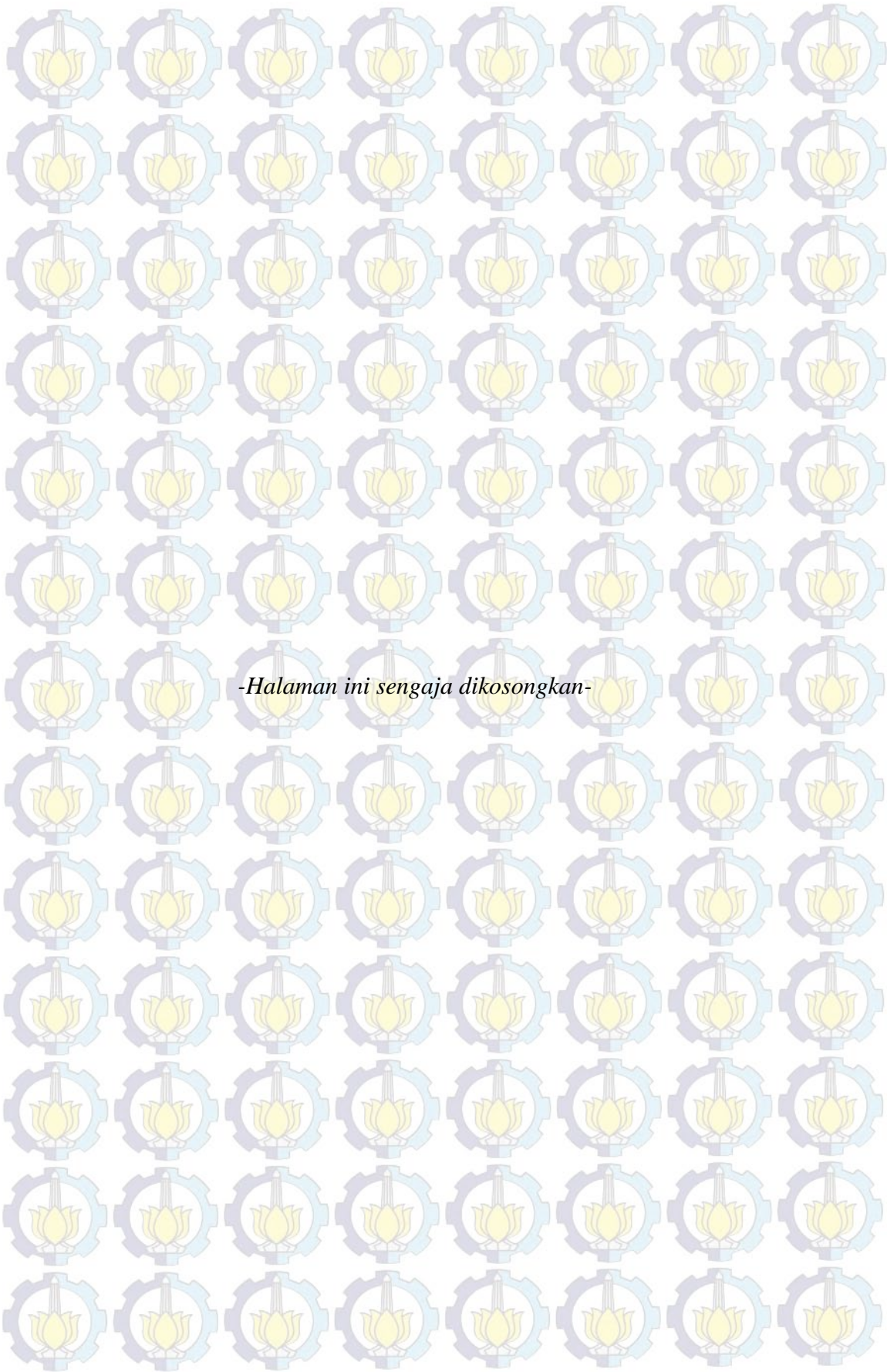
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Road Map Penelitian.....	8
Tabel 2.2 Teknik-Teknik Peramalan Beban Jangka pendek.....	11
Tabel 4.1 Libur Nasional di Indonesia mulai tahun 2010 sampai 2014.....	31
Tabel 4.2 Nilai MaxWD.LDmax.TLDmax.TLDmax dan VLD max Tahun 2007-2010	39
Tabel 4.3 Pembuatan Tabel Input (X,Y) dan Output (Z) Berdasarkan VLDMAX tahun 2009 dan 2010	46
Tabel 4.4 Proses Pembuatan Aturan Dasar untuk Input X Tahun 2010	47
Tabel 4.5 Proses Pembuatan Aturan Dasar untuk Input Y Tahun 2010	48
Tabel 4.6 Proses Pembuatan Aturan Dasar untuk Output Z Tahun 2010	49
Tabel 4.7 Tabel Aturan Dasar (<i>fuzzy rules</i>) untuk peramalan tahun 2010.....	50
Tabel 4.8 Tabel Konversi Aturan Dasar Peramalan Tahun 2010 untuk Kode Software Matlab	50
Tabel 4.9. Hasil peramalan beban jangka pendek pada hari libur nasional tahun 2010 menggunakan IT2FIS.....	51
Tabel 4.10 Hasil-hasil error peramalan beban jangka pendek untuk hari libur nasional dari tahun 2010 sampai 2014 menggunakan IT2FIS <i>Algorithm</i> pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.....	52
Tabel 4.11.Perbandingan hasil peramalan beban jangka pendek dengan beberapa metode sebelumnya untuk Peramalan beban tahun 2010	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Framework</i> untuk <i>Forecasting</i> dan Perencanaan.....	13
Gambar 2.2. Kurva Segetiga.....	14
Gambar 2.3. Kurva Trapesium.....	15
Gambar 2.4. Struktur <i>Type -1 Fuzzy Logic System</i>	16
Gambar 2.5. FIS Mamdani pada Tipe-2.....	17
Gambar 2.6. FOU (wama gelap), LMF (garis titik-titik), UMF (garis solid) dan <i>Embedded FS</i> (garis bergelombang) untuk ITZF S K.....	19
Gambar 2.7. Type-2 Fuzzy Logic System (T2FLS).....	20
Gambar 2.8. Operasi pada Membership Function Tipe-2.....	22
Gambar 2.9. FIS Mamdani pada Tipe-2.....	22
Gambar 2.10. Flow Chart Kamik-Mendel Algorithm.....	23
Gambar 3.1. Masukan dan keluaran untuk pengolahan data.....	29
Gambar 3.2. Diagram peramalan interval fuzzy type 2.....	30
Gambar 4.1. Fungsi keanggotaan Variabel <i>Input X</i> TIFIS.....	40
Gambar 4.2. Fungsi keanggotaan Variabel <i>Input Y</i> TIFIS.....	40
Gambar 4.3. Fungsi Keanggotaan Variabel <i>Output Z</i> TIFIS.....	40
Gambar 4.4. Fungsi Keanggotaan Variabel <i>Input X</i> T2FIS.....	41
Gambar 4.5. Fungsi Keanggotaan Variabel <i>Input Y</i> T2FIS.....	42
Gambar 4.6. Fungsi Keanggotaan Variabel <i>Output Z</i> T2FIS.....	42
Gambar 4.7 Grafik perbandingan error peramalan beban jangka pendek hari libur nasional.....	54
Gambar 4.8. Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2010 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System.....	55
Gambar 4.9. Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2010 (Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali).....	56



DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<i>ARMA</i>	: <i>Auto regressive Moving Average</i>
<i>ARIMA</i>	: <i>Auto regressive Integrated Moving Average</i>
<i>AAN</i>	: <i>Artificial Neural Network</i>
<i>FNN</i>	: <i>Fuzzy Neural Network</i>
<i>RBF</i>	: <i>Radial Basis Function</i>
<i>SVM</i>	: <i>Support Vecktor Machine</i>
<i>ANFIS</i>	: <i>Adiptive Neuro Fuzzy Inference System</i>
<i>LDs</i>	: <i>Load Differences</i>
<i>LD_{Max}(z)</i>	: <i>Maximum Load Differences</i>
<i>MaxWD(i)</i>	: <i>The Average Maximum Load Four days before holidays</i>
<i>MaxSD(i)</i>	: <i>The maximum peak load on Special Day (holiday)</i>
<i>TLD_{MAX}(i)</i>	: <i>The Typical Load Difference</i>
<i>VLD_{MAX}(i)</i>	: <i>Variation Load Difference</i>
<i>Forecast VLD_{MAX}(i)</i>	: <i>Forecasing Variation Load Difference</i>
<i>Forecast LD_{Max}(i)</i>	: <i>Forecasing Load Difference</i>
<i>P'Max</i>	: <i>Load forecasting</i>
<i>MAPE</i>	: <i>Mean Absolute Persentage Error</i>
\tilde{A}	: <i>Type-2 Fuzzy Set</i>
<i>J_x</i>	: <i>Primary membership of primary variable x</i>
<i>FOU (\tilde{A})</i>	: <i>Footprint of Uncertainty of IT2FS \tilde{A}</i>
<i>LMF,UMF</i>	: <i>Lower Membership Function, Upper Membership Function</i>
$\underline{\tilde{A}}(x), \overline{\tilde{A}}(x)$: <i>Lower MF, Upper MF of IT2FS \tilde{A}</i>
<i>TIFS</i>	: <i>Type-1 FuzzySet</i>
<i>IT2FLS</i>	: <i>Interval Type 2Fuzzy Logic System</i>
<i>IT2FIS</i>	: <i>Interval Type 2 Fuzzy Inference System</i>
<i>yl</i>	: <i>Switch Point Left</i>
<i>yr</i>	: <i>Switch Point Right</i>



COA : Center of Area

\bar{x}^c : Center of Mass

f^i : Fitness Function

l : Upper and Lower Limit Parameter

r : Normal Random

k : Step iteration

x^{new} : Upper and Lower Bounded

APZB : Area Pengaturandan Penyaluran Beban

PLN : Perusahaan Listrik Negara

CB : Circuit Breaker

MW : Mega Watt

Matlab : Matrix Laboratory

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik adalah salah satu kebutuhan dasar manusia pada era modern ini. Tenaga listrik tersebut banyak digunakan pada beberapa sektor seperti industri, pelayanan publik, perhotelan, pusat riset dan pendidikan dan peralatan rumah tangga. Sistem kelistrikan Jawa Bali memiliki karakteristik beban yang berbeda. Beban tersebut dipengaruhi oleh musim dan perilaku (*behavior*) dari masyarakat itu sendiri. Operator pasar (*market operators*) membutuhkan perkiraan beban listrik yang akurat, hal tersebut bertujuan untuk membuat perkiraan harga meramalkan tenaga listrik (*electrical prices*) pada pasar jual beli tenaga listrik (*electicals market*).

Beban puncak tanpa diestimasi sebelumnya dapat mempengaruhi operasi sistem tenaga listrik. Beban dan harga listrik adalah dua set informasi yang diperkirakan dalam restrukturisasi kekuatan pasar. Meramalkan kebutuhan beban dan harga yang sesuai dilakukan oleh sebuah perusahaan pembangkit (*Generator Company*) atau disingkat GENCO untuk membuat keputusan pasar yang tepat. ISO (*Independen System Operator*) merupakan *forecasting* beban yang memiliki beberapa aplikasi termasuk didalamnya adalah penjadwalan pembangkit, prediksi sistem keamanan daya cadangan, sistem pembangkitan, memberikan informasi kepada operator, dan operasi pasar. *Forecasting* yang dimaksud adalah *forecasting* beban jangka pendek. Motif dibalik semua kegiatan adalah harga listrik restrukturisasi industri listrik. *Fore price* merupakan kerangka komperhensif untuk *forecasting* harga (*price forecasting*), memiliki empat modul fungsional: Simulasi harga, harga forecasting, analisis kinerja dan analisis volatilitas. Untuk keuntungan yang maksimal harga yang diperkirakan oleh *foreprice* (harga kedepan) sebuah GENCO diperoleh dari harga dasar *unit commitment* dan mengoptimisasi daya pembangkit. Pemanfaatan pembangkit, distribusi probabilitas harga dan lonjakannya, insinyur dapat melakukan evaluasi aset pembangkit, manajemen risiko, dan penilaian opsi-opsi[1].

Studi-studi sistem tenaga terkait perspektif waktu menuntut suatu ketelitian yang tinggi dalam meramalkan beban untuk sistem tenaga karena akan meningkatkan keamanan sistem tenaga dan dapat mengurangi biaya pembangkitan. *Forecasting* beban juga sangat erat dihubungkan dengan pengoperasian sistem tenaga seperti *forecasting* beban mempunyai hubungan dekat dengan pengoperasian sistem tenaga misalnya jadwal pengiriman daya (*dispatch scheduling*), perencanaan pemeliharaan untuk unit-unit pembangkit (*maintenance units*) dan evaluasi keandalan yang menyangkut kestabilan sistem tenaga listrik (*stability*) [2]. Beban puncak yang belum dilakukan estimasi dapat mempengaruhi operasi sistem tenaga listrik seperti penjadwalan pembangkit dan alokasi unit untuk daya cadangan serta dapat mengganggu keandalan sistem tenaga listrik [2],[3]. Studi-studi yang terkait perspektif waktu mulai dari hitungan nano detik hingga sepuluh tahunan pada sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi 4: (1) *Forecasting* beban jangka panjang hitungan waktu dari 5 sampai 10 tahunan; (2) *Forecasting* beban jangka menengah yaitu beberapa bulan sampai 5 tahunan; (3) *Forecasting* beban jangka pendek yaitu beberapa jam sampai beberapa mingguan dan (4) *Forecasting* beban jangka sangat pendek yaitu beberapa menit sampai satu jam.

Untuk mencapai keseimbangan antara daya listrik yang dibangkitkan (*supply*) terhadap perubahan akibat permintaan daya beban listrik (*load demand*) pada sistem pengoperasian sistem tenaga listrik maka diperlukan informasi *forecasting* beban listrik. Apabila pada suatu sistem tenaga listrik terjadi ketidakseimbangan antara pembangkit dan beban, maka terjadi pemborosan jika pembangkit mempunyai suplai energi listrik berlebih dan terjadi pemadaman bergilir (*load shedding*) apabila terjadi beban yang berlebih sehingga mengakibatkan frekuensi di sistem turun dan respon ini dirasakan oleh *Under Frequency Relay* (UFR) untuk melakukan *trip* pada *Circuit Breaker* (CB) [4].

Untuk membuat keputusan jangka pendek (hari berikutnya) dan jangka panjang (lama) penjadwalan operasional dan pemadaman setiap hari membutuhkan sistem di EMS (*Energy Management System*). Untuk diwaspadai dan siap mengantisipasi yang mungkin sesekali timbul. Banyak perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan sebagai alat pendukung operasional bagi

operator. Fungsi-fungsi utama secara garis besar dapat diklarifikasikan sebagai berikut: Fungsi-fungsi dasar (*Base Function*), adalah kemampuan untuk memperoleh data *realtime* dari peralatan pemantauan seluruh sistem tenaga listrik serta mengolah data mentah dan mendistribusikannya untuk diolah pada sistem kontrol pusat; (2) Fungsi-fungsi pembangkitan (*Generation Function*), adalah fungsi utama yang terkait dengan penjadwalan operasional pembangkit meliputi, *forecasting* beban, *unit commitment*, *economic dispatch*, dan *Automatic General Control* (AGC) serta penjadwalan transaksi pertukaran daya listrik (*Interchange Transaction Scheduling*) dan (3) Fungsi-fungsi Analisis Jaring (*Network Analysis Function*), adalah aplikasi-aplikasi analisis jaring sistem tenaga listrik dapat dibagi ke dalam aplikasi-aplikasi *real time* yang memiliki fungsi pembelajaran sistem tenaga.

Besarnya *error* hasil *forecasting* dalam setiap penelitian adalah bervariasi, tergantung dari metode yang digunakan, tempat dan pengaruh kondisi alam. Rata-rata prediksi *error*, menjelaskan tingkat ketelitian teknik *forecasting* permintaan daya, minimum berkisar 1% dan maksimum 8% [5]. *Error* sebesar 0,386% diperoleh dari *forecasting* kurva beban harian kondisi normal menggunakan jaringan saraf tiruan, telah dilaksanakan di Indonesia yaitu penyulang Karangploso dan 0,276% untuk penyulang Wastra Indah, kemudian dengan kondisi pemadaman diperoleh *error* sebesar 0,7168% [6]. Pada akhir metode *fuzzy inference* dapat memperkecil *error* karena banyak fungsi keanggotaan menyerap perilaku beban non linear sistem tenaga jangka pendek [7]. Model regresi fuzzy yang baru diterapkan untuk meramalkan beban jangka pendek pada hari libur yang jauh dari tipe hari manapun. *Forecasting* beban tenaga listrik saat ini menunjukkan *errorforecasting* itu pada hari libur yaitu hari sabtu dan senin adalah lebih besar dibanding dengan itu dihari lain [8]. Oleh karena itu, liburan yang jauh pada hari sabtu atau senin dipelajari dan berdasarkan analisa regresi linear fuzzy kemudian diperkenalkan koefisien relatif untuk meningkatkan ketelitian prediksi.

Karakteristik beban puncak hari-hari spesial dalam kondisi beban anomali, seperti hari libur, hari libur berturut-turut, dan hari-hari sebelum setelah liburan akan berbeda dari hari-hari biasa [9], [10]. Secara umum, nilai beban hari-hari spesial atau khusus cenderung menurun karena perilaku beban tidak sama antar

hari libur dibanding dengan hari kerja normal sepanjang tahun [3]. *Forecasting* runtun waktu digunakan untuk menyelidiki hubungan-hubungan sekuensial set data terukur pada waktu lampau untuk meramalkan nilai-nilai yang akan datang. Pada penelitian ini untuk dapat meramal dengan tepat, maka diperlukan suatu metode yang andal. Metode yang digunakan pada peramalan beban jangka pendek adalah fuzzy type 2 untuk meramalkan beban pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti yaitu :

1. Bagaimana bentuk pemrosesan awal data *time series*, membuat metode komputasi, mensimulasikan, menguji, dan memvalidasi model sistem *forecasting* beban jangka pendek menggunakan permodelan fuzzy type 2 untuk *forecasting* beban hari libur pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.
2. Seberapa besar akurasi yang didapat dari hasil *forecasting* beban jangka pendek dengan metode permodelan fuzzy type 2 dibandingkan dengan kondisi aktual puncak hari libur pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.
3. Bagaimana teknik baru permodelan *rule* fuzzy type 2 dapat menyelesaikan permasalahan *forecasting* beban hari libur pada sistem kelistrikan Jawa-Bali

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mendapatkan bentuk pemrosesan awal data *time series*, membuat metode komputasi, mensimulasikan, menguji, dan memvalidasi model sistem *forecasting* beban jangka pendek menggunakan permodelan fuzzy type 2 untuk *forecasting* beban hari libur pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.
2. Dapat menerapkan seberapa besar akurasi yang didapat dari hasil *forecasting* beban jangka pendek dengan metode permodelan fuzzy type 2 dibandingkan dengan kondisi aktual puncak hari libur pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.

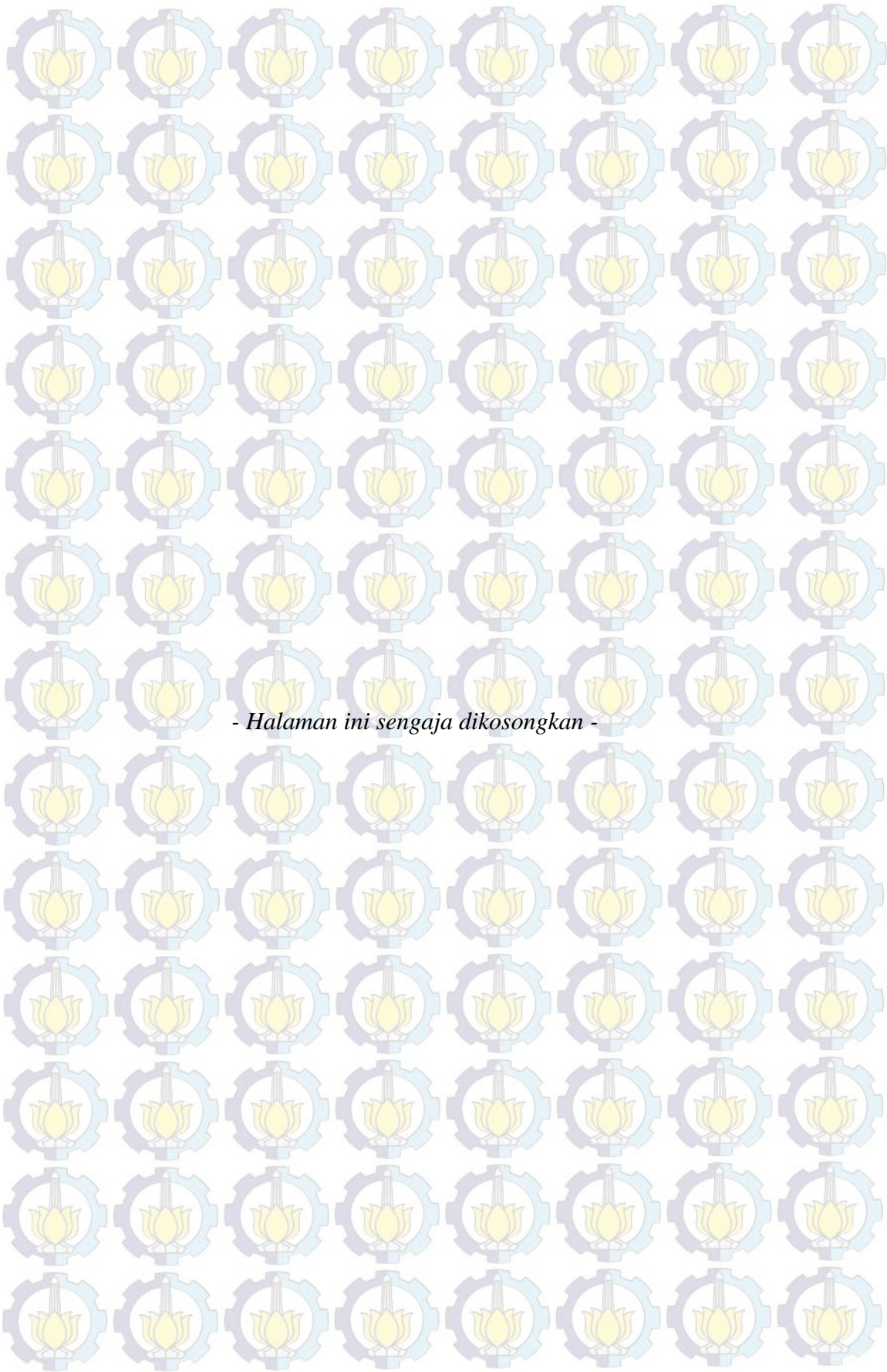
3. Dengan menggunakan teknik baru pemodelan *rule* fuzzy type 2 dapat menyelesaikan permasalahan *forecasting* beban hari libur pada sistem kelistrikan Jawa-Bali.

1.4 Kontribusi penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khusus pada permasalahan yang berkaitan dengan *forecasting* beban jangka pendek untuk hari-hari libur Nasional menggunakan interval type -2 fuzzy inferensi sistem pada sistem kelistrikan Jawa-Bali berdasarkan kalender.

Kontribusi *forecasting* beban jangka pendek ini meliputi :

1. *Forecasting* hanya menggunakan lima data historis yaitu data beban puncak empat hari sebelum hari libur (h-4) dan satu data di hari h, untuk meramalkan (*forecasting*) besar beban puncak di hari libur (hari ke-h) menggunakan permodelan fuzzy type 2.
2. Ditemukan teknik baru dalam *forecasting* dilengkapi fuzzy type 2
3. Mengimplementasi metode *fuzzy type-2*
4. *Forecasting* ini lebih memberikan batas nilai yang mungkin (*a range of possibilistic values*), sehingga hasil yang diharapkan masih mampu menampilkan batasan nilai-nilai yang diijinkan.
5. Dapat memberikan informasi dalam rangka memprediksi suatu perilaku beban listrik khususnya Jawa-Bali untuk kemudian dipakai dalam mengambil suatu kebijakan terhadap suatu fungsi dasar pengoperasian sistem tenaga listrik yang meliputi: *Unit Commitment, Economic Dispatch, Fuel Scheduling, Unit Maintenance*.
6. Dapat dijadikan acuan, masukan, pertimbangan dan diaplikasikan langsung oleh Perusahaan listrik Negara (PLN) dalam penyediaan kebutuhan daya optimal antara supply dan demand sehingga tidak terjadi pemborosan daya disisi pembangkit (*supply*) atau kekurangan daya yang mengakibatkan pemadaman bergilir disisi beban (*demand*)
7. Dapat membantu Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) dalam memprediksi peramalan beban pada sistem kelistrikan Jawa-Bali



- Halaman ini sengaja dikosongkan -

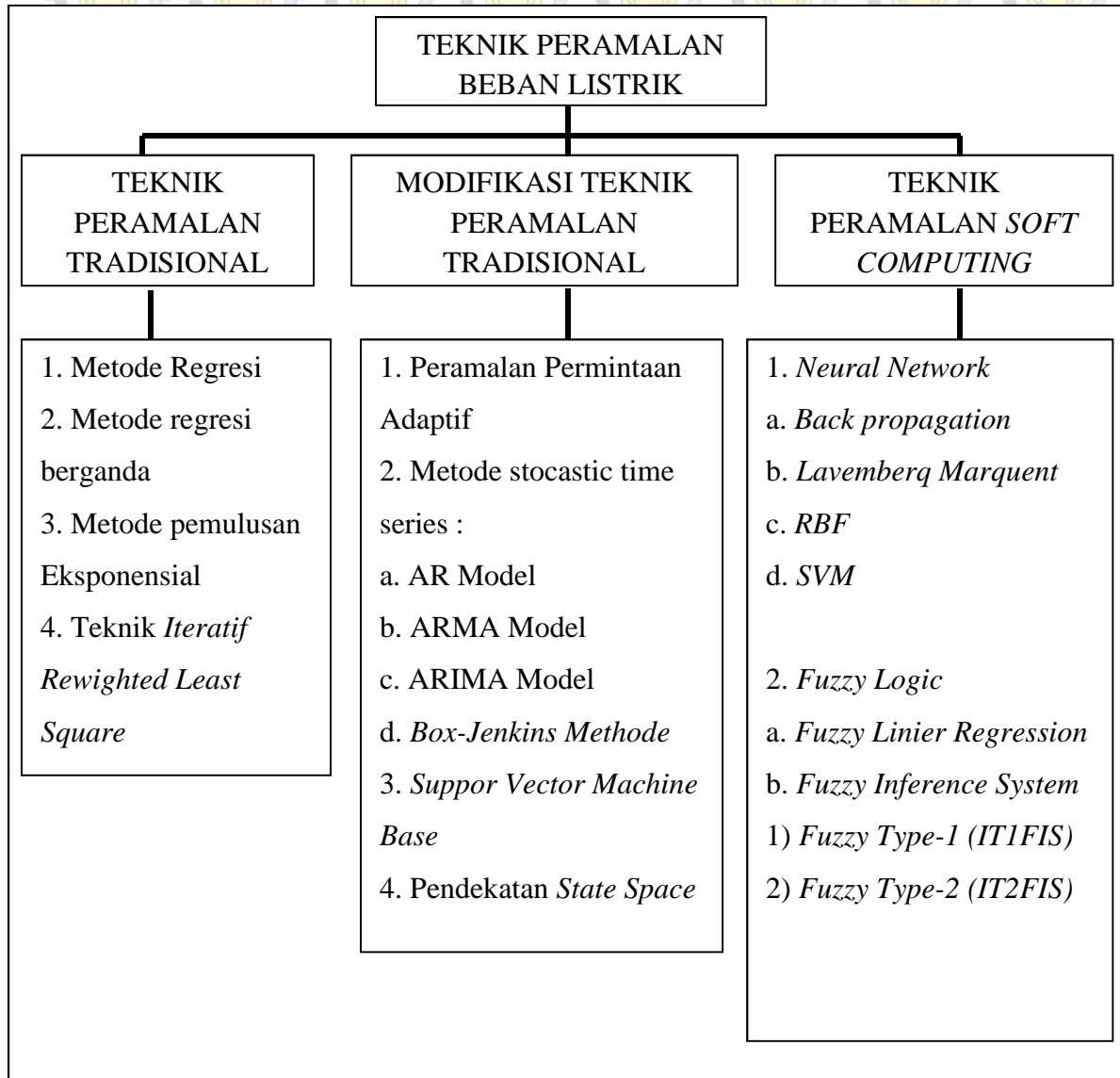
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Road Map Penelitian

Kecenderungan dunia nasional dan internasional pada teknik-teknik peramalan beban tenaga listrik, untuk mengurangi ketidak pastian dan sifat ketidaklinieran sistem dalam peramalan beban tenaga listrik [1], Besarnya error dalam setiap penelitian bervariasi tergantung dengan metode yang digunakan dan tempat yang berhubungan dengan perilaku tempat pengaruh kondisi alam dan masyarakatnya [1,2,3,]. Rata-rata prediksi error yaitu menjelaskan tingkat ketelitian teknik ramalan permintaan daya, minimum berkisar 1% dan maksimum error berkisar 8% [2].

Metoda peramalan jangka pendek pada hari libur menggunakan artificial intelligent sudah dikembangkan peneliti sebelumnya seperti menggunakan Fuzzy linier Regression method [4,7] dan menggunakan Fuzzy inference system (IT2FIS) untuk hari libur nasional [1.2]. Metode ini akan disajikan menggunakan data lima tahun terakhir pada sistem kelistrikan Jawa Bali. Performansi error hasil peramalan diperoleh dari perbandingan nilai peramalan beban puncak dengan nilai aktualnya dan nilai beban puncak peramalan ditunjukkan oleh nilai mean absolute percentage error (MAPE). Karena luasnya pengetahuan tentang teknik – teknik dan metode yang digunakan dalam peramalan beban listrik, maka penulis perlu mengetahui posisi dari penelitian ini. Posisi penelitian ini tentang peramalan beban listrik jangka pendek hari libur nasional pada sistem kelistrikan Jawa Bali menggunakan interval type-2 fuzzy inference system (studi kasus : sistem Kelistrikan Jawa-Bali) yang dilakukan oleh penulis adalah masuk dalam kelompok teknik soft computing menggunakan artificial intelligent (AI). Berikut posisi penelitian yang dilakukan penulis ditunjukkan dengan Gambar 2.1. dengan tulisan warna biru sebagai berikut :

Tabel 2.1 Beberapa Penelitian Sebelumnya



2.2. Beban Tenaga Listrik

Daya listrik yang didistribusikan kepada pelanggan atau konsumen oleh pemasok tenaga listrik (*Utility*) digunakan untuk keperluan sehari-hari seperti lampu, kipas angin, televisi, radio, dan lain-lain. Menurut pembagian konsumen, pemakaian beban di kelompokkan dalam katagori sebagai berikut [11]:

1. Rumah Tangga (Residen) yaitu pemakaian beban yang meliputi peralatan rumah tangga seperti beban penerangan (lampu), kipas angin, televisi, radio, dan lain-lain.

2. Bisnis yaitu pemakaian beban yang meliputi beban pada bangunan komersil atau perdagangan seperti restoran, toko, bengkel, dan lain-lain
3. Umum/Publik yaitu pemakaian beban pada layanan masyarakat/kepentingan umum yang cukup besar seperti rumah sakit, kantor pemerintahan, dan lain-lain.
4. Industri yaitu pemakaian beban yang digunakan pada industri, baik industri berskala besar maupun industri berskala kecil. Beban yang digunakan besar karena untuk menunjang produksi suatu perusahaan.

Beban puncak (P_{max}) adalah nilai terbesar dari pembebanan sesaat pada suatu interval waktu tertentu atau beban tertinggi yang harus dipikul oleh sistem tenaga listrik pada interval waktu tertentu.

2.3. Karakteristik Beban

Karakteristik beban sangat penting dalam menentukan parameter pada peramalan beban (*load forecasting*). Karakteristik perubahan besarnya daya yang diterima oleh beban sistem tenaga listrik setiap saat pada interval waktu tertentu dikenal dengan kurva beban harian [11],[12]. Penggambaran kurva beban dilakukan dengan cara mencatat besarnya beban persatuan waktu (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.

Sehingga faktor yang mempengaruhi karakteristik beban antara lain [11]:

- a. Faktor kebutuhan adalah perbandingan antara total kebutuhan maximum pada suatu sistem tenaga listrik dengan total beban yang terpasang pada sistem tersebut. Faktor kebutuhan tergantung pada jenis dan kegiatan dari konsumen, berapa besarnya tergantung lokasi dan sistem tenaga.
- b. Faktor beban adalah perbandingan rata-rata beban pada periode waktu tertentu yang direncanakan terhadap beban puncak yang terjadi pada periode tersebut. Faktor beban hanya mengukur variasi dan tidak menyatakan penunjukan yang tepat dari durasi kurva beban.
- c. Faktor penggunaan adalah perbandingan antara beban maximum (P_{max}) terhadap kapasitas terpasang.

2.4. Peramalan Beban (*Load Forecasting*)

Forecasting adalah objektif, ilmiah (*scientific*), bisa dilakukan berulang-ulang (*reproducible*), bebas oleh praduga individu, ada kemungkinan *error* di dalamnya, mengacu pada tingkat besaran (*measurement*). *Forecasting* secara kualitatif adalah *forecasting* dengan analisis data dinyatakan tidak berbentuk angka yaitu berupa data nominal (contoh : jenis kelamin, status kawin) dan data ordinal (contoh: kategori tentang sikap dengan skor) sedangkan *forecasting* kuantitatif adalah *forecasting* dengan analisis data menggunakan data-data berupa angka diperoleh melalui pengukuran yaitu data interval (contoh: suhu ruangan) dan rasio (contoh: perbandingan 1°C dengan 1°F) sehingga dimungkinkan untuk operasi matematika di dalamnya [13].

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, masalah peramalan beban merupakan masalah yang sangat penting dalam perusahaan. Baik dari segi management maupun dalam operasional sehingga peramalan beban memiliki perhatian khusus. Adapun peramalan beban dibagi menjadi beberapa kelompok [4]:

1. Peramalan Beban Jangka Panjang (*long term load forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka waktu diatas lima tahun. Pada peramalan beban jangka panjang biasa digunakan untuk perencanaan dan pengembangan sebuah sistem (*planning*), dimana 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 waktu satu bulan sampai lima tahun. Peramalan beban jangka menengah tidak lepas dari peramalan beban jangka panjang, sehingga beban jangka panjang tidak akan jauh menyimpang dari peramalan beban jangka panjang. Dalam peramalan jangka menengah, biasanya digunakan untuk aspek operasional sistem tenaga listrik seperti kemampuan kapasitas panel circuit breaker (CB) atau Transformator, memperluas jaringan distribusi sehingga tidak banyak yang dilakukan dalam peramalan beban jangka menengah.

3. Peramalan beban jangka pendek (*short term load forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu. Dalam peramalan beban jangka pendek terdapat batas atas beban maksimum (P_{max}) dan batas bawah beban minimum (P_{min}) 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 short term load forecasting*) yaitu peramalan beban untuk jangka waktu dibawah satu jam (jam, menit, detik). Peramalan beban jangka sangat pendek digunakan untuk beberapa kasus tertentu (*special case*).

2.5. Teknik Peramalan Beban Jangka Pendek

Ada beberapa teknik-teknik peramalan beban jangka pendek yang populer misalnya pendekatan menggunakan *Stochastic time series*. Saat ini banyak perusahaan listrik menggunakannya karena mempermudah pemahaman, implementasi, dan keakuratan hasilnya. Ide ini awalnya diusulkan untuk menangani proses-proses algoritma nonstasioner terutama didasarkan pada penerapan *autoregressive moving average* (ARMA) atau model *autoregressive integrated moving average* (ARIMA) dengan data historis. Analisis statistik ini kemudian digunakan untuk memperkirakan model parameter. Namun, kelemahan dari teknik ini adalah bahwa ia memerlukan waktu komputasi yang besar untuk identifikasi parameter. Ragam teknik-teknik peramalan yg lain diperlihatkan pada Tabel 2.2. berdasarkan keuntungan dan kerugiannya.

Tabel 2.2. Teknik-Teknik Peramalan Beban Jangka Pendek

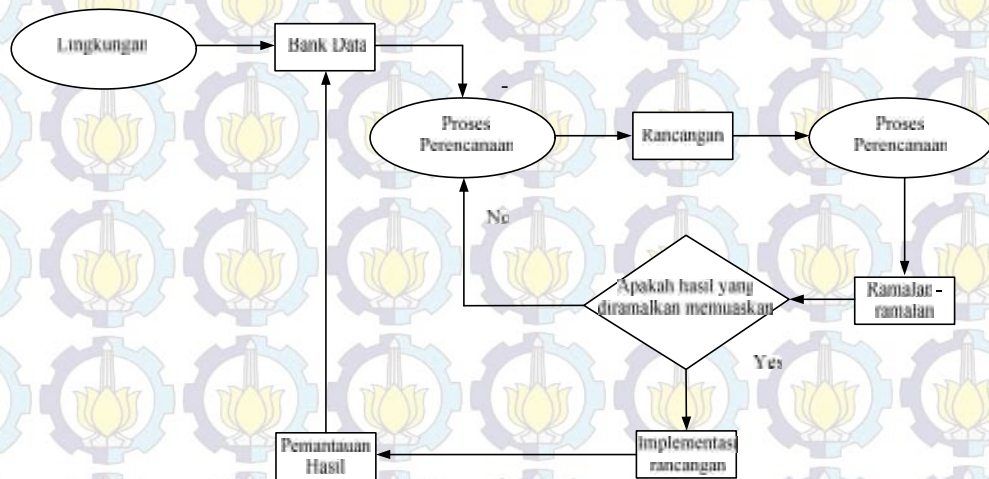
No	Ragam teknik Peramalan Jangka Pendek	Keuntungan	Kerugian
1	<i>Stochastic Time Series</i>	Kemudahan pemahaman dan implementasi serta keakuratan hasilnya	Waktu komputasi yang lebih lama untuk identifikasi parameter
2	<i>Multiple Regression</i>	Dapat memodelkan hubungan konsumsi beban	Menemukan hubungan fungsional antara variabel cuaca

		dan faktor lainnya seperti cuaca, jenis hari, dan kelas pelanggan	dan permintaan beban adalah sulit
3	<i>Expert System</i>	Menggabungkan aturan dan prosedur yang digunakan oleh para ahli ke dalam perangkat lunak, kemudian dapat secara otomatis membuat perkiraan tanpa bantuan orang	Pekerjaan terbaik hanya ketika para ahli yang tersedia. Pengetahuan seorang ahli juga harus sesuai untuk kodifikasi ke dalam aturan perangkat lunak.
4	<i>Fuzzy Logic (FL)</i>	Dapat memodelkan ketidak pastian data karena sering dijumpai dalam kehidupan nyata. Hal ini dapat secara bersamaan menangani data numerik dan pengetahuan linguistik.	Memerlukan pemahaman menyeluruh tentang variabel fuzzy demikian juga pertimbangan yang baik untuk memilih aturan fuzzy dan fungsi keanggotaan
5	<i>Artificial Neural Networks (ANNs)</i>	Menggabungkan kedua pendekatan <i>time series</i> dan regresi. Dapat melakukan pemodelan nonlinier dan adaptasi dengan tidak memerlukan asumsi hubungan fungsional antara variabel cuaca dan beban.	Ketidakkampuan suatu JST untuk memberikan wawasan tentang sifat dari masalah yang dipecahkan dan untuk menetapkan aturan untuk pemilihan topologi jaringan optimal
6	<i>Fuzzy Neural Networks</i>	Beberapa ketidakpastian dalam hubungan pola input / output dihapuskan oleh FL sehingga dapat meningkatkan efektivitas JST	-

2.6. Logika Fuzzy

Teori Fuzzy pertama kali dikenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 di California University. Sekarang ini, fuzzy banyak digunakan untuk berbagai macam penelitian untuk mengatasi kekurangan yang dipunyai oleh teori Boolean.

Pada teori Boolean hanya dikenal dua keadaan yaitu 0 dan 1, besar dan kecil, panjang atau pendek Sehingga hanya dapat diketahui nilai ekstrim dari suatu keadaan. Padahal terkadang dibutuhkan suatu keadaan yang betul-betul mempresentasikan keadaan nyata. Teori fuzzy memberikan solusi dari masalah ini. Teori fuzzy mendefinisikan keadaan dalam himpunan yang kontinyun dari nol sampai satu.



Gambar 2.1. Framework untuk *Forecasting* dan Perencanaan [14]

Ebrahim Mamdani dari Queen Mary Collage di London merancang sebuah pengendali fuzzy untuk mesin uap dan tangki pencampur, sejak saat itu fuzzy mempunyai arti penting dalam rnenangani masalah yang kompleks. Penerapan himpunan fuzzy dalam bidang pengendalian telah terbukti dapat menyelesaikan masalah-masalah yang ditemui dalam bidang pengendalian. Penerapan kontroller fuzzy dalam industri-industri banyak dipelopori para ahli Jepang, misalnya Prof Sugeno dan kawan-kawan dari *Tokyo Institute of Technology* yang melakukan penelitian dasar komputasi fuzzy, sedang Togai dan Watanabe dari Bell Telephone Labs berhasil menciptakan untuk pertama kali chip logika fuzzy.

2.7 Fungsi Keanggotaan Fuzzy Tipe-1

Pemetaan atau *mapping* data input kedalam derajat keanggotaan yaitu berupa sebuah himpunan fuzzy, disebut Fuzzifikasi atau fungsi keanggotaan (*membership function*). Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan, namun yang digunakan disini adalah mrepresentasi dari fungsi segitiga dan fungsi trapesium, didefinisikan, sebagai berikut :[2]

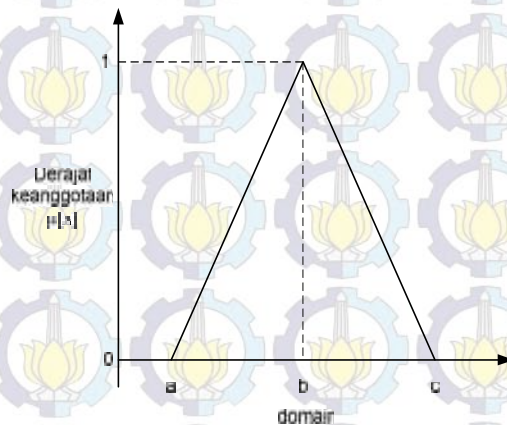
2.7.1. Representasi Fungsi Segitiga

Fungsi keanggotaan kurva segitiga didefinisikan dengan Persamaan 2.1-2.2.

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.1)$$

$$f(x, a, b, c) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \quad (2.2)$$

Parameter a dan c menyatakan “kaki” dari segitiga, sedang b menyatakan “puncak” dari segitiga dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kurva Segitiga

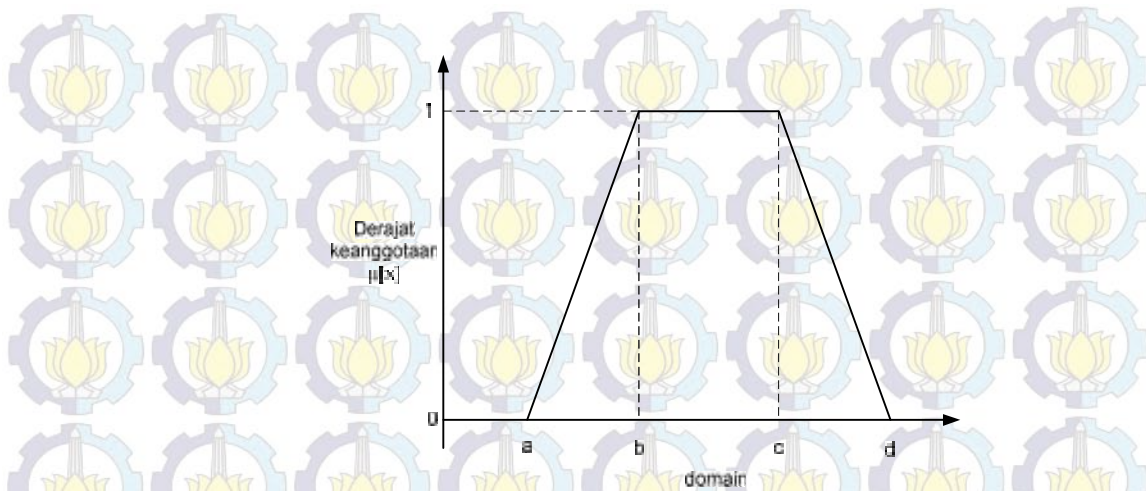
2.7.2. Representasi Fungsi Trapezium

Fungsi keanggotaan trapesium didefinisikan dengan Persamaan (2.3) dan (2.4).

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2.3)$$

$$f(x, a, b, c, d) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \quad (2.4)$$

Parameter a dan d menyatakan “kaki” dari trapesium, sedang b dan c menyatakan “bahu” dari trapesium.



Gambar 2.3. Kurva Trapesium

2.8 . Operasi Pada Fungsi Keanggotaan Tipe-1

Beberapa operasi dasar yang diberlakukan pada himpunan fuzzy A dan B dari semesta X dengan tingkat keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(x)$ untuk $x \in X$ adalah :

a. Operasi 'OR' (Union)

Operasi himpunan union antara dua himpunan fuzzy A dan B dinyatakan:

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu(A), \mu(B)); x \in X \quad (2.5)$$

b. Operasi 'AND' (Irisan)

Operasi himpunan berisan antara dua himpunan fuzzy A dan B dinyatakan:

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu(A), \mu(B)); x \in X \quad (2.6)$$

c. Operasi 'Probabilistik berkomplemen'

Operasi himpunan berkomplemen antara dua himpunan fuzzy A dan B dinyatakan dengan :

$$\sim_A(u) = 1 - \mu_A(u), u \in U \quad (2.7)$$

2.9. Type-1 Fuzzy Inference System (T1FIS)

Inferensi logika fuzzy mempunyai kesamaan dengan penalaran manusia.

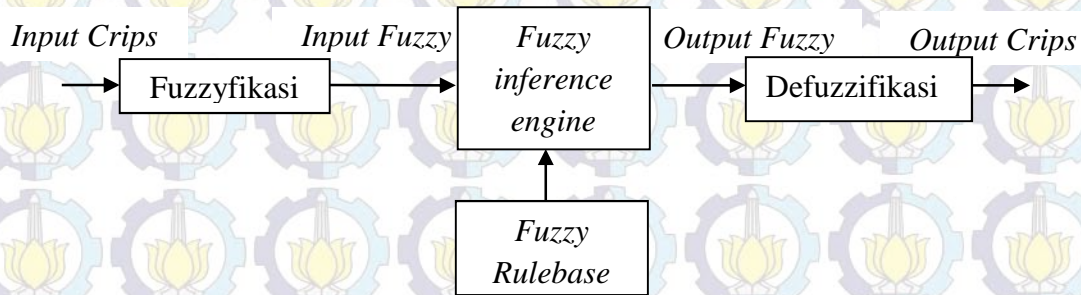
Inferensi fuzzy terdiri atas:

- a. Pengetahuan (*knowledge*): melibatkan penalaran fuzzy yg dinyatakan sebagai aturan dalam bentuk :

IF (jika) x is A , *THEN* (maka) y is B , x dan y adalah variable fuzzy, A dan B adalah nilai fuzzy. Pernyataan pada bagian premis dapat melibatkan penghubung (*connective*) logika *AND* dan *OR*.

Contoh: *IF x is A AND y is B THEN z is C*

- b. Fakta: merupakan masukan fuzzy yang harus dicari inferensi (konklusinya) dengan menggunakan aturan fuzzy. Masukan fakta tidak harus sama dengan basis pengetahuan.
- c. Konklusi: inferensi yg sepadan (*matched*) parsial diperoleh berdasarkan fakta fuzzy dan basis pengetahuan fuzzy.

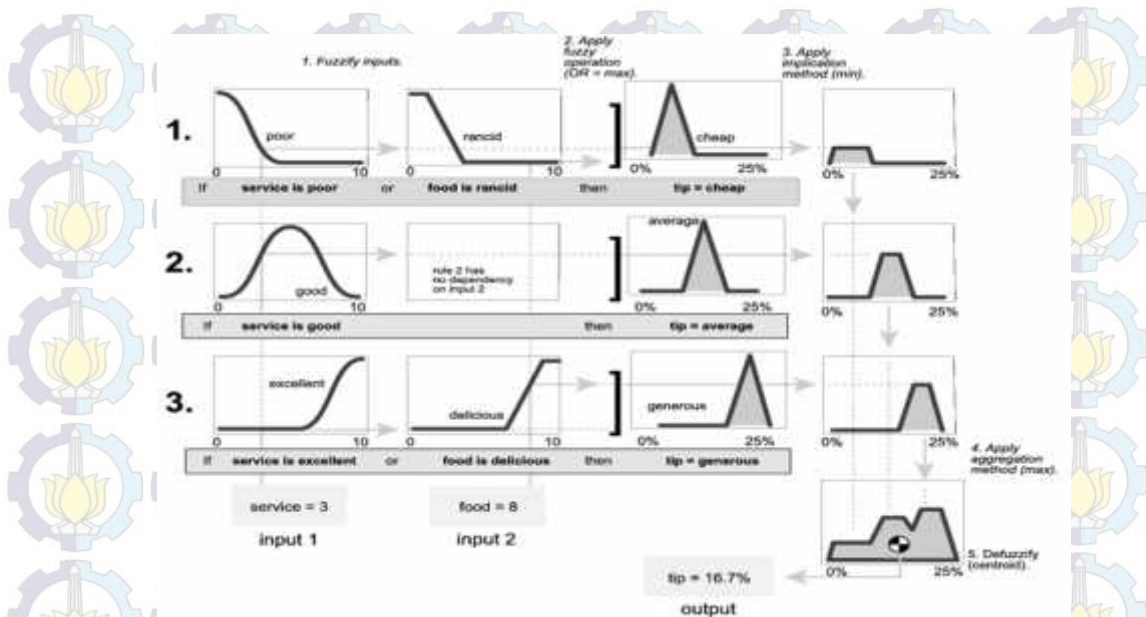


Gambar 2.4 Struktur Type -1Fuzzy Logic System

Metode Mamdani sering dikenal dengan metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Ada 6 tahapan yg diperlukan untuk mendapatkan output :

1. Variabel Input dan Output berupa pembentukan himpunan fuzzy
2. Aturan-aturan Fuzzy (*Fuzzy Rules*)
3. Operasi membership function (operator fuzzy dipakai adalah AND)
4. Aplikasi fungsi implikasi (*Implication*), pada umumnya fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN
5. Komposisi aturan (*Agregation*)
6. Penegasan (*Defuzzification*)

Kelima proses tersebut dapat digambarkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. FIS Jenis Mamdani [30]

2.10. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi adalah proses pemetaan dari hasil inferensi ke daerah aksi kontrol *nonfuzzy (crisp)*. Pada implementasi kontrol real time logika fuzzy, defuzzyfikasi digunakan adalah *Center of Area (COA)*. Defuzzyfikasi COA menghasilkan pusat gravitasi dari distribusi aksi kontrol dinyatakan :

$$z^* = \frac{\sum_{k=1}^m V_k \mu_v(V_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(V_k)} \quad (2.8)$$

Variabel z^* , m , dan V_k didefinisikan sebagai berikut:

z^* = nilai output.

m = tingkat kuantisasi.

V_k = elemen ke-k.

$\mu_v(V_k)$ = membership degree elemen pada fuzzy set v

2.11. Interval Type-2 Fuzzy Logic (IT2FL)

Sebuah sistem logika fuzzy tipe-1 sering kali basis pengetahuan yang digunakan untuk membangun aturan-aturan dalam sebuah *fuzzy logic system*

(FLS) adalah tidak menentu. Ada tiga alasan mengapa ketidaktentuan aturan-aturan bisa terjadi, yaitu [16]:

1. Kata yang digunakan sebagai *antecedents* and *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*. Type-1 FLS, yang membership functionnya berupa himpunan fuzzy tipe-1, tidak bisa secara langsung menangani ketidakpastian aturan type-2 FLS, sedangkan *antecedent* atau *consequent* fungsi keanggotaan himpunan fuzzy tipe-2, mampu mengenai ketidakpastian aturan.

Konsep ketidakpastian dari himpunan fuzzy tipe-2 pertama kali dikenalkan oleh Zadeh, sebagai pengembangan dari konsep *ordinary fuzzy set*. Himpunan fuzzy tipe-2 memiliki tingkatan keanggotaan yang mereka sendiri adalah fuzzy. Tingkatan pada himpunan fuzzy tipe-2 bisa berada pada subset keanggotaan primer, dan pada subset keanggotaan sekunder. Sama dengan FLS type-1, FLS type-2 juga meliputi fungsi keanggotaan, FIS, dan defuzzyfikasi.

2.11.1. Interval Type-2 Fuzzy Set (IT2FS)

Sebuah IT2FS \tilde{A} , karakteristiknya dikenali oleh Persamaan (2.9) berikut ini:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x \subseteq [0,1]} 1/(x, u) = \int_{x \in X} \left[\int_{u \in J_x \subseteq [0,1]} 1/u \right] / x \quad (2.9)$$

X adalah variabel primer, mempunyai domain ; $u \in U$, variabel sekunder, mempunyai domain J_x , untuk setiap $x \in X$; J_x disebut *primary membership* dari x dan didefinisikan pada Persamaan (2.15); dan, *secondary grades* dari \tilde{A} semua sama dengan 1. Perhatikan dalam Persamaan (2.13) memberikan arti: $\tilde{A}: X \rightarrow \{[a, b] : 0 \leq a \leq b \leq 1\}$. Ketidakpastian terhadap \tilde{A} dinyatakan dengan

gabungan dari seluruh *primary membership*, disebut *footprint of uncertainty* (*FOU*) of \tilde{A} (lihat Gambar 2.10), i.e.

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{\forall x \in X} J_x = \{(x, u) : u \in J_x \subseteq [0, 1]\} \quad (2.10)$$

Gambar 2.6 menunjukkan bahwa *Upper membership function* (UMF) and *lower membership function* (LMF) dari \tilde{A} adalah dua type-1 MFs terikat membentuk *FOU*. UMF tersebut dikaitkan dengan batas atas $FOU(\tilde{A})$, dilambangkan dengan $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \forall x \in X$, dan LMF dikaitkan dengan batas bawah dari $FOU(\tilde{A})$, dan dilambangkan oleh $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \forall x \in X$

$$J_x = \{(x, u) : u \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)]\} \quad (2.11)$$

$$\underline{\mu}_{\tilde{A}} \equiv FOU(\tilde{A}) \quad \forall x \in X \quad (2.12)$$

Perhatikan bahwa J_x adalah sebuah set interval diberikan pada Persamaan (2.13),

$$J_x = \{(x, u) ; u \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)]\} \quad (2.14)$$

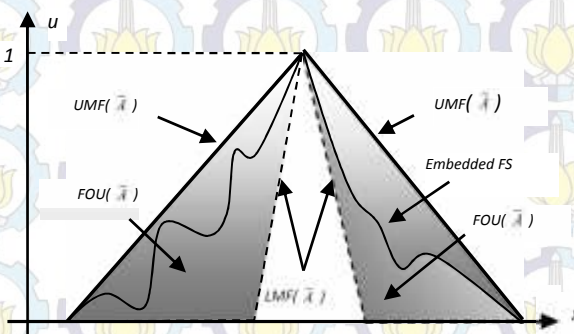
Sehingga $FOU(\tilde{A})$ pada Persamaan (2.10) dapat diekspresikan menjadi:

$$FOU(\tilde{A}) \equiv \bigcup_{\forall x \in X} [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)] \quad (2.15)$$

untuk semesta pembicaraan yg kontinu X dan U , dan *embedded IT2FS* \tilde{A} adalah,

$$\tilde{A}_e \equiv \int_{x \in X} [1/u] / x \quad u \in J \quad (2.16)$$

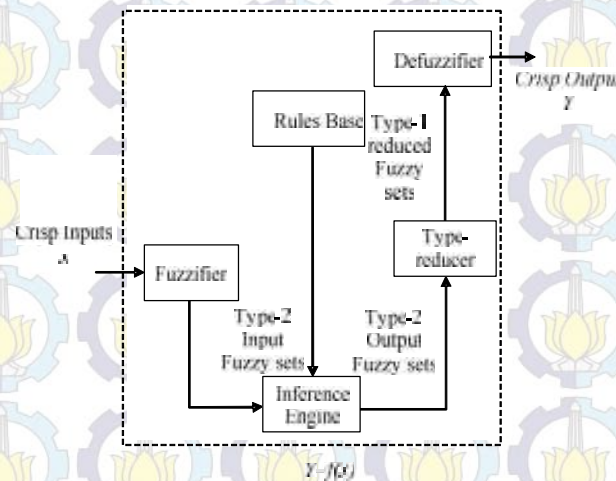
Perhatikan bahwa Persamaan (2.15) dimaksudkan adalah: $\tilde{A}_e : X \rightarrow \{u : 0 \leq u \leq 1\}$ Set dari \tilde{A}_e adalah menyatu di \tilde{A} sedemikian hingga sehingga setiap x hanya memiliki *secondary variable* (contohnya satu membership primer memiliki grade sekunder sama dengan 1). Contoh \tilde{A}_e adalah $1/\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ dan $1/\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \forall x \in X$.



Gambar 2.6. FOU (warna gelap), LMF (garis titik-titik), UMF (garis solid) dan *Embedded FS* (garis bergelombang) untuk IT2FS \tilde{A} [22]

2.11.2. Struktur IT2FLS

Sebuah IT2FLS berisi lima komponen yang saling berhubungan yaitu: *fuzzifier*, *rules base*, *inference engine*, *type-reducer* dan *defuzzifier* ditunjukkan pada Gambar 2.7. Proses pemetaan dari nilai-nilai *crisp* input x ke nilai-nilai *crisp* output dapat dinyatakan secara kuantitatif dalam Persamaan $Y = f(x)$.



Gambar 2.7. *Type-2 Fuzzy Logic System (T2FLS)* [23]

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa nilai-nilai *crisp* input difuzzifikasi baik menjadi, tipe 0 (dikenal sebagai fuzzifikasi tunggal), tipe-1 atau IT2FSs, kemudian mesin inferensi dengan basis aturan menghasilkan output IT2FSs. IT2FSs kemudian diproses oleh *type-reducer* (menggabungkan set output dan kemudian melakukan perhitungan centroid), yang mengarah ke IT1FIS disebut *type-reduced set*. Sebuah Defuzzifier kemudian mendefuzzifikasi *type-reduced set* untuk menghasilkan output *crisp*. Proses perumusan pemetaan dari input yang diberikan kepada output menggunakan interval tipe-2 logika fuzzy disebut IT2FIS. Struktur IT2FIS adalah objek pada MATLAB yang berisi semua informasi IT2FIS. Struktur ini disimpan di dalam setiap alat GUI [31].

2.11.3. Fungsi Keanggotaan dan Fuzzy rules

Keuntungan dari fuzzy inferensi adalah mudah merumuskan pengalaman dan pengetahuan para ahli dan sangat fleksibel dalam peramalan dengan mengubah aturan-aturan mereka. Aturan Fuzzy *IF-THEN* digunakan dalam metode ini untuk beban maksimum diungkapkan oleh Persamaan 2.17 sebagai berikut di [31]:

$$IF X is A_i AND Y is B_i THEN Z is C_i \quad (2.17)$$

Input dari nilai-nilai variabel Y yang diperoleh dari liburan bersebelahan salam satu tahun. Jika liburan tersebut adalah hari-hari sebelum dan sesudahnya liburan, maka nilai-nilai yang diperoleh dari sebelumnya dan hari-hari berikutnya dari hari libur sebelumnya. Fuzzy set A_i , B_i , C_i membuat sebelas himpunan, di mana setiap himpunan fuzzy terdiri fuzzy tipe-1 atas dan bawah, kemudian dibatasi sebagai FOU dan disebut *interval type-2 fuzzy sets* (IT2FSs) yaitu [6]:

Negative Very Big (UNVB and LNVB)

Negative Big (UNB and LNB)

Negative Medium (UNM and LNM)

Negative Small (UNS and LNS)

Negative Very Small (UNVS and LNVS)

Zero (UZE and LZE)

Positive Very Small (UPVS and LPVS)

Positive Small (UPS and LPS)

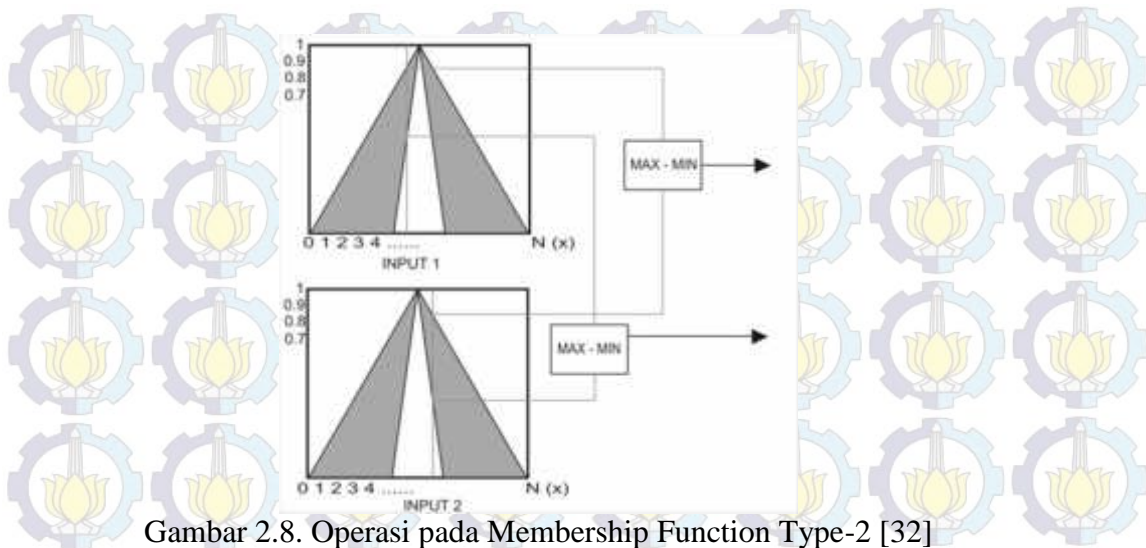
Positive Medium (UPM and LPM)

Positive Big (UPB and LPB)

Positive Very Big (UPVB and LPVB)

2.11.4. Operasi pada Fungsi Keanggotaan Tipe-2

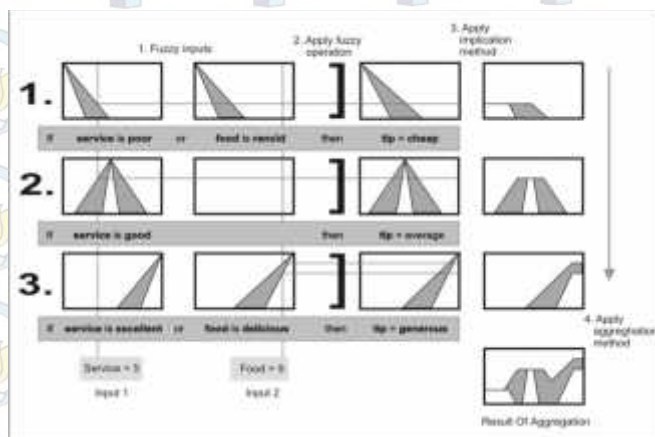
Operasi pada himpunan fuzzy interval tipe-2 hampir sama dengan himpunan fuzzy tipe-1, hanya saja pada sistem logika fuzzy interval tipe-2, operasi dilakukan pada dua interval, atas (*upper membership function*) dan bawah (*lower membership function*) sekaligus. Berikut operasi pada himpunan fungsi keanggotaan fuzzy tipe-2.



Gambar 2.8. Operasi pada Membership Function Type-2 [32]

2.11.5. FIS Type-2

FIS pada tipe-2 hampir sama dengan FIS pada tipe-1, yaitu menggunakan tahapan yang sama. Operasi FIS tipe-2 dapat dilihat pada Gambar 2.9. untuk sebuah penyelesaian ”tip” makan-makan berdua.



Gambar 2.9. FIS Mamdani pada Tipe-2 [32]

2.11.6. Defuzzifikasi

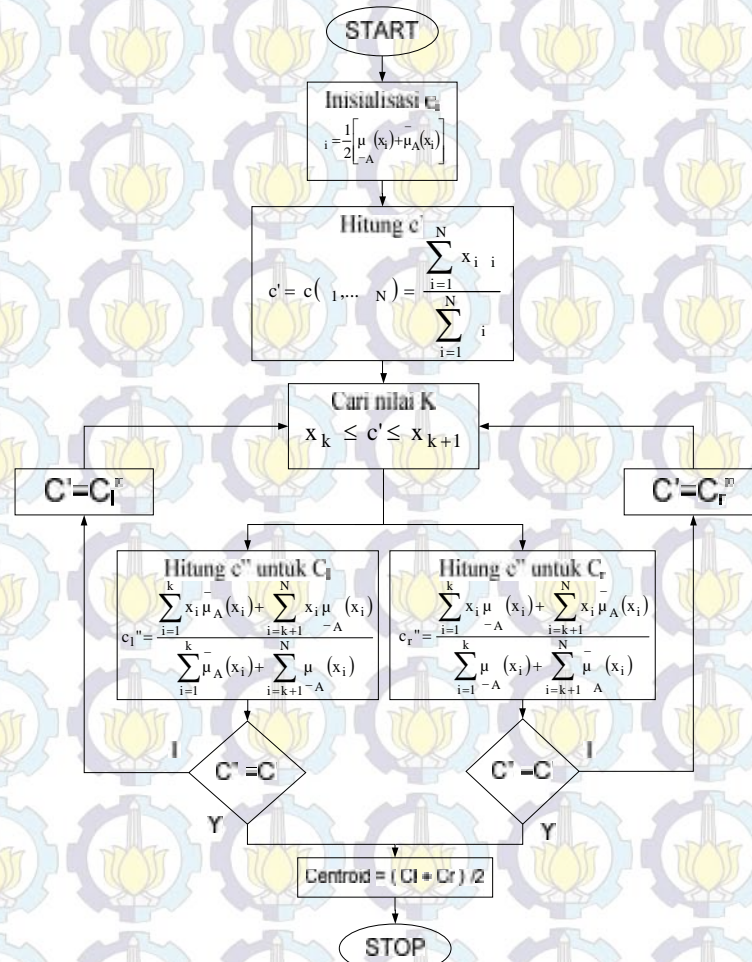
Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan kontrol logika fuzzy melalui *type-reducer* dengan metode iteratif untuk menghitung centroid yaitu algoritma Karnik Mendel untuk mengontrol tindakan nonfuzzy (*crisp*). Hal ini dimungkinkan karena pusat luasan dari sebuah IT2FSs adalah *interval type-1 fuzzy sets* (IT1FSs) dan himpunan tersebut benar-benar ditandai dengan titik akhir kiri dan kanan maka, menghitung centroid dari interval tipe-2 fuzzy set hanya

membutuhkan komputasi dua titik akhir. Proses defuzzifikasi dengan menggunakan metode centroid di IT2FLS telah diusulkan oleh Karnik dan Mendel.

2.11.6.1. Algoritma Karnik Mendel

Pada interval type 2 fuzzy set, proses pencarian centroid dilakukan pada *upper membership Function* (UMF) dan *lower membership function* (LMF).

Metode pencarian ini dirumuskan oleh Karnik dan Mendel yang terkenal dengan nama *Karnik-Mendel Algorithm*. Flow chart algoritma ini digambarkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Flow Chart Karnik-Mendel Algorithm [6],[32].

Flow chart pada Gambar 2.10. dapat dijelaskan sebagai berikut:

Penentuan c_l :

1. Inisialisasi c_i , melalui Persamaan (2.18)

$$\vartheta_i = \frac{1}{2} \left[\mu_{-A}(x_i) + \mu_A(x_i) \right], \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.18)$$

2. Hitung c' melalui Persamaan (2.19)

$$c' = c(\vartheta_1, \dots, \vartheta_N) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \vartheta_i}{\sum_{i=1}^N \vartheta_i} \quad (2.19)$$

3. Cari nilai K , sehingga memenuhi Persamaan (2.20)

$$x_k \leq c' \leq x_{k+1} \quad (2.20)$$

4. Hitung c'' melalui Persamaan (2.21)

$$c'' = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \mu_A(x_i) + \sum_{i=k+1}^N x_i \mu_{-A}(x_i)}{\sum_{i=1}^k \mu_A(x_i) + \sum_{i=k+1}^N \mu_{-A}(x_i)} \quad (2.21)$$

5. Cek, jika $c'' = c'$ stop, $c_l = c''$ Jika tidak set $c' = c''$ dan kembali ke langkah nomor 2.

Penentuan c_r :

1. Inisialisasi i , melalui Persamaan (2.22)

$$\vartheta_i = \frac{1}{2} \left[\mu_{-A}(x_i) + \mu_A(x_i) \right], \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.22)$$

2. Hitung c' melalui Persamaan (2.27)

$$c' = c(\vartheta_1, \dots, \vartheta_N) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \vartheta_i}{\sum_{i=1}^N \vartheta_i} \quad (2.23)$$

3. Cari nilai K , sehingga memenuhi Persamaan (2.24)

$$x_k \leq c' \leq x_{k+1} \quad (2.24)$$

4. Hitung c'' melalui Persamaan (2.29)

$$c'' = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \mu_{-A}(x_i) + \sum_{i=k+1}^N x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^k \mu_{-A}(x_i) + \sum_{i=k+1}^N \mu_A(x_i)} \quad (2.25)$$

5. Cek, jika $c'' = c'$ stop, $c_r = c''$ Jika tidak set $c' = c''$ dan kembali ke langkah nomor 2.

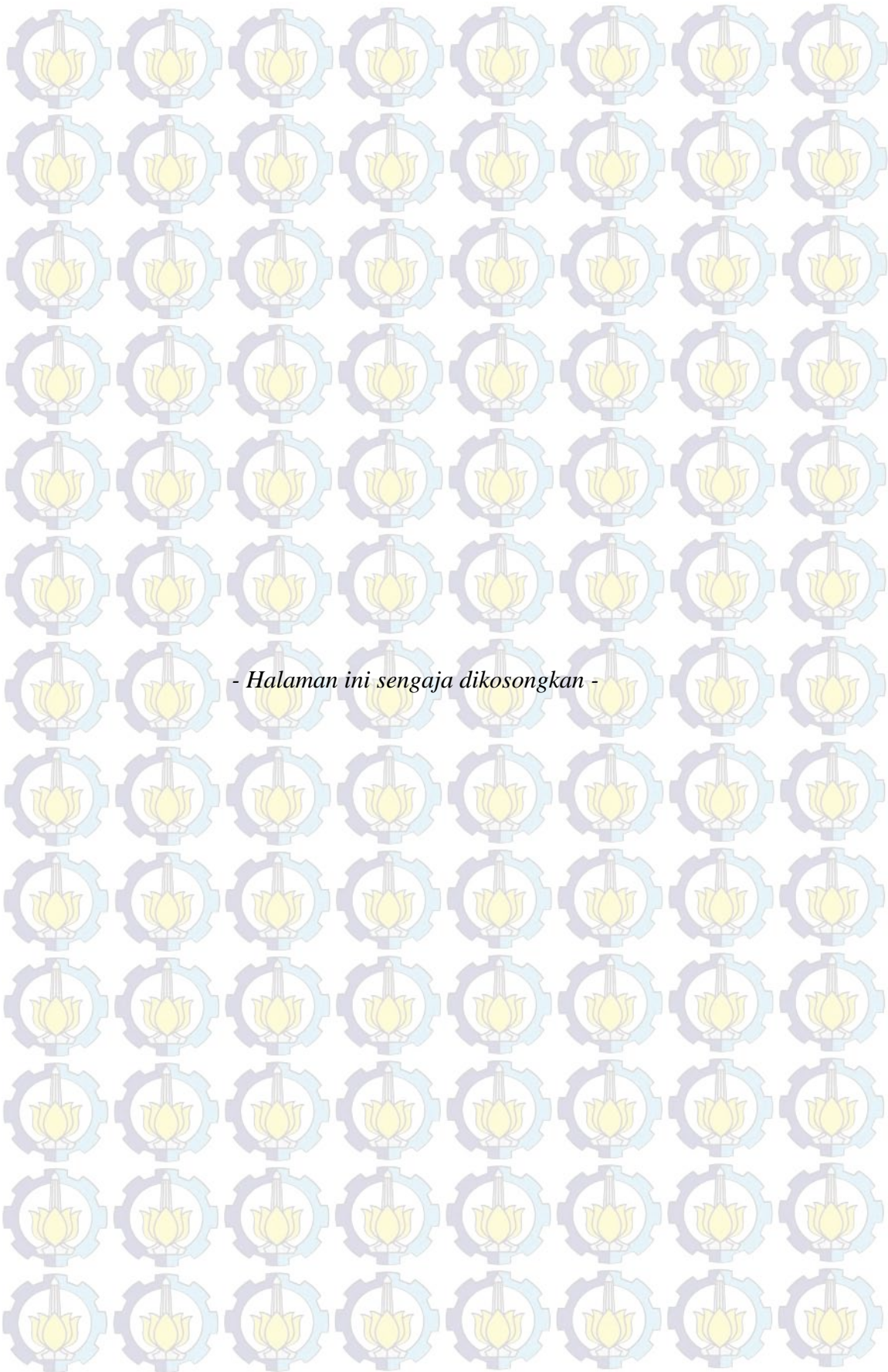
2.11.6.2. Penghitungan Centroid

Setelah didapat c_l dan c_r maka nilai centroid dapat didapatkan melalui Persamaan (2.26).

$$Centroid = (c_l + c_r) / 2 \quad (2.26)$$

Meskipun proses pencarian centroid tersebut, merupakan proses iterasi, jumlah iterasi tidak akan melebihi N.

Penggunaan IT2FLT pada sistem Matlab yg diimplementasikan pada peramalan beban jangka pendek, semua proses disediakan dari tahap desain deskripsi awal ke tahap implementasi akhir di lingkungan IT2FIS [23]. Toolbox fuzzy type-2 menyediakan sejumlah alat interaktif melalui GUI merujuk kenyataan bahwa sebagian besar dari penalaran manusia dan pembentukan konsep terkait penggunaan aturan interval fuzzy. Pada disertasi ini, nilai output crisp diberikan oleh IT2FIS menggunakan metode centroid kemudian digunakan untuk pengolahan hasil-hasil berikutnya dalam peramalan.



- Halaman ini sengaja dikosongkan -

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur dengan cara mencari bahan bacaan dari paper atau journal nasional dan international, buku-buku teks yang berkaitan dengan peramalan beban yang akan diteliti. Pada penelitian ini literature yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut :

1. Referensi dari paper baik nasional maupun international yang berhubungan dengan peramalan beban jangka pendek (*Short Tem Load Forecasting*).
2. Referensi dari buku-buku teks dan tugas akhir yang berkaitan dengan peramalan beban jangka pendek
3. Referensi dari paper nasional dan international tentang *Rule Fuzzy type-2*
4. Referensi paper international dengan Permodelan *Rule Fuzzy Type 2* untuk *forecasting* beban hari libur sistem kelistrikan Jawa-Bali

3.2. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini akan mengkaji *forecasting* beban hari libur sistem Jawa-Bali. Tempat observasi dan pengambilan data dilakukan pada PLN Pusat di Jakarta kemudian akan dilakukan peramalan beban jangka pendek pada hari libur national (*special day*) menggunakan Permodelan *Rule Fuzzy Type-2*. Proses persiapan, analisis, komputasi, pelaporan dan lain-lain dilakukan di laboratorium *Power System Operation dan Control (PSOC)* FTI JTE ITS Surabaya-Jawa Timur.

3.3. Alat yang digunakan

Pada penelitian ini diperlukan perangkat keras berupa satu unit laptop dan perangkat lunak berupa aplikasi matlab untuk *Preprocessing*, *Processing*, dan *Postprocessing*.

3.4. Pengumpulan Data dan Analisis

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kuantitatif beban listrik harian dalam satuan Megawatt (MW) pada sistem kelistrikan Jawa Bali untuk hari libur Nasional dengan rentang waktu delapan tahun setiap satu jam selama 24jam.

3.5. Sistem Kelistrikan Jawa Bali

Single line diagram sistem kelistrikan Jawa Bali diperoleh dari PT.PLN (Persero),Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban(P3B) adalah seperti pada lampiran A.

3.6. Tahapan Penelitian

3.6.1. Preprocessing

Pada tahapan preprocessing ini adalah pengelompokan data hari libur nasional. Kemudian menghitung beban puncak 4 hari sebelum hari libur nasional.

$$MaxWD_{(i)} = \frac{WD_{(i)h-4} + WD_{(i)h-3} + WD_{(i)h-2} + WD_{(i)h-1}}{4} \quad (3.1)$$

Langkah selanjutnya menghitung Perbedaan Beban Puncak (*Load Difference*) pada hari libur nasional yang akan diramal.

$$LD_{MAX}(i) = \frac{MaxSD(i) - MaxWD(i)}{MaxWD(i)} \times 100 \quad (3.2)$$

Kemudian mencari Variasi Beban Puncak (*Variation Load Deference*) pada hari yang akan diramal.

$$VLD_{max}(i) = LD_{max}(i) - TLD_{max}(i) \quad (3.3)$$

3.6.2. Processing

Pada tahap ini yaitu memodelkan permalan beban jangka pendek untuk hari libur nasional sistem kelistrikan jawabali kedalam interval type-2 fuzzy inference sistem dan neural network. Adapun langkahnya sebagai berikut :

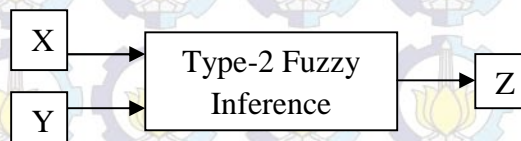
1. Membuat fungsi keanggotaan (*membership function*) input *interval type-2 fuzzy logic system* yaitu input X dan Y, dan fungsi keanggotaan Output

yaitu Z untuk hari libur nasional yang akan diramal. Dengan ketentuan sebagai berikut:

X : $VLD_{max}(i)$ hari libur yang sama pada tahun sebelum peramalan

Y : $VLD_{max}(i)$ hari libur sebelumnya (berdekatan) dalam jenis hari libur yang sama pada tahun peramalan

Z : *Forecast* $VLD_{max}(i)$ hari libur yang akan diramal



Gambar 3.1. Masukan dan keluaran untuk pengolahan data

2. Membuat aturan fuzzy (*fuzzy rules*) *interval type-2 fuzzy inference system (IT2FIS)* sebagai berikut :

IF X is A_i AND Y is B_i THEN Z is C_i

3. Menerapkan operasi AND pada *interval type-2 fuzzy inference system*
4. Menerapkan fungsi implikasi MIN pada *fuzzy*
5. Menerapkan komposisi MAX pada masing-masing hasil implikasi *fuzzy*
6. Menghitung output tegas (*non fuzzy values*) dengan metode penegasan *Centroid* melalui *type reducer* menggunakan Algoritma Kernik Mendel sehingga mendapatkan nilai *Forecast* VLD_{max}

3.6.3. Post processing

Pada tahap *postprocessing* adalah tahapan hasil perhitungan peramalan beban jangka pendek untuk hari libur nasional pada sistem kelitraikan Jawa-Bali, berikut :

1. Menghitung perbedaan beban puncak ramalan (*forecast load deference*) untuk hari libur yang diramal :

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

2. Menghitung perbedaan beban puncak hari libur yang diramal :

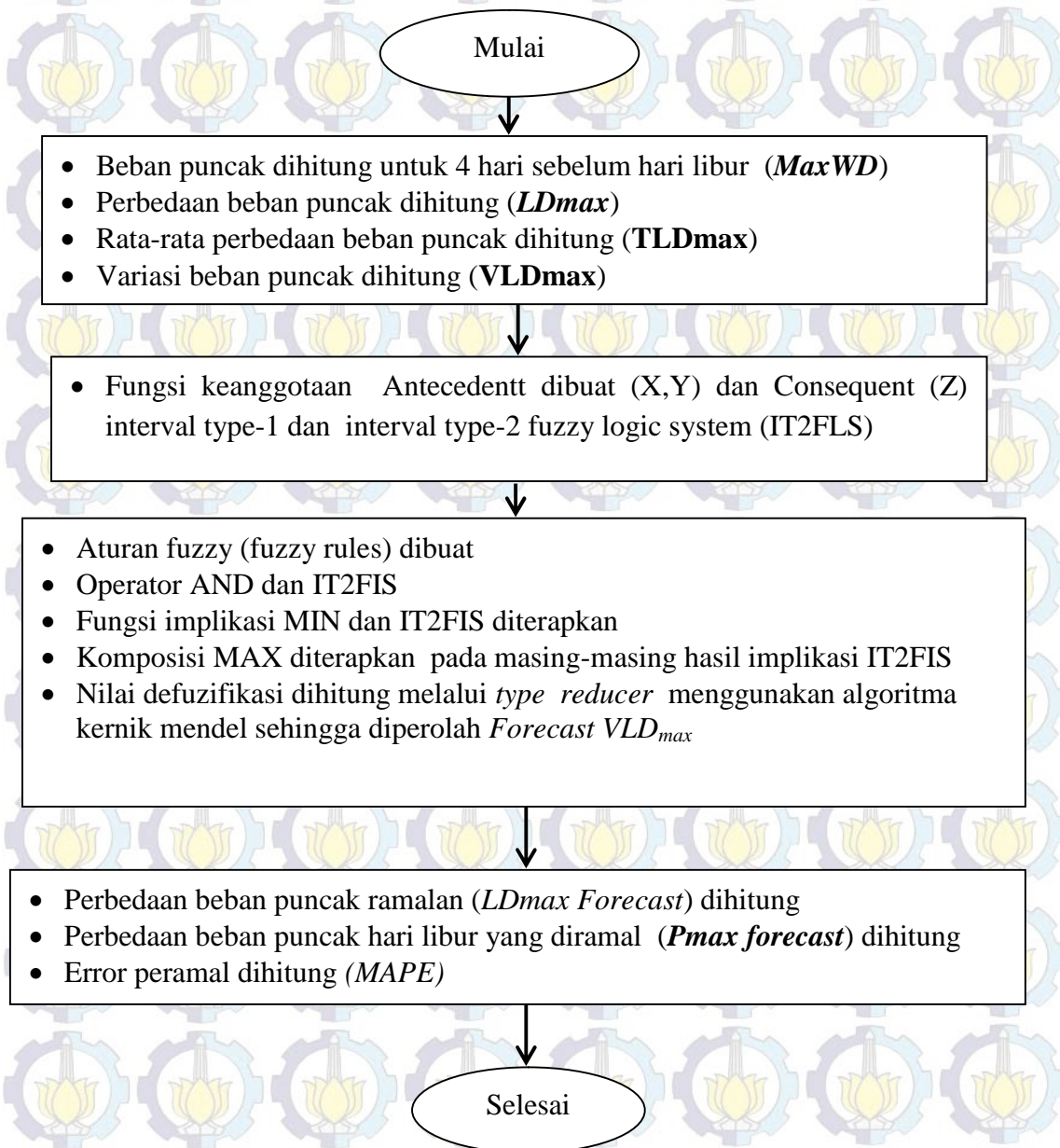
$$P'_{MAX}(i) = MaxWD(i) + \frac{(ForecastLD_{MAX} \times MaxWD(i))}{100} \quad (3.5)$$

3. Menghitung *error* hasil peramalan :

$$Error\% = \frac{P_{forecast} - P_{actual}}{P_{actual}} \times 100$$

$$Error\% = \frac{P'_{MAX}(i) - MaxSD(i)}{MaxSD(i)} \times 100 \quad (3.6)$$

3.7. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.2. Diagram peramalan interval fuzzy type-2

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Peramalan Beban Puncak Hari Libur Nasional Menggunakan Metode *Type-1 Fuzzy Inference System (T1FIS)*

Pada penelitian ini beban puncak hari libur nasional di Indonesia terbagi menjadi empat kelompok yaitu Hari Libur Umum, Hari Raya Islam, Hari Raya Kristen dan Hari Raya Hindu, Budha, Konghuchu. Total hari libur tersebut adalah 14 hari libur dari periode tahun 2010 sampai 2014 yang ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hari Libur Nasional di Indonesia mulai tahun 2010 sampai 2014

NO	Kelompok	Nama	Tahun					
		Hari Libur	2010	2011	2012	2013	2014	
1	Hari Libur Umum	Tahun Baru Masehi	1 Januari	1 Januari	1 Januari	1 Januari	1 Januari	
2		Kemerdekaan RI	17 Agustus	17 Agustus	17 Agustus	17 Agustus	17 Agustus	
3	Hari Raya Islam	Maulid Nabi Muhammad Saw	26 Februari	15 Februari	5 Februari	24 Januari	14 Januari	
4		Isra' Mi'raj Nabi Muhammad Saw	10 Juli	29 Juni	17 Juni	6 Juni	27 Mei	
5		Idul Fitri I	10 September	31 Agustus	19 Agustus	8 Agustus	28 Juli	
6		Idul Fitri II	11 September	1 September	20 Agustus	9 Agustus	29 Juli	
7		Idul Adha	17 November	6 November	26 Oktober	15 Oktober	5 Oktober	
8		Tahun Baru Hijriyah	7 Desember	27 November	15 November	5 November	25 Oktober	
9		Hari Raya Kristen	Wafat Yesus Kristus	2 April	22 April	6 April	29 Maret	18 April
10			Kenaikan Yesus Kristus	13 Mei	02 Juni	17 Mei	09 Mei	29 Mei
11	Natal		25 Desember	25 Desember	25 Desember	25 Desember	25 Desember	
12	Hari Raya Hindu, Budha, dan Kong Hu Chu	Imlek	14 Februari	3 Februari	23 Januari	10 Februari	31 Januari	
13		Nyepi	16 Maret	5 Maret	23 Maret	12 Maret	31 Maret	
14		Waisyak	28 Mei	17 Mei	06 Mei	25 Mei	15 Mei	

Untuk melakukan peramalan beban jangka pendek pada hari libur nasional, maka diperlukan tahapan sebagai berikut:

4.1.1. Fungsi Keanggotaan untuk Variabel Input dan Output

Variabel input (X,Y) dan variabel output (Z) terdiri dari 11 himpunan Fuzzy dijelaskan sebagai berikut :

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) <i>Negative Very Big (NVB)</i> | dengan <i>range</i> nilai -12 s/d -8 |
| 2) <i>Negative Big (NB)</i> | dengan <i>range</i> nilai -10 s/d -6 |
| 3) <i>Negative Medium (NM)</i> | dengan <i>range</i> nilai -8 s/d -4 |
| 4) <i>Negative Small (NS)</i> | dengan <i>range</i> nilai -6 s/d -2 |
| 5) <i>Negative Very Small (NVS)</i> | dengan <i>range</i> nilai -4 s/d 0 |
| 6) <i>Zero (ZE)</i> | dengan <i>range</i> nilai -2 s/d 2 |
| 7) <i>Positive Very Small (PVS)</i> | dengan <i>range</i> nilai 0 s/d 4 |
| 8) <i>Positive Small (PS)</i> | dengan <i>range</i> nilai 2 s/d 6 |
| 9) <i>Positive Medium (PM)</i> | dengan <i>range</i> nilai 4 s/d 8 |
| 10) <i>Positive Big (PB)</i> | dengan <i>range</i> nilai 6 s/d 10 |
| 11) <i>Positive Very Big (PVB)</i> | dengan <i>range</i> nilai 8 s/d 12 |

4.1.2. Perhitungan Nilai Variabel Input X

Perhitungan nilai variabel input X pada peramalan beban puncak hari libur nasional Isra Mi'raj tahun 2010 adalah mencari nilai *Variabel Load Deffrence* (VLD_{MAX}) tahun sebelum peramalan yaitu Isra Mi'raj tahun 2009. Perhitungan nilai VLD_{MAX} (Isra Mi'raj 2009) dihitung berdasarkan persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3 berikut:

a.) *Isra Mi'raj tahun 2007*

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 15451,50 \text{ MW}$$

$$MaxWD_{H-3} = 15042,33 \text{ MW}$$

$$MaxWD_{H-2} = 15458,52 \text{ MW}$$

$$MaxWD_{H-1} = 15289,62 \text{ MW}$$

$$MaxSD = 13965,60 \text{ MW}$$

$$MaxWD(Isra Miraj 2007) = \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4}$$

$$= \frac{15451,50 + 15042,33 + 15458,52 + 15289,62}{4}$$

$$= 15310,493 MW$$

$$LD_{MAX}(Isra Miraj 2007) = \frac{MaxSD(Isra Miraj 2007) - MaxWD(Isra Miraj 2007)}{MaxWD(Isra Miraj 2007)} \times 100$$

$$= \frac{13965,60 - 15310,493}{15310,493} \times 100$$

$$= -8,7812$$

b.) Isra Mi'raj tahun 2008

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 15250,00 MW$$

$$MaxWD_{H-3} = 14632,00 MW$$

$$MaxWD_{H-2} = 15840,00 MW$$

$$MaxWD_{H-1} = 15840,00 MW \text{ dan}$$

$$MaxSD = 14771,00 MW$$

$$MaxWD(Isra Miraj 2008) = \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4}$$

$$= \frac{15250,00 + 14632,00 + 15840,00 + 15957,00}{4}$$

$$= 15419,75 MW$$

$$LD_{MAX}(Isra Miraj 2008) = \frac{MaxSD(Isra Miraj 2008) - MaxWD(Isra Miraj 2008)}{MaxWD(Isra Miraj 2008)} \times 100$$

$$= \frac{14771,00 - 15419,75}{15419,75} \times 100$$

$$= -4,2073$$

c.) Isra Mi'raj tahun 2009

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 16463,00 MW$$

$$MaxWD_{H-3} = 16413,00 MW$$

$$MaxWD_{H-2} = 15471,00 MW$$

$$MaxWD_{H-1} = 14813,00 \text{ MW dan}$$

$$MaxSD = 14732,00 \text{ MW}$$

$$\begin{aligned} MaxWD(Isra \text{ Miraj } 2009) &= \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4} \\ &= \frac{16463,00 + 16413,00 + 15471,00 + 14813,00}{4} \\ &= 15790 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2009) &= \frac{MaxSD(Isra \text{ Miraj } 2009) - MaxWD(Isra \text{ Miraj } 2009)}{MaxWD(Isra \text{ Miraj } 2009)} \times 100 \\ &= \frac{14732,00 - 15790}{15790} \times 100 \\ &= -6,7004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TLD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2009) &= \frac{LD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2007) + LD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2008)}{2} \\ &= \frac{-8,7841 + (-4,2073)}{2} \\ &= -6,4957 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VLD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2009) &= LD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2009) - TLD_{MAX}(Isra \text{ Miraj } 2009) \\ &= -6,7004 - (-6,4957) \\ &= -0,2047 \end{aligned}$$

d.) *Isra Mi'raj tahun 2010*

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 17491,00 \text{ MW}$$

$$MaxWD_{H-3} = 17618,00 \text{ MW}$$

$$MaxWD_{H-2} = 17251,00 \text{ MW}$$

$$MaxWD_{H-1} = 17220,00 \text{ MW dan}$$

$$MaxSD = 15498,00 \text{ MW}$$

$$\begin{aligned} MaxWD(Isra \text{ Miraj } 2010) &= \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4} \\ &= \frac{17.491,00 + 17.618,00 + 17.251,00 + 17.220,00}{4} \\ &= 17.395 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$LD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2010) = \frac{MaxSD(Isra\ Miraj\ 2010) - MaxWD(Isra\ Miraj\ 2010)}{MaxWD(Isra\ Miraj\ 2010)} \times 100$$

$$= \frac{15.498 - 17.395}{17.395} \times 100$$

$$= -10,905$$

$$TLD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2010) = \frac{LD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2007) + LD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2008) + LD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2009)}{3}$$

$$= \frac{-8,7812 + (-4,2073) + (-6.7004)}{3}$$

$$= -6,5639$$

$$VLD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2010) = LD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2010) - TLD_{MAX}(Isra\ Miraj\ 2010)$$

$$= -10,905 - (-6,5639)$$

$$= -4,3415$$

4.1.3 Perhitungan Nilai Variabel Input Y

Perhitungan nilai variable input Y pada peramalan beban puncak hari libur nasional Isra Mi'raj tahun 2010 adalah mencari nilai Variabel Load Defference (VLD_{MAX}) hari libur sejenis yang mendekati yaitu VLD_{MAX} (Maulid 20010). Perhitungan nilai VLD_{MAX} (Maulid 20010) dihitung berdasarkan persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3 sebagai berikut :

a.) Maulid tahun 2007

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 14.998,14MW$$

$$MaxWD_{H-3} = 15.007,05MW$$

$$MaxWD_{H-2} = 14.985,10MW$$

$$MaxWD_{H-1} = 14.568,59MW \text{ dan}$$

$$MaxSD = 12.980,53MW$$

$$MaxWD(Maulid\ 2007) = \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4}$$

$$= \frac{14.998,14 + 15.007,05 + 14.985,10 + 12.980,53}{4}$$

$$= 14.889,720MW$$

$$LD_{MAX}(Maulid\ 2007) = \frac{MaxSD(Maulid\ 2007) - MaxWD(Maulid\ 2007)}{MaxWD(Maulid\ 2007)} \times 100$$

$$= \frac{12.980,53 - 14.889,720}{14.889,720} \times 100$$

$$= -12,822$$

b.) Maulid tahun 2008

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 13.993,00MW$$

$$MaxWD_{H-3} = 15.402,00MW$$

$$MaxWD_{H-2} = 15.396,00MW$$

$$MaxWD_{H-1} = 15.059,00MW \text{ dan}$$

$$MaxSD = 13.482,00MW$$

$$MaxWD(Maulid 2008) = \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4}$$

$$= \frac{13.993,00 + 15.402,00 + 15.396,00 + 15.059,00}{4}$$

$$= 14.962,5MW$$

$$LD_{MAX}(Maulid 2008) = \frac{MaxSD(Maulid 2008) - MaxWD(Maulid 2008)}{MaxWD(Maulid 2008)} \times 100$$

$$= \frac{13.482,00 - 14.962,5}{14.962,5} \times 100$$

$$= -9,8947$$

c.) Maulid tahun 2009

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 15.270,00MW$$

$$MaxWD_{H-3} = 15.440,00MW$$

$$MaxWD_{H-2} = 14.539,00MW$$

$$MaxWD_{H-1} = 13.714,00MW \text{ dan}$$

$$MaxSD = 13.559,00MW$$

$$MaxWD(Maulid 2009) = \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4}$$

$$= \frac{15.270,00 + 15.440,00 + 14.539,00 + 13.714,00}{4}$$

$$= 14.740,75 MW$$

$$LD_{MAX}(Maulid 2009) = \frac{MaxSD(Maulid 2009) - MaxWD(Maulid 2009)}{MaxWD(Maulid 2009)} \times 100$$

$$= \frac{13.559,00 - 14.740,75}{14.740,75} \times 100$$

$$= -8,0169$$

$$TLD_{MAX}(Maulid 2009) = \frac{LD_{MAX}(Maulid 2007) + LD_{MAX}(Maulid 2008)}{2}$$

$$= \frac{-12,822 + (-9,8947)}{2}$$

$$= -11,3585$$

$$VLD_{MAX}(Maulid 2009) = LD_{MAX}(Maulid 2009) - TLD_{MAX}(Maulid 2009)$$

$$= -8,0169 - (-11,3585)$$

$$= 3,3416$$

d.) Maulid tahun 2010

Mencari nilai $MaxWD$ dan LD_{MAX} dari data beban puncak 4 hari sebelum hari libur dan pada hari libur sebagai berikut :

$$MaxWD_{H-4} = 17.041,00 MW$$

$$MaxWD_{H-3} = 17.084,00 MW$$

$$MaxWD_{H-2} = 16.963,00 MW$$

$$MaxWD_{H-1} = 16.584,00 MW \text{ dan}$$

$$MaxSD = 15.542,00 MW$$

$$MaxWD(Maulid 2010) = \frac{MaxWD_{H-4} + MaxWD_{H-3} + MaxWD_{H-2} + MaxWD_{H-1}}{4}$$

$$= \frac{17.041,00 + 17.084,00 + 16.963,00 + 16.584,00}{4}$$

$$= 16.918 MW$$

$$LD_{MAX}(Maulid 2010) = \frac{MaxSD(Maulid 2010) - MaxWD(Maulid 2010)}{MaxWD(Maulid 2010)} \times 100$$

$$= \frac{15,542,00 - 16,918}{16,918} \times 100$$

$$= -8,13$$

$$TLD_{MAX}(Maulid\ 2010) = \frac{LD_{MAX}(Maulid\ 2007) + LD_{MAX}(Maulid\ 2008) + LD_{MAX}(Maulid\ 2009)}{3}$$

$$= \frac{-12,822 + (-9,8947) + (-8,0169)}{3}$$

$$= -10,245$$

$$VLD_{MAX}(Maulid\ 2010) = LD_{MAX}(Maulid\ 2010) - TLD_{MAX}(Maulid\ 2010)$$

$$= -8,13 - (-10,245)$$

$$= 2,1113$$

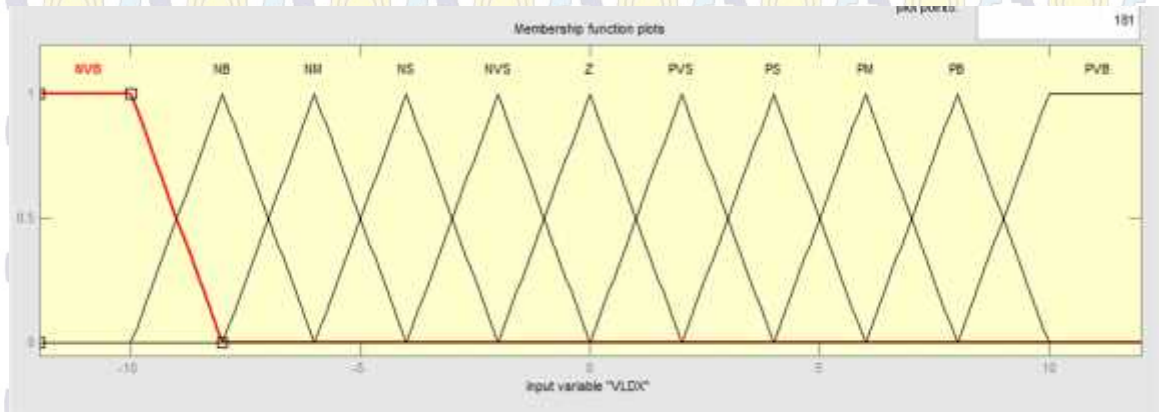
4.1.4. Perhitungan Variabel Output Z

Perhitungan nilai variabel output pada peramalan beban puncak hari libur nasional Isra Mi'raj tahun 2010 adalah mencari nilai *Variabel Load Deffrence* (VLD_{MAX}) tahun peramalan yaitu Isra Mi'raj tahun 2010. Perhitungan dengan cara yang sama untuk seluruh hari libur nasional periode tahun 2007-2010 untuk mendapatkan nilai VLD_{MAX} menggunakan *software Microsoft Office Excel 2010* yang hasilnya dalam sebuah tabel seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

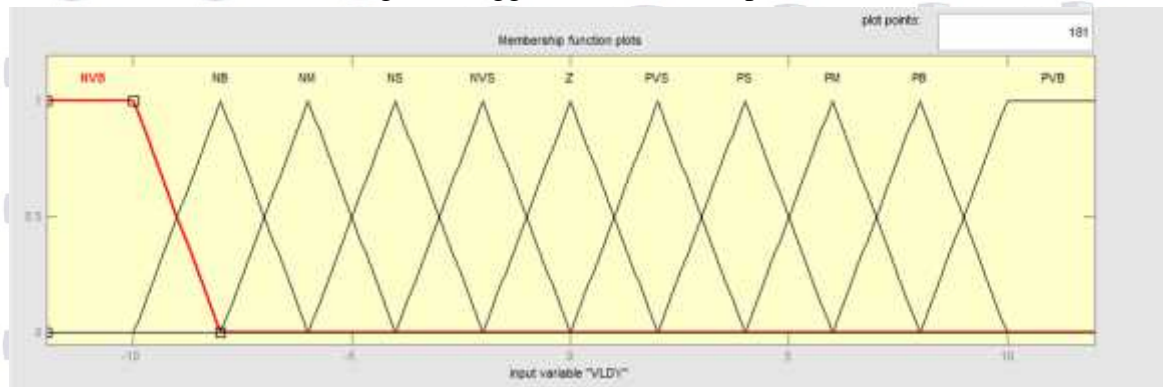
Tabel 4.2 Nilai $MaxWD$, LD_{MAX} , TLD_{MAX} , dan VLD_{MAX} tahun 2010 – 2014

Kelompok	Nama Hari Libur	2010		2011		2012		2013		2014	
		WDMAX	LDMAX	WDMAX	LDMAX	WDMAX	LDMAX	WDMAX	LDMAX	WDMAX	LDMAX
Hari Libur Umum	1.Tahun Baru Maschi	15.607	-13,1031	16.341,5	-13,5453	17.786,75	-20,5701	18.196,75	-13,2812	19.079,75	-12,3678
	2.Proklamasi Kemerdekaan RI	16.898,75	-9,7034	17.852	-9,3323	18.335,75	-19,4415	18.445,5	-5,9174	21.811	-15,2996
Hari Raya Islam	1.Idul Adha	16.955	-10,3981	18.666,75	-14,4093	20.832,5	-16,2030	20.693,5	-9,8751	22.641,25	-1,1760
	2.Tahun Baru Hijriyah	16.703	-4,4483	18.964,75	-8,1085	20.217	-6,1631	20.700,5	-5,9105	21.619,75	-9,1016
	3.Maulid Nabi Muhammad SAW	16.918	-8,1333	17.211	-5,4558	18.171	-8,8383	19.632	-6,7492	20.348,25	-4,5372
	4.Isra Mi'raj	17.395	-10,9054	17.336,5	5,4250	19.010,75	-7,4471	20.865,5	-8,6003	21.666,25	-4,5197
	5.Idul Fitri I	13.977	-17,7649	13.808,25	-7,3959	15.994,5	-17,6279	16.407,75	-16,0336	17.255,25	-17,5497
	6.Idul Fitri II	12.920,25	-9,4445	13.322,25	-1,3980	14.757,75	-9,1257	15.517,75	-9,4070	15.885,25	-8,1538
Hari Raya Kristen	1.Wafatnya Yesus Kristus	16.811,5	-7,2183	18.218,75	-9,4175	18.970,75	-7,9741	20.489	-7,9848	22.078	-10,5716
	2.Kenaikan Yesus Kristus	17.169,5	-6,3689	17.557,5	5,5219	19.511,5	-6,4244	21.091,75	-5,5839	21.338,75	-2,3514
	3.Natal	17.095,75	-10,4924	18.908,5	-12,8699	18.961	-4,6517	19.977	-5,9819	21.619,75	-9,1016
Hari Raya Hindu /Budha/ Tionghoa	1.Nyepi	16.503	-5,3505	17.715,25	-12,1830	19.109,75	-8,3138	19.855,75	-5,7049	20.946	-8,3166
	2.Tahun Baru Imlek	16.675,75	-10,6427	16.866,5	-4,2066	18.214,25	-11,0751	20.327,25	-12,0639	21.017	-12,4756
	3.Waisak	17.634,25	-9,0406	17.429	-2,7942	19.491,75	-10,1671	21.573,5	-13,4957	22.040,25	-6,1989

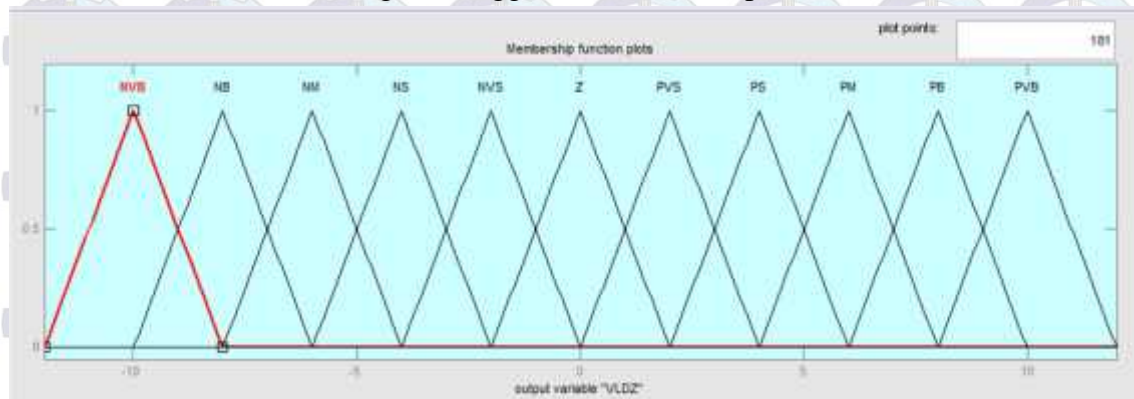
Gambar antecedent (X,Y) dan consequent (Z) T1FIS sebagai berikut :



Gambar 4.1. Fungsi Keanggotaan Variabel Input X T1FIS



Gambar 4.2. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Y T1FIS



Gambar 4.3. Fungsi Keanggotaan Variabel Output Z T1FIS

4.2 Peramalan Beban Puncak untuk Hari Libur Nasional Menggunakan IT2FIS

IT2FIS untuk peramalan beban puncak hari libur nasional yaitu pada fungsi keanggotaan variabel input dan output dari Interval type-2 fuzzy inference system.

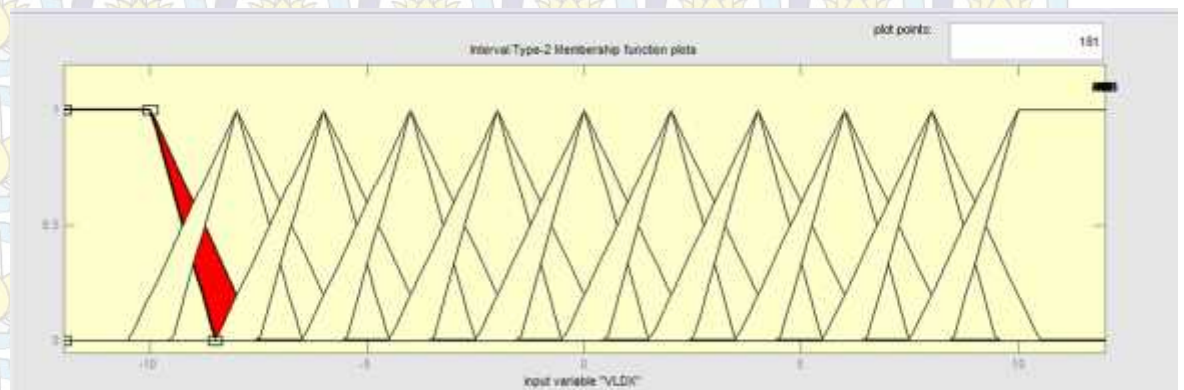
4.2.1 Fungsi Keanggotaan untuk Variabel Input dan Output

Himpunan interval type-2 fuzzy mirip dengan himpunan fuzzy type-1. Pada interval type-2 fuzzy dilakukan dua kali fungsi keanggotaan fuzzy type-1.

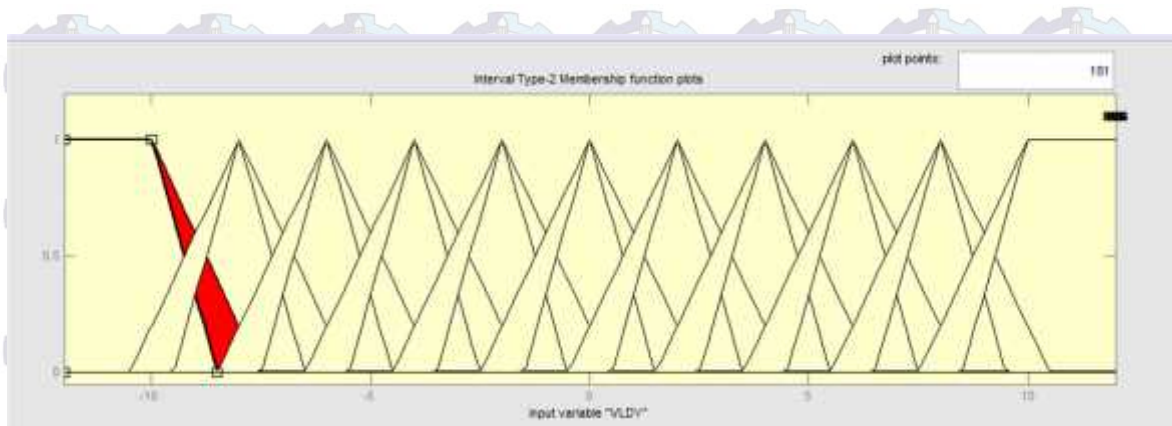
Variabel input (X,Y) dan variabel output (Z) terdiri dari 11 himpunan Fuzzy dijelaskan sebagai berikut :

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 12) <i>Negative Very Big (NVB)</i> | dengan <i>range</i> nilai -12 s/d -8 |
| 13) <i>Negative Big (NB)</i> | dengan <i>range</i> nilai -10 s/d -6 |
| 14) <i>Negative Medium (NM)</i> | dengan <i>range</i> nilai -8 s/d -4 |
| 15) <i>Negative Small (NS)</i> | dengan <i>range</i> nilai -6 s/d -2 |
| 16) <i>Negative Very Small (NVS)</i> | dengan <i>range</i> nilai -4 s/d 0 |
| 17) <i>Zero (ZE)</i> | dengan <i>range</i> nilai -2 s/d 2 |
| 18) <i>Positive Very Small (PVS)</i> | dengan <i>range</i> nilai 0 s/d 4 |
| 19) <i>Positive Small (PS)</i> | dengan <i>range</i> nilai 2 s/d 6 |
| 20) <i>Positive Medium (PM)</i> | dengan <i>range</i> nilai 4 s/d 8 |
| 21) <i>Positive Big (PB)</i> | dengan <i>range</i> nilai 6 s/d 10 |
| 22) <i>Positive Very Big (PVB)</i> | dengan <i>range</i> nilai 8 s/d 12 |

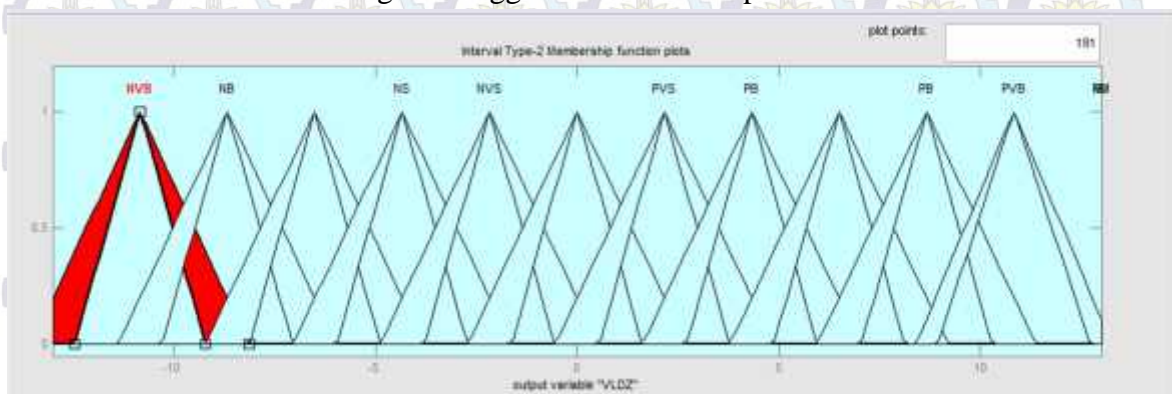
Gambar *antecedent* (X,Y) dan *consequent*(Z) T2FIS sebagai berikut :



Gambar 4.4. Fungsi Keanggotaan Variabel Input X T2FIS



Gambar 4.5. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Y T2FIS



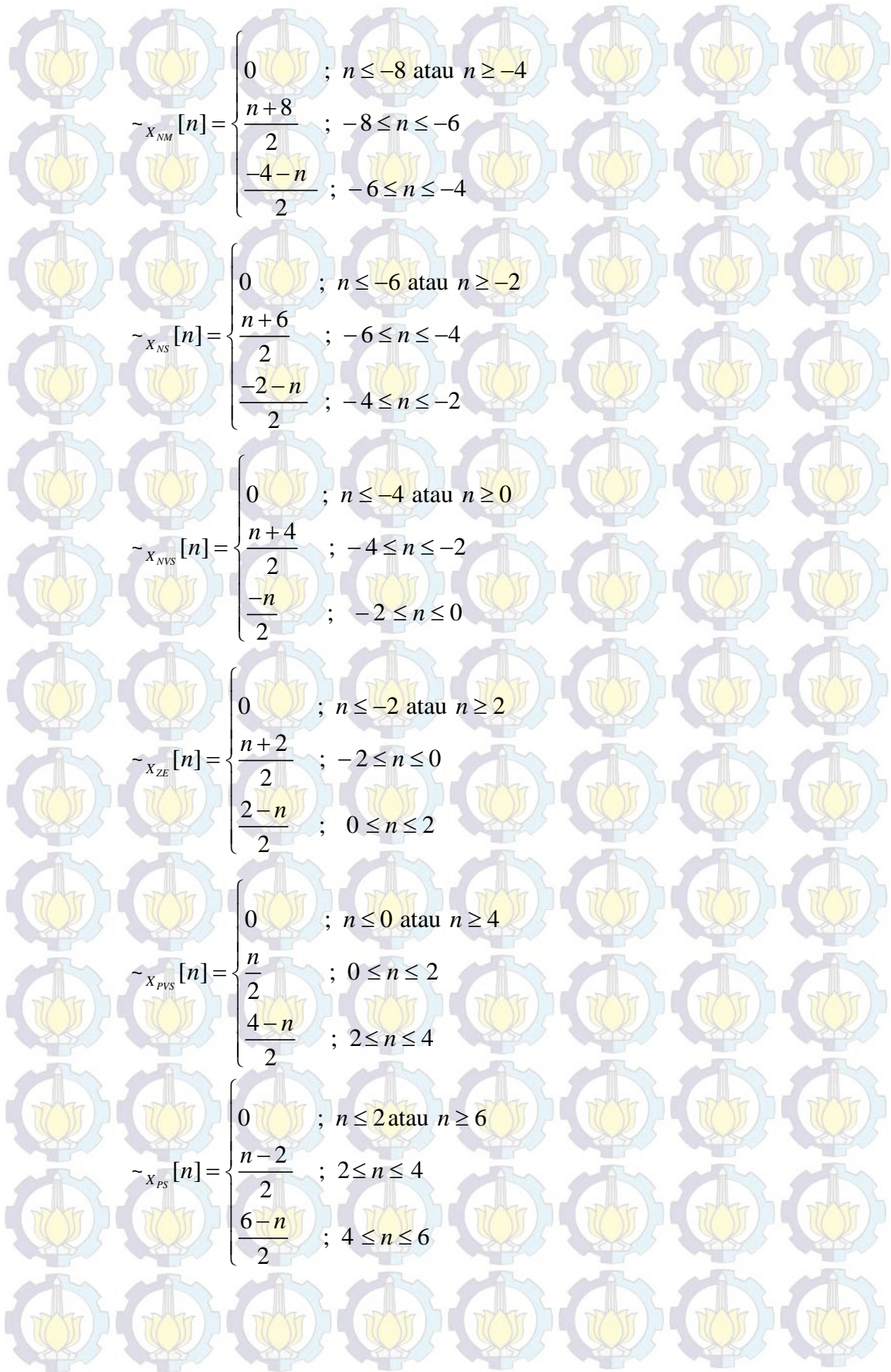
Gambar 4.6. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Z T2FIS

4.2.2 Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rules*)

Ada 11 aturan dasar (*Fuzzy Rules*) pada tahun 2009 dan 2010, begitu pula 2011 dan 2012 serta 2013 dan 2014. Himpunan Fuzzy variabel input (X, Y) dari VLD_{max} hari libur nasional untuk masing-masing linguistik derajat keanggotaan variabel input fuzzy (X, Y) secara matematika dijabarkan sebagai berikut :

$$\tilde{x}_{NVB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \geq -8 \\ \frac{-8-n}{2} & ; -10 \leq n \leq -8 \\ 1 & ; n \leq -10 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{NB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -10 \text{ atau } n \geq -6 \\ \frac{n+10}{2} & ; -10 \leq n \leq -8 \\ \frac{-6-n}{2} & ; -8 \leq n \leq -6 \end{cases}$$



$$\tilde{x}_{NM}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -8 \text{ atau } n \geq -4 \\ \frac{n+8}{2} & ; -8 \leq n \leq -6 \\ \frac{-4-n}{2} & ; -6 \leq n \leq -4 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{NS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -6 \text{ atau } n \geq -2 \\ \frac{n+6}{2} & ; -6 \leq n \leq -4 \\ \frac{-2-n}{2} & ; -4 \leq n \leq -2 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{NVS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -4 \text{ atau } n \geq 0 \\ \frac{n+4}{2} & ; -4 \leq n \leq -2 \\ \frac{-n}{2} & ; -2 \leq n \leq 0 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{ZE}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -2 \text{ atau } n \geq 2 \\ \frac{n+2}{2} & ; -2 \leq n \leq 0 \\ \frac{2-n}{2} & ; 0 \leq n \leq 2 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PVS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 0 \text{ atau } n \geq 4 \\ \frac{n}{2} & ; 0 \leq n \leq 2 \\ \frac{4-n}{2} & ; 2 \leq n \leq 4 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 2 \text{ atau } n \geq 6 \\ \frac{n-2}{2} & ; 2 \leq n \leq 4 \\ \frac{6-n}{2} & ; 4 \leq n \leq 6 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PM}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 4 \text{ atau } n \geq 8 \\ \frac{n-4}{2} & ; 4 \leq n \leq 6 \\ \frac{8-n}{2} & ; 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 6 \text{ atau } n \geq 10 \\ \frac{n-6}{2} & ; 6 \leq n \leq 8 \\ \frac{10-n}{2} & ; 8 \leq n \leq 10 \end{cases}$$

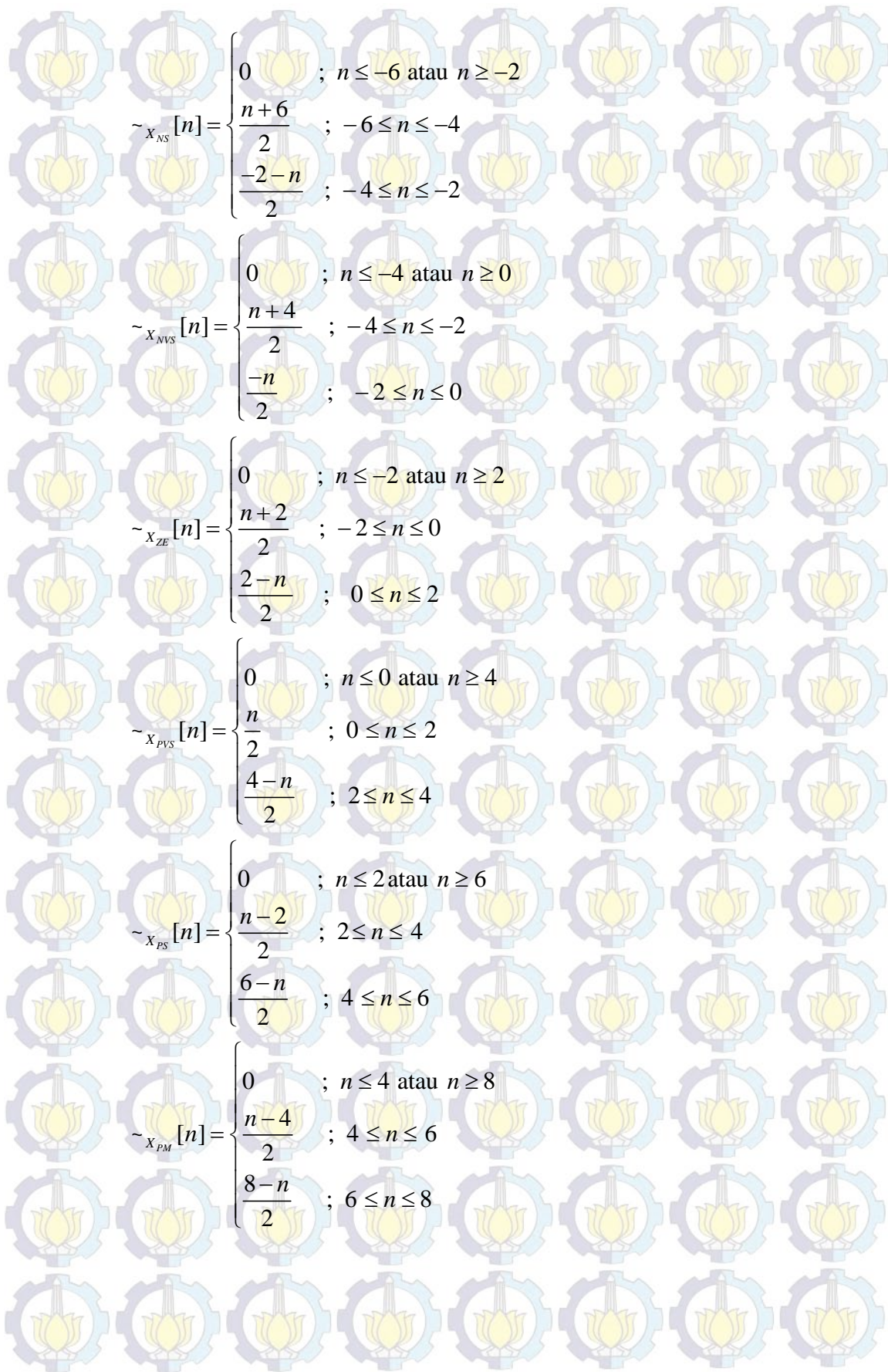
$$\tilde{x}_{PVB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 8 \\ \frac{n-8}{2} & ; 8 \leq n \leq 10 \\ 1 & ; n \geq 10 \end{cases}$$

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

$$\tilde{x}_{NVB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -12 \text{ atau } n \geq -8 \\ \frac{n+12}{2} & ; -12 \leq n \leq -10 \\ \frac{-8-n}{2} & ; -10 \leq n \leq -8 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{NB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -10 \text{ atau } n \geq -6 \\ \frac{n+10}{2} & ; -10 \leq n \leq -8 \\ \frac{-6-n}{2} & ; -8 \leq n \leq -6 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{NM}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -8 \text{ atau } n \geq -4 \\ \frac{n+8}{2} & ; -8 \leq n \leq -6 \\ \frac{-4-n}{2} & ; -6 \leq n \leq -4 \end{cases}$$



$$\tilde{x}_{NS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -6 \text{ atau } n \geq -2 \\ \frac{n+6}{2} & ; -6 \leq n \leq -4 \\ \frac{-2-n}{2} & ; -4 \leq n \leq -2 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{MVS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -4 \text{ atau } n \geq 0 \\ \frac{n+4}{2} & ; -4 \leq n \leq -2 \\ \frac{-n}{2} & ; -2 \leq n \leq 0 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{ZE}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq -2 \text{ atau } n \geq 2 \\ \frac{n+2}{2} & ; -2 \leq n \leq 0 \\ \frac{2-n}{2} & ; 0 \leq n \leq 2 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PVS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 0 \text{ atau } n \geq 4 \\ \frac{n}{2} & ; 0 \leq n \leq 2 \\ \frac{4-n}{2} & ; 2 \leq n \leq 4 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PS}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 2 \text{ atau } n \geq 6 \\ \frac{n-2}{2} & ; 2 \leq n \leq 4 \\ \frac{6-n}{2} & ; 4 \leq n \leq 6 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PM}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 4 \text{ atau } n \geq 8 \\ \frac{n-4}{2} & ; 4 \leq n \leq 6 \\ \frac{8-n}{2} & ; 6 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{PB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 6 \text{ atau } n \geq 10 \\ \frac{n-6}{2} & ; 6 \leq n \leq 8 \\ \frac{10-n}{2} & ; 8 \leq n \leq 10 \end{cases}$$

$$\tilde{x}_{NVB}[n] = \begin{cases} 0 & ; n \leq 8 \text{ atau } n \geq 12 \\ \frac{n-8}{2} & ; 8 \leq n \leq 10 \\ \frac{-12-n}{2} & ; 10 \leq n \leq 12 \end{cases}$$

Penjabaran matematika dari fungsi keanggotaan *antecedent* (X,Y) dan *concequent* (Z) digunakan untuk pembuatan *Rules Base* untuk proses *FuzzyInference System*. Pembuatan aturan dasar Fuzzy (*Fuzzy Rule Base*) untuk peramalan beban jangka pendek untuk tahun 2010 ditunjukkan Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.8.

Tabel 4.3. Pembuatan Tabel Input (X,Y) dan Output (Z) Berdasarkan VLD_{MAX} tahun 2009 dan 2010

Kelompok	Nama Hari Libur	Hari Tanggal	2009	2010	Input		Output
			VLD_{MAX}	VLD_{MAX}	X	Y	Z
Hari Libur Umum	1.Tahun Baru Masehi	Selasa / 01 Januari	2.998489	-3.27838	2.99849	4.800452	-3.27838
	2.Proklamasi Kemerdekaan RI	Minggu / 17 Agustus	3.823247	4.800452	3.82325	-3.278377	4.800452
Hari Raya Islam	1.Idul Adha	Senin / 08 Desember	-8.11682	-0.72191	-8.1168	-0.094181	-0.72191
	2.Tahun Baru Hijriyah	Kamis / 10 Januari	0.600298	4.110907	0.6003	-0.721914	4.110907
	3.Maulid Nabi Muhammad SAW	Kamis / 20 Maret	3.341578	2.111261	3.34158	4.110907	2.111261
	4.Isra Mi'raj	Rabu / 30 Juli	-0.20475	-4.34149	-0.2047	2.111261	-4.34149
	5.Idul Fitri I	Rabu / 01 Oktober	-6.34583	-2.17605	-6.3458	-4.341488	-2.17605
	6.Idul Fitri II	Kamis / 02 Oktober	-4.47326	-0.09418	-4.4733	-2.176054	-0.09418
Hari Raya Kristen	1.Wafatnya Yesus Kristus	Jumat / 21 Maret	0.849658	1.913659	0.84966	-2.063651	1.913659
	2.Kenaikan Yesus Kristus	Kamis / 01 Mei	0.768905	0.962723	0.76891	1.913659	0.962723
	3.Natal	Kamis / 25 Desember	-3.12604	-2.06365	-3.126	0.962723	-2.06365
Hari Raya Hindu / Budha / Tionghoa	1.Nyepi	Jumat / 07 Maret	1.921481	3.278635	1.92148	-1.330382	3.278635
	2.Tahun Baru Imlek	Kamis / 07 Februari	-1.08978	-1.35121	-1.0898	3.278635	-1.35121
	3.Waisak	Selasa / 20 Mei	-5.4051	-1.33038	-5.4051	-1.351214	-1.33038

Tabel 4.4. Proses Pembuatan Aturan Dasar untuk Input X Tahun 2010

Kelompok	Nama Hari Libur	Nilai X	Derajat Keanggotaan (μ)											Himpunan X	
			NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB	PVB		
Hari Libur Umum	1, Tahun Baru Maschi	2,998488995								0,50076	0,49924				PVS
	2, Proklamasi Kemerdekaan RI	3,823246645								0,08838	0,91162				PS
Hari Raya Islam	1, Idul Adha	-8,116815732	1												PVS
	2, Tahun Baru Hijriyah	0,600297607							0,69985	0,30015					ZE
	3, Maulid Nabi Muhammad SAW	3,341577554								0,32921	0,67079				PS
	4, Isra Mi'raj	-0,204748469						0,102374	0,89763						ZE
	5, Idul Fitri I	-6,345827561		0,172914	0,82709										NM
	6, Idul Fitri II	-4,473261049			0,23663	0,763369									NS
Hari Raya Kristen	1, Wafatnya Yesus Kristus	0,849658084							0,57517	0,42483					ZE
	2, Kenaikan Yesus Kristus	0,768905448							0,61555	0,38445					ZE
	3, Natal	-3,126041556				0,563021	0,436979								NS
Hari Raya Hindu / Budha/Tionghoa	1, Nyepi	1,921480775							0,03926	0,96074					PVS
	1, Tahun Baru Imlek	-1,089784566						0,544892	0,45511						NVS
	2, Waisak	-5,405104756			0,70255	0,297448									NM

Tabel. 4.5. Proses Pembuatan Aturan Dasar untuk Input Y Tahun 2010

Kelompok	Nama Hari Libur	Nilai Y	Derajat Keanggotaan (μ)										Himpunan			
			NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB	PVB	Y		
Hari Libur	1, Tahun Baru Masehi	4,800452379										0,59977	0,40023			PS
Umum	2, Proklamasi Kemerdekaan RI	-3,278377375				0,639189	0,360811									NS
Hari Raya	1, Idul Adha	-0,094180854					0,04709	0,95291								ZE
Islam	2, Tahun Baru Hijriyah	-0,721914016					0,360957	0,63904								ZE
	3, Maulid Nabi Muhammad SAW	4,110906984									0,94455	0,05545				PS
	4, Isra Mi'raj	2,111261223								0,94437	0,05563					PVS
	5, Idul Fitri I	-4,341488256			0,17074	0,829256										NS
	6, Idul Fitri II	-2,176053772				0,088027	0,911973									NVS
	Hari Raya	1, Wafatnya Yesus Kristus	-2,063651002				0,031826	0,968174								
Kristen	2, Kenaikan Yesus Kristus	1,913658958							0,04317	0,95683						PVS
	3, Natal	0,962722575							0,51864	0,48136						ZE
Hari Raya	1, Nyepi	-1,330382188					0,665191	0,33481								NVS
Hindu / Budha/Tionghoa	2, Tahun Baru Imlek	3,278635277								0,36068	0,63932					PS
	3, Waisak	-1,351214025						0,675607	0,32439							NVS

Tabel. 4.6. Proses Pembuatan Aturan Dasar untuk Output Z Tahun 2010

Kelompok	Nama Hari Libur	Nilai Z	Derajat Keanggotaan (μ)											Himpunan Z	
			NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB	PVB		
Hari Libur	1, Tahun Baru Masehi	-3,278377375				0,639189	0,360811								NS
Umum	2, Proklamasi Kemerdekaan RI	4,800452379									0,59977	0,40023			PS
Hari Raya	1, Idul Adha	-0,721914016						0,360957	0,63904						ZE
Islam	2, Tahun Baru Hijriyah	4,110906984									0,94455	0,05545			PS
	3, Maulid Nabi Muhammad SAW	2,111261223								0,94437	0,05563				PVS
	4, Isra Mi'raj	-4,341488256			0,17074	0,829256									NS
	5, Idul Fitri I	-2,176053772				0,088027	0,911973								NVS
	6, Idul Fitri II	-0,094180854					0,04709	0,95291							ZE
Hari Raya	1, Wafatnya Yesus Kristus	1,913658958							0,04317	0,95683					PVS
Kristen	2, Kenaikan Yesus Kristus	0,962722575							0,51864	0,48136					ZE
	3, Natal	-2,063651002				0,031826	0,968174								NVS
Hari Raya	1, Nyepi	3,278635277								0,36068	0,63932				PS
Hindu /	2, Tahun Baru Imlek	-1,351214025						0,675607	0,32439						NVS
Budha/Tionghoa	3, Waisak	-1,330382188						0,665191	0,33481						NVS

Tabel 4.7. Tabel Aturan Dasar (*fuzzy rules*) untuk peramalan tahun 2010

X/Y	NVB	NB	NM	NS	NVS	ZE	PVS	PS	PM	PB	PVB
NVB											
NB											
NM				NVS	NVS						
NS					ZE	NVS					
NVS								NVS			
ZE					PVS	PS	NS/ZE				
PVS					PS	ZE		NS			
PS				PS				PVS			
PM											
PB											
PVB											

Tabel 4.8. Tabel Konversi Aturan Dasar Peramalan Tahun 2010 untuk Kode Software Matlab

No. Aturan	Antecedent		Consequen	No. Aturan	Antecedent		Consequen
	X	Y	Z		X	Y	Z
1	PVS	PS	NS	1	7	8	4
2	PS	NS	PS	2	8	4	8
3	PVS	ZE	ZE	3	7	6	6
4	ZE	ZE	PS	4	6	6	8
5	PS	PS	PVS	5	8	8	7
6	ZE	PVS	NS	6	6	7	4
7	NM	NS	NVS	7	3	4	5
8	NS	NVS	ZE	8	4	5	6
9	ZE	NVS	PVS	9	6	5	7
10	ZE	PVS	ZE	10	6	7	6
11	NS	ZE	NVS	11	4	6	5
12	PVS	NVS	PS	12	7	5	8
13	NVS	PS	NVS	13	5	8	5
14	NM	NVS	NVS	14	3	5	5

Jika terdapat *aturan fuzzy* yang sama untuk nilai input X dan Y yang sama, namun nilai out put Z berbeda, maka dipilih yang lebih besar nilai output nya sedang yang lainnya dihilangkan.

4.3 Implementasi Peramalan Beban Jangka Pendek untuk Hari-hari Libur Nasional Pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali menggunakan Metode *Interval Type-2 Fuzzy Inference System (IT2FIS)* dengan data 5 Tahun Terakhir dengan memperhitungkan Data Aktual Tahun Peramalan.

Peramalan beban jangka pendek menggunakan *Interval Type-2 Fuzzy Inference System* dieksekusi melalui sebuah program m.file pada Matlab menggunakan fungsi-fungsi yang diberikan pada *Toolbox IT2FLT*, sehingga didapatkan nilai peramalan VLD_{max} . Hasil dari peramalan VLD_{max} di lanjutkan (*postprocessing*) menggunakan software *MS.Excell* untuk mendapatkan hasil peramalan beban puncak dan error peramalan. Hasil error peramalan beban jangka pendek menggunakan metode *IT2FIS* tahun 2010 sampai tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10. Perbandingan error peramalan tahun 2010 dengan metode sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.9. Hasil peramalan beban jangka pendek pada hari libur nasional tahun 2010 menggunakan *IT2FIS*

Kelompok	Nama Hari Libur	Peramalan P'MAX(MW)	Aktual	Error
			(MW)	(%)
Hari Libur Umum	1, Tahun Baru Masehi	13.917,2274	13562	2,61928474
	2, Proklamasi Kemerdekaan RI	15.123,36178	15259	0,88890634
Hari Raya Islam	1, Idul Adha	14.988,86452	15192	1,33712137
	2, Tahun Baru Hijriyah	15.716,68623	15960	1,52452235
	3, Maulid Nabi Muhammad SAW	15.176,86537	15542	2,34934136
	4, Isra Mi'raj	15.777,62258	15498	1,80424947
	5, Idul Fitri I	11.531,67553	11494	0,32778433
	6, Idul Fitri II	11.659,91891	11700	0,34257341
Hari Raya Kristen	1, Wafatnya Yesus Kristus	15.710,50946	15598	0,72130695
	2, Kenaikan Yesus Kristus	15.534,59028	16076	3,36781363
	3, Natal	15.312,35165	15302	0,06764899
Hari Raya Hindu / Budha / Tionghoa	1, Nyepi	15.516,37184	15620	0,66343251
	2, Tahun Baru Imlek	14.666,6747	14901	1,57254748
	3, Waisak	16.018,48307	16040	0,13414542
			MAPE	1,26576274

Tabel 4.10. Hasil-hasil error peramalan beban jangka pendek untuk hari libur nasional dari tahun 2010 sampai 2014 menggunakan *IT2FIS Algorithm* pada sistem kelistrikan Jawa-Bali

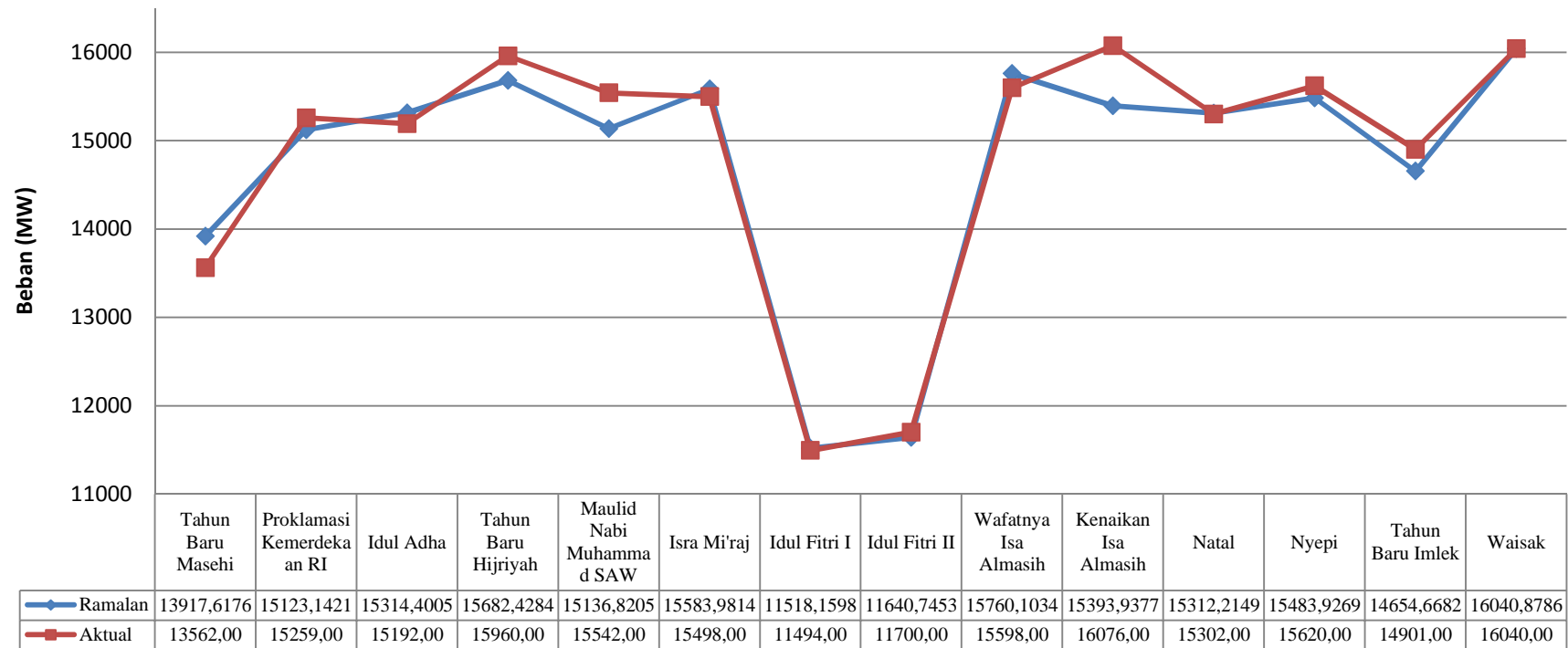
Kelompok	Nama Hari Libur	Error Peramalan per Tahun				
		2010	2011	2012	2013	2014
Hari Libur Umum	1.Tahun Baru Masehi	2,6193	8,2974	0,7975	0,5756	0,5521
	2.Proklamasi Kemerdekaan RI	0,8889	0,7218	1,1570	1,5002	8,5501
Hari Raya Islam	1.Idul Adha	1,3371	9,5727	11,2628	2,2624	2,9841
	2.Tahun Baru Hijriyah	1,5245	11,5058	3,3387	0,5448	0,0957
	3.Maulid Nabi Muhammad SAW	2,3493	1,2703	0,4179	1,7333	0,1072
	4.Isra Mi'raj	1,8042	8,5165	0,4436	1,3329	0,0618
	5.Idul Fitri I	0,3278	9,4347	0,4036	0,1607	0,5588
	6.Idul Fitri II	0,3426	4,8026	1,5246	2,5277	0,0794
Hari Raya Kristen	1.Wafatnya Yesus Kristus	0,7213	10,2975	0,9043	1,4365	4,9484
	2.Kenaikan Yesus Kristus	3,3678	10,2202	0,1563	0,4804	2,9795
	3.Natal	0,0676	4,5050	1,3124	0,9545	0,6961
Hari Raya Hindu /Budha/ Tionghoa	1.Nyepi	0,6634	0,4271	2,3651	7,3333	1,8566
	2.Tahun Baru Imlek	1,5725	0,6026	0,9426	2,1631	0,1119
	3.Waisak	0,1341	0,7729	0,9177	5,5634	0,1842
MAPE		1,2658	5,7820	1,8531	2,0406	1,6976

Hasil perhitungan menggunakan metode *IT2FIS*, nilai *MAPE* terbesar terjadi pada tahun 2011. Hal ini disebabkan pada tahun itu banyak dilakukan pemeliharaan sistem kelistrikan sehingga beban menjadi lebih variatif (*anamoulus load*). Sedangkan nilai *MAPE* yang paling rendah terjadi pada tahun 2010, hal ini disebabkan pada tahun tersebut variasi beban puncak terhadap hari libur dan empat hari sebelum hari libur perbedaannya tidak begitu besar .

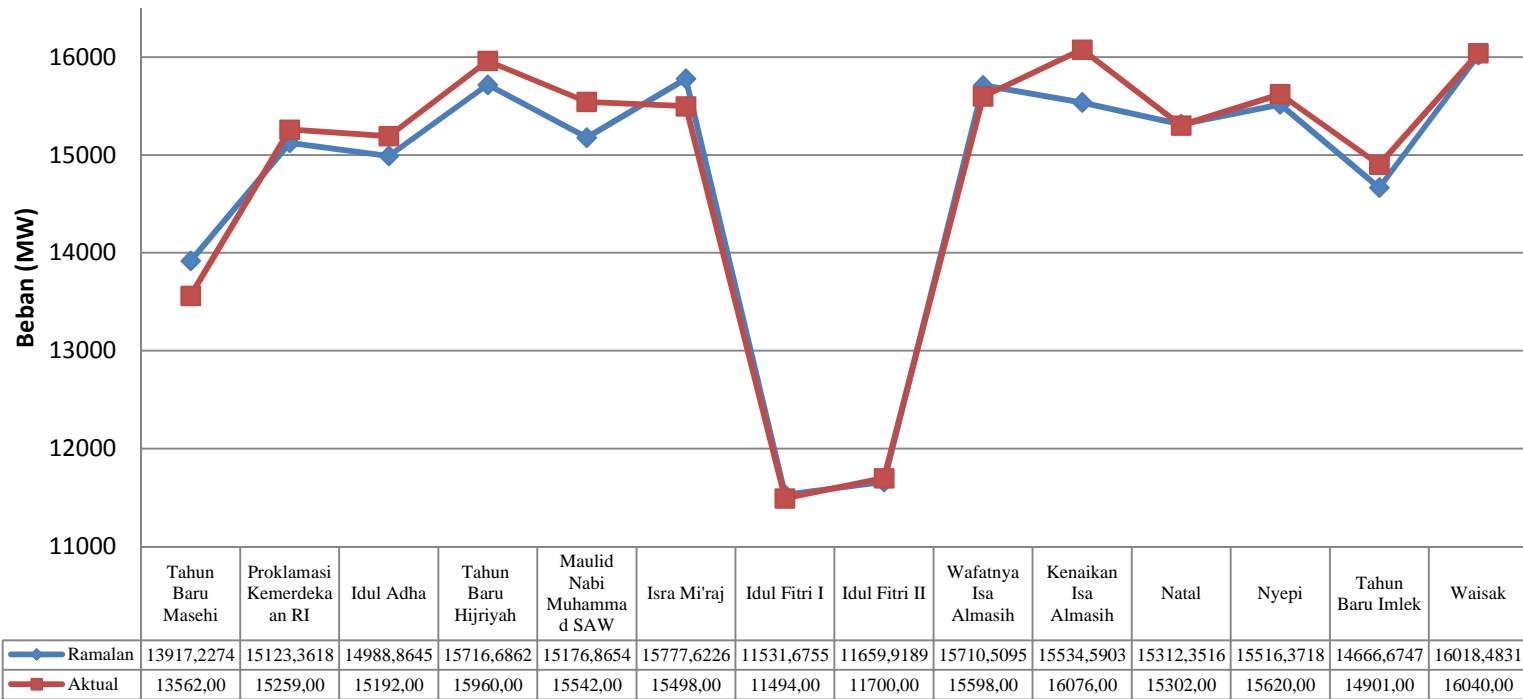
Tabel 4.11.Perbandingan hasil peramalan beban jangka pendek dengan beberapa metode sebelumnya untuk Peramalanbeban tahun 2010

Kelompok	Nama Hari Libur	T1FIS		Error (%)	T2FIS		Error (%)
		Peramalan	Aktual		Peramalan	Aktual	
		P'MAX(MW)	MaxSD(MW)		P'MAX(MW)	MaxSD(MW)	
Hari Libur Umum	1.Tahun Baru Masehi	13.917,61757	13.562	2,622161709	13.917,2274	13.562	2,61928
	2.Proklamasi Kemerdekaan RI	15.123,1421	15.259	0,890346042	15.123,36178	15.259	0,88891
Hari Raya Islam	1.Idul Adha	15.314,40052	15.192	0,805690635	14.988,86452	15.192	1,33712
	2.Tahun Baru Hijriyah	15.682,42838	15.960	1,739170555	15.716,68623	15.960	1,52452
	3.Maulid Nabi Muhammad SAW	15.136,82046	15.542	2,606997424	15.176,86537	15.542	2,34934
	4.Isra Mi'raj	15.583,98144	15.498	0,554790568	15.777,62258	15.498	1,80425
	5.Idul Fitri I	11.518,15977	11.494	0,210194639	11.531,67553	11.494	0,32778
	6.Idul Fitri II	11.640,74526	11.700	0,506450772	11.659,91891	11.700	0,34257
Hari Raya Kristen	1.Wafatnya Yesus Kristus	15.760,10338	15.598	1,039257486	15.710,50946	15.598	0,72131
	2.Kenaikan Yesus Kristus	15.393,93774	16.076	4,24273615	15.534,59028	16.076	3,36781
	3.Natal	15.312,21488	15.302	0,066755208	15.312,35165	15.302	0,06765
Hari Raya Hindu / Budha/ Tionghoa	1.Nyepi	15.483,92694	15.620	0,871146331	15.516,37184	15.620	0,66343
	2.Tahun Baru Imlek	14.654,66816	14.901	1,653122879	14.666,6747	14.901	1,57255
	3.Waisak	16.040,87857	16.040	0,005477378	16.018,48307	16.040	0,13415
MAPE				1,272449841			1,26576

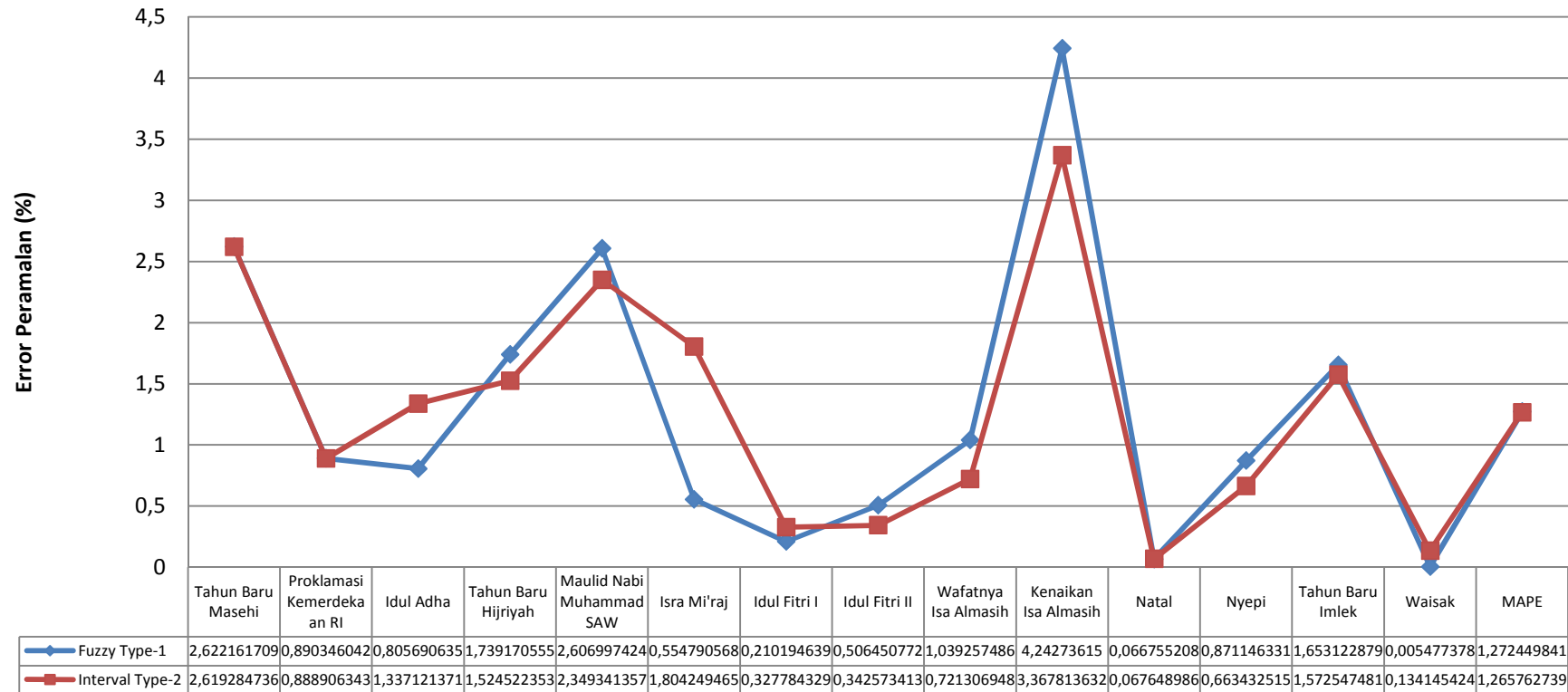
Gambar 4.7. Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2010 Menggunakan Type 1 Fuzzy Inference System



Gambar 4.8. Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2010 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System



Gambar 4.9. Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2010 (Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali)



BAB V PENUTUP

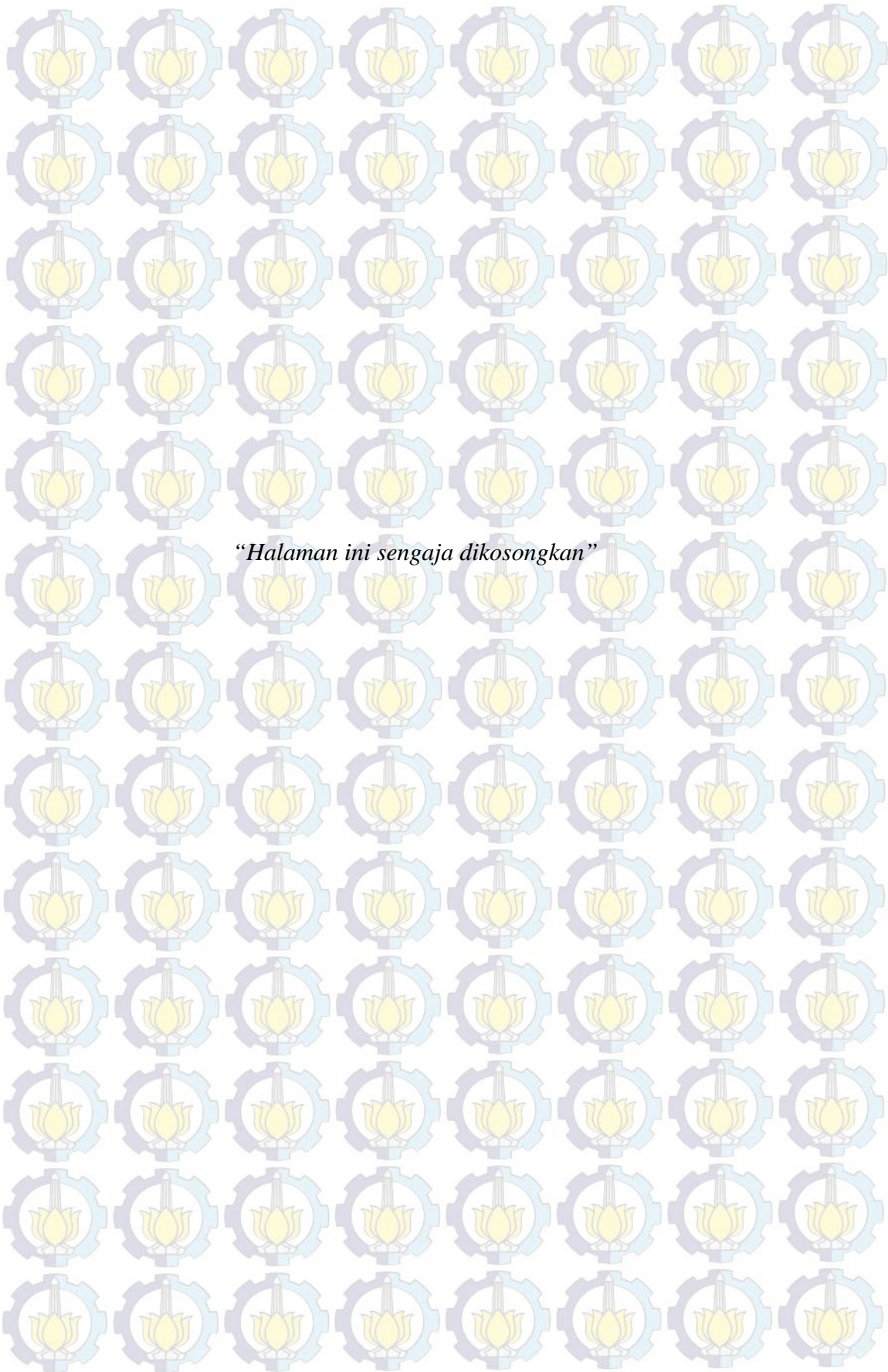
Berdasarkan analisis dan hasil peramalan beban jangka pendek untuk hari libur nasional menggunakan *Interval type-2 Fuzzy Inference System*, maka kesimpulan dan saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. Penggunaan *Interval Type-2 Fuzzy Inference System (IT2FIS)* untuk peramalan beban jangka pendek pada hari libur nasional studi kasus sistem kelistrikan Jawa-Bali, menunjukkan nilai *main absolute percentage error (MAPE)* secara umum lebih kecil dibandingkan menggunakan *Interval Type-1 Fuzzy Inference System*.
2. Hasil perhitungan peramalan beban jangka pendek pada hari libur nasional studi kasus sistem kelistrikan Jawa-Bali menggunakan metode *Interval Type-2 Fuzzy Inference System*, nilai MAPE terkecil menggunakan metode IT2FIS terjadi pada tahun 2010 yaitu sebesar 1,2658%. Nilai MAPE terbesar terjadi pada tahun 2011 yaitu sebesar 5,782%. Nilai MAPE tersebut masih di bawah batas nilai toleransi yang diijinkan, yaitu 8%.

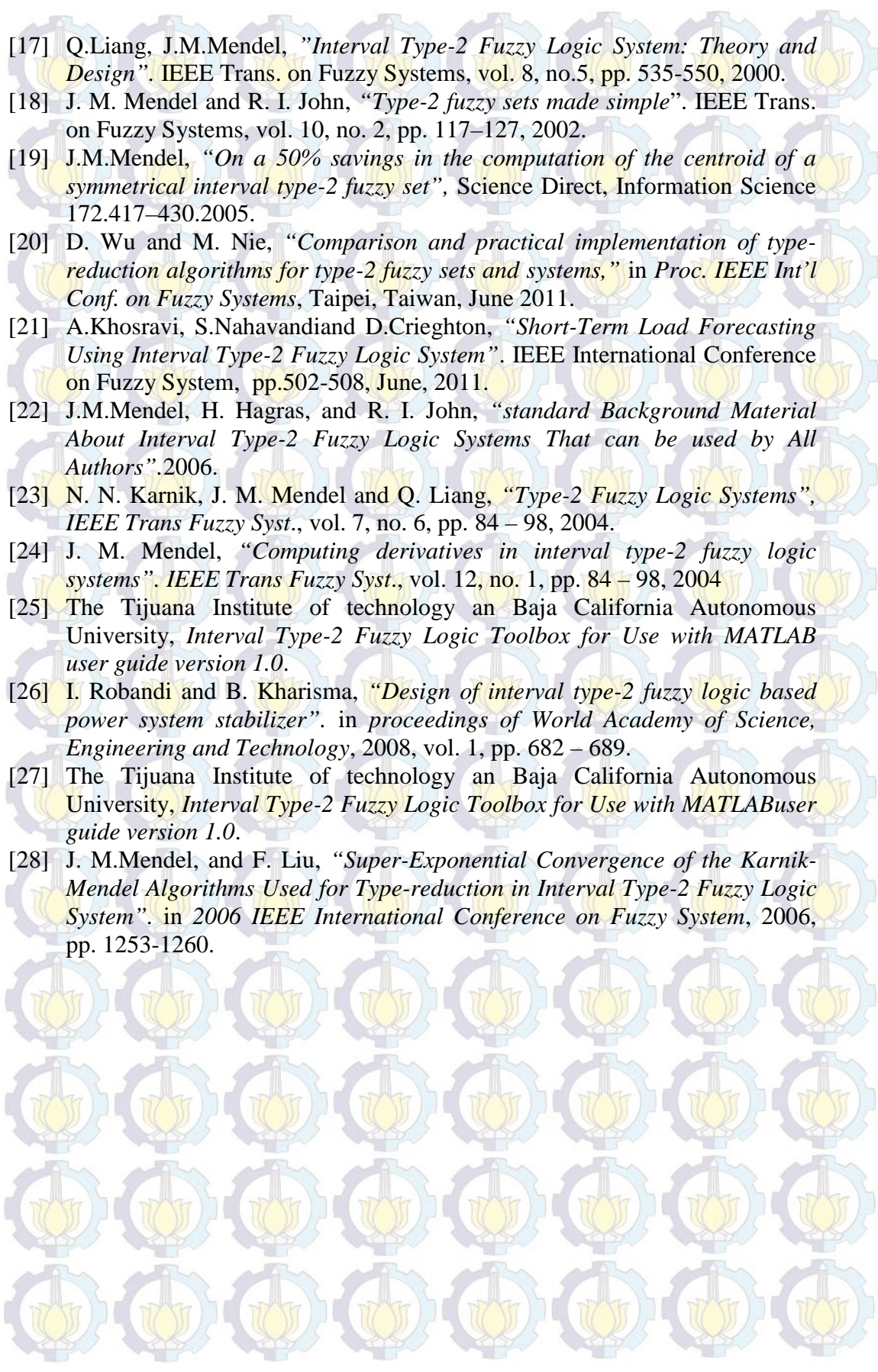
5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut pada peramalan beban diperlukan pengembangan dan penerapan penggunaan metode-metode peramalan hibrid untuk menemukan metode-metode baru untuk diteliti penggunaannya dikemudian hari dalam mencari metode yang lebih efektif dan efisien.



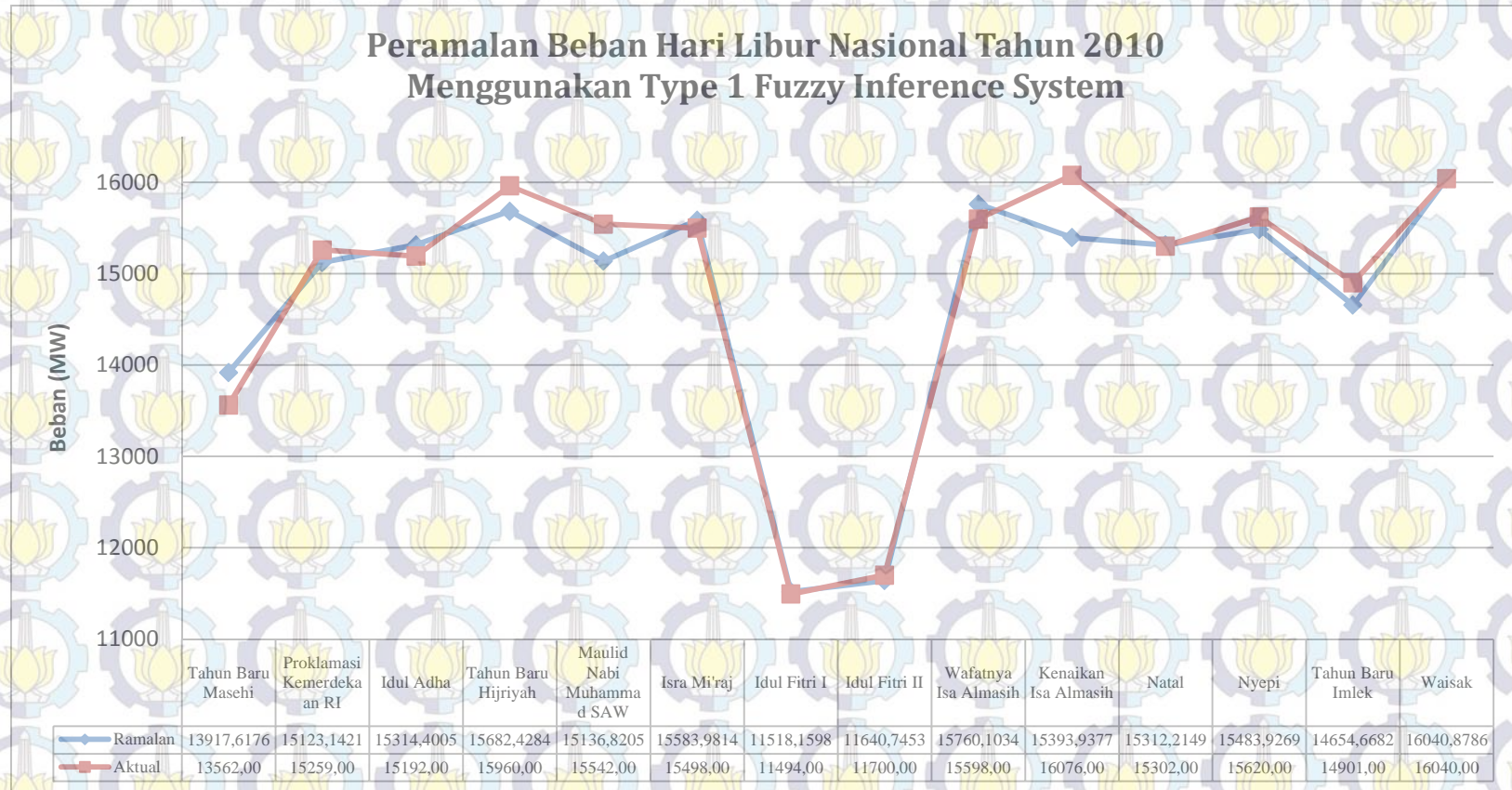
DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.Shahidehpour, Yamin, Z.Li, & J.Wiley & Sons, “*Market operations in electric power systems forecasting, scheduling, and risk management*”. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Wiley-Interscience,2002.
- [2] K.-B.Song, Y.-S. Baek, D.H.Hong, & 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. Feb. 2005.
- [3] A.Dharma.I.Robandi.M.Hery Purnomo, “*Shot term load forecasting on holidays using Fuzzy Linear Regresion; Case study in Bali Island*”.
- [4] Agus Dharma, “*Perramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari-Hari Khusus Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Inference System (Studi Kasus di Pulau Bali)*”. Disertasi Jur.Teknik Elektro ITS, Surabaya, Oktober 2013.
- [5] Muridhi et.al, “*Perramalan Pola Kurva Beban Harian selama Pemadaman dengan Menggunakan Jaringan syaraf Tiruan untuk Menentukan Besar kWh tak Terjual*”. *Maj,IPTEK*,vol 11.Surabaya.pp.162-168,Nopember 1998
- [6] A.Dharma,I.Robandi,M.Hery Purnomo, “*Aplikasi Metode Fuzzy Inference System (FIS) dalam Perramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari-hari libur (Study Kasus di Pulau Bali)*”. in *Procesing of The 9 th Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*,Surabaya,2008,p.57.
- [7] S.Rahman and R.Batnagar, “*An expert system based algoritma for shortterm load forecast*”. *IEEE Trans.Power Syst*,vol.3,no,2,pp.392-399,May 1998.
- [8] R.Lamedica, A.Prudenzi, M.Sfoma. M.Caciotta, & V.O.Cencelli, “*A neural network based technique for short-term forecasting of anomalous load periods*”. *IEEE Trans.Power Syst*,vol.11,no.4.pp.1749-1756,Now,1996
- [9] K. Kim, H. Youn, Y.-C. Kang, “*Short-term load forecasting for special days in anomalous load conditions using neural networks and fuzzy inference method*”. *IEEE*. vol. 15, no. 2, pp.559-565, 2000.
- [10] A. Dharma, I. Robandi, and M. Hery Purnomo, “*Application of Interval Type-2 Fuzzy Logic System in Short Term Load Forecasting on Special Days*”. *J. Technol. Sci. IPTEK*, vol. 22, Surabaya, pp. 110-116, May 2011.
- [11] 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, 2006.
- [12] Andi Imran, “*Prediksi Beban Puncak Hari Libur Nasional Berbasis Radial Basis Function Neural Network*”. Tesis Teknik Elektro UNHAS, Makassar, Agustus 2012.
- [13] “*DIFFERENCE BETWEEN FORECASTING AND PREDICTION,*” *Transtutor.com Surprising barriers*, 15-Sept-2013.
- [14] J. S. Armstrong, “*Principles of forecasting a handbook for researchers and practitioners*”. Boston, MA: Kluwer Academic, 2001.
- [15] T. J. Ross, “*Fuzzy Logic with Engineering Applications*”. John Wiley & Sons, 2004.
- [16] J. M. Mendel, “*On the importance of interval sets in type-2 fuzzy logic systems*”. in *IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference. 2001. Joint 9th*,2001, vol. 3, pp. 1647 – 1652 vol. 3.

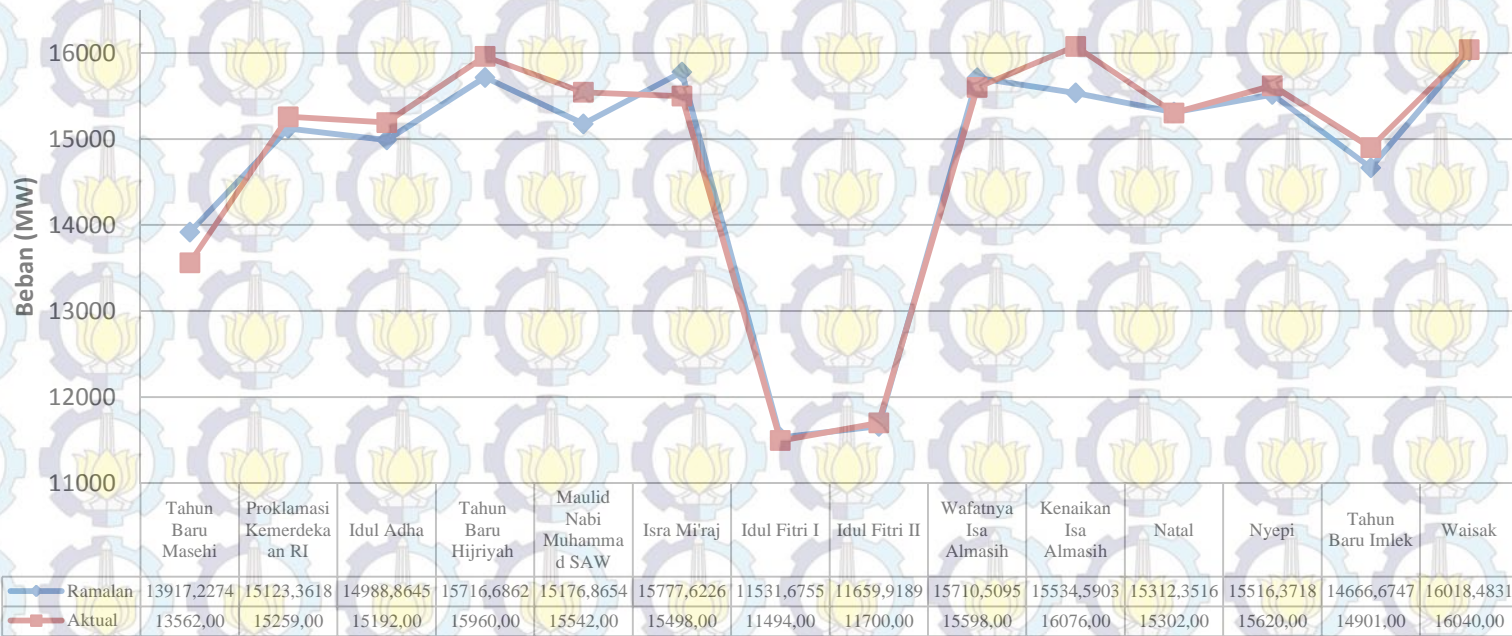
- 
- [17] Q.Liang, J.M.Mendel, "Interval Type-2 Fuzzy Logic System: Theory and Design". IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 8, no.5, pp. 535-550, 2000.
- [18] J. M. Mendel and R. I. John, "Type-2 fuzzy sets made simple". IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 10, no. 2, pp. 117–127, 2002.
- [19] J.M.Mendel, "On a 50% savings in the computation of the centroid of a symmetrical interval type-2 fuzzy set", Science Direct, Information Science 172.417–430.2005.
- [20] D. Wu and M. Nie, "Comparison and practical implementation of type-reduction algorithms for type-2 fuzzy sets and systems," in Proc. IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems, Taipei, Taiwan, June 2011.
- [21] A.Khosravi, S.Nahavandi and D.Crieghton, "Short-Term Load Forecasting Using Interval Type-2 Fuzzy Logic System". IEEE International Conference on Fuzzy System, pp.502-508, June, 2011.
- [22] J.M.Mendel, H. Hagsras, and R. I. John, "standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems That can be used by All Authors".2006.
- [23] N. N. Karnik, J. M. Mendel and Q. Liang, "Type-2 Fuzzy Logic Systems", IEEE Trans Fuzzy Syst., vol. 7, no. 6, pp. 84 – 98, 2004.
- [24] J. M. Mendel, "Computing derivatives in interval type-2 fuzzy logic systems". IEEE Trans Fuzzy Syst., vol. 12, no. 1, pp. 84 – 98, 2004
- [25] The Tijuana Institute of technology an Baja California Autonomous University, Interval Type-2 Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB user guide version 1.0.
- [26] I. Robandi and B. Kharisma, "Design of interval type-2 fuzzy logic based power system stabilizer". in proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 2008, vol. 1, pp. 682 – 689.
- [27] The Tijuana Institute of technology an Baja California Autonomous University, Interval Type-2 Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB user guide version 1.0.
- [28] J. M.Mendel, and F. Liu, "Super-Exponential Convergence of the Karnik-Mendel Algorithms Used for Type-reduction in Interval Type-2 Fuzzy Logic System". in 2006 IEEE International Conference on Fuzzy System, 2006, pp. 1253-1260.

LAMPIRAN D

Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2010 Menggunakan Type 1 Fuzzy Inference System



Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2010 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System



**Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2010
(Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali)**

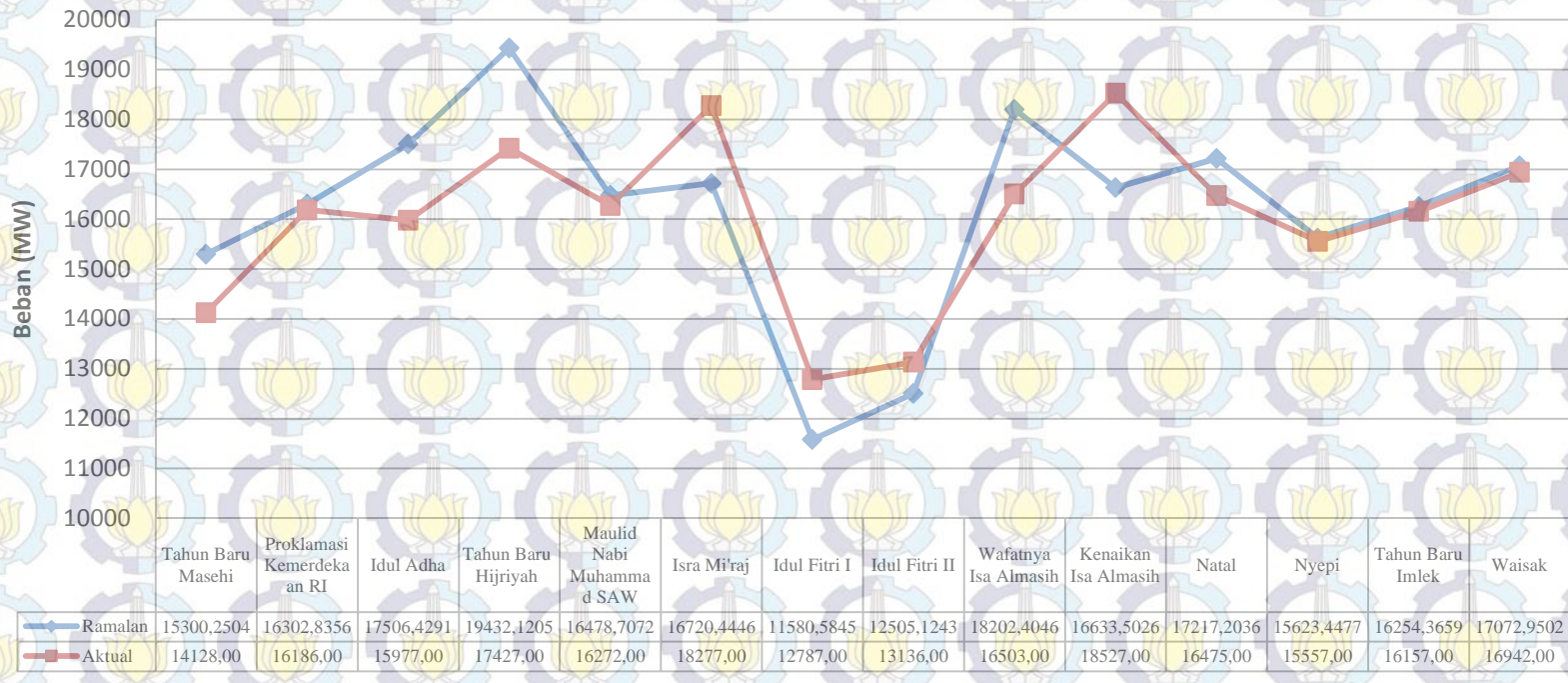


	Tahun Baru Masehi	Proklamasi Kemerdekaan RI	Idul Adha	Tahun Baru Hijriyah	Maulid Nabi Muhammad SAW	Isra Mi'raj	Idul Fitri I	Idul Fitri II	Wafatnya Isa Almasih	Kenaikan Isa Almasih	Natal	Nyepi	Tahun Baru Imlek	Waisak	MAPE
◆ Fuzzy Type-1	2,622162	0,890346	0,805691	1,739171	2,606997	0,554791	0,210195	0,506451	1,039257	4,242736	0,066755	0,871146	1,653123	0,005477	1,27245
■ Interval Type-2	2,619285	0,888906	1,337121	1,524522	2,349341	1,804249	0,327784	0,342573	0,721307	3,367814	0,067649	0,663433	1,572547	0,134145	1,265763

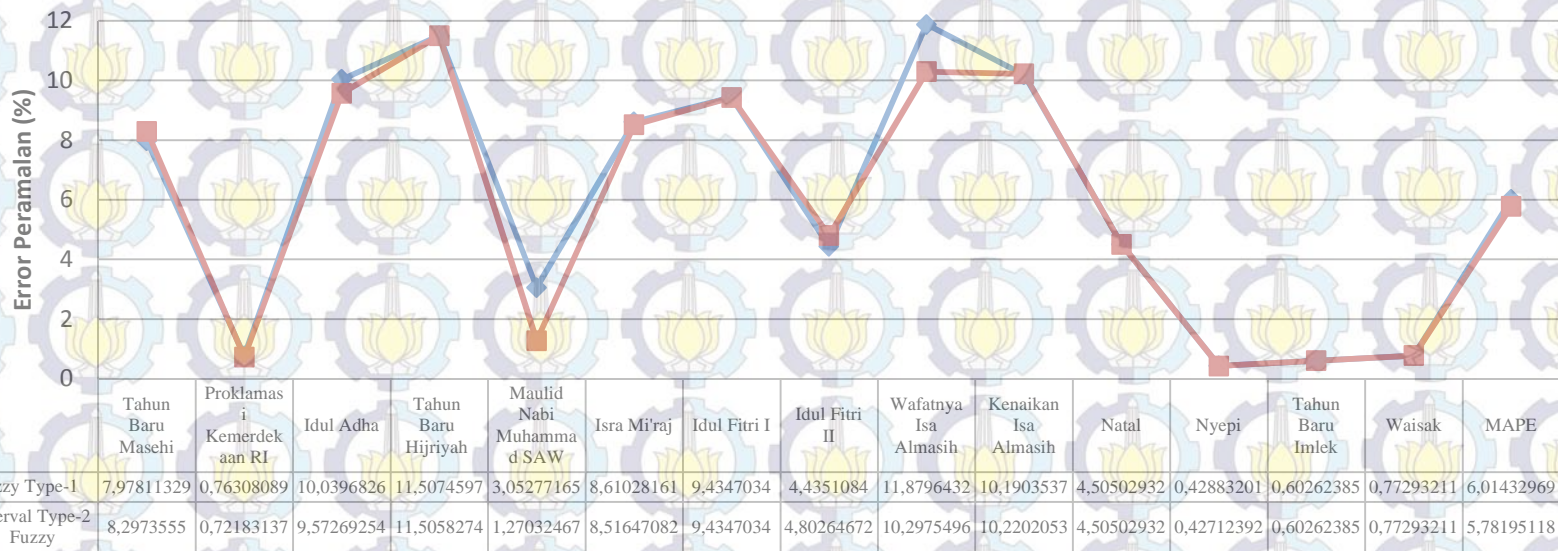
Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2011 Menggunakan Type 1 Fuzzy Inference System



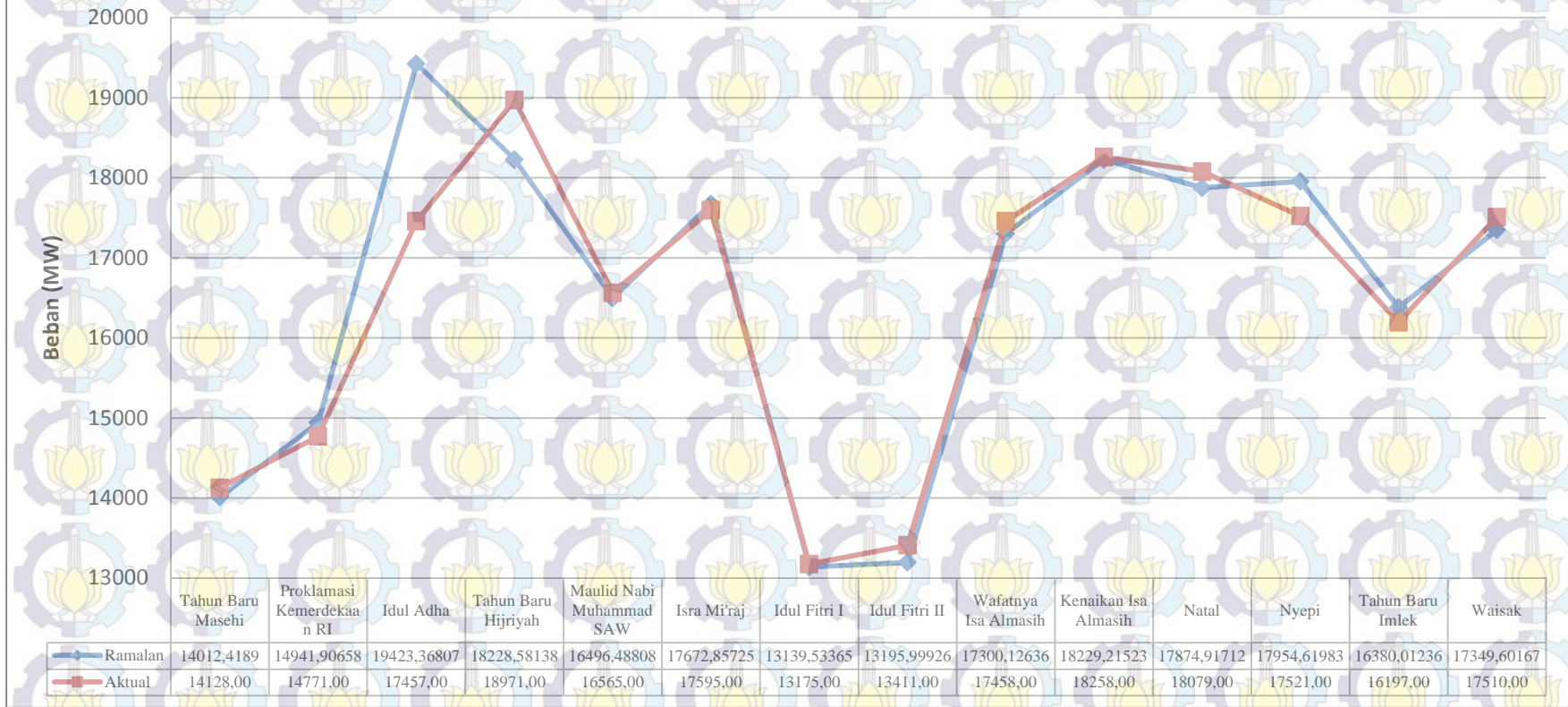
Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2011 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System



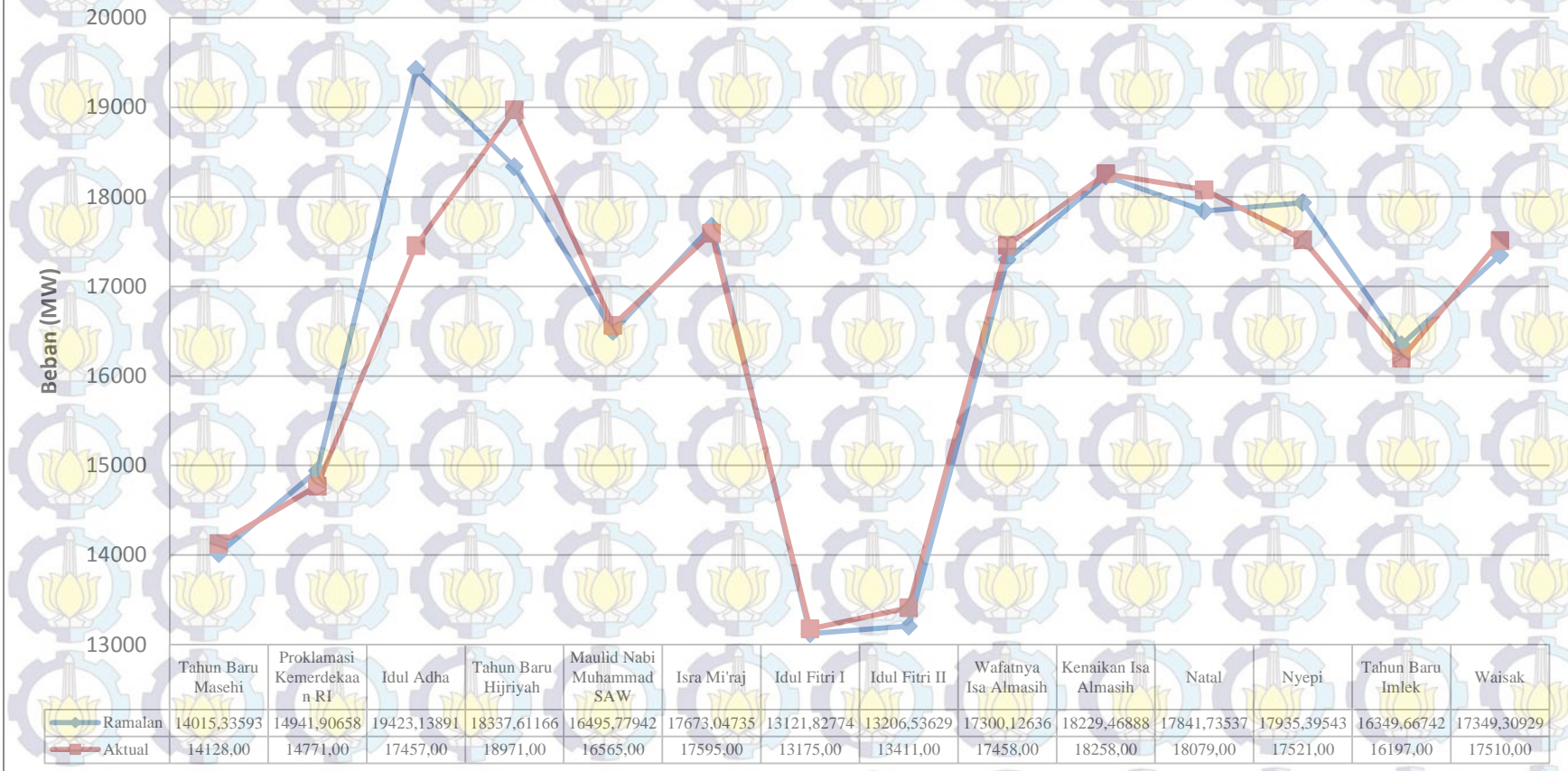
**Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2011
(Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali)**



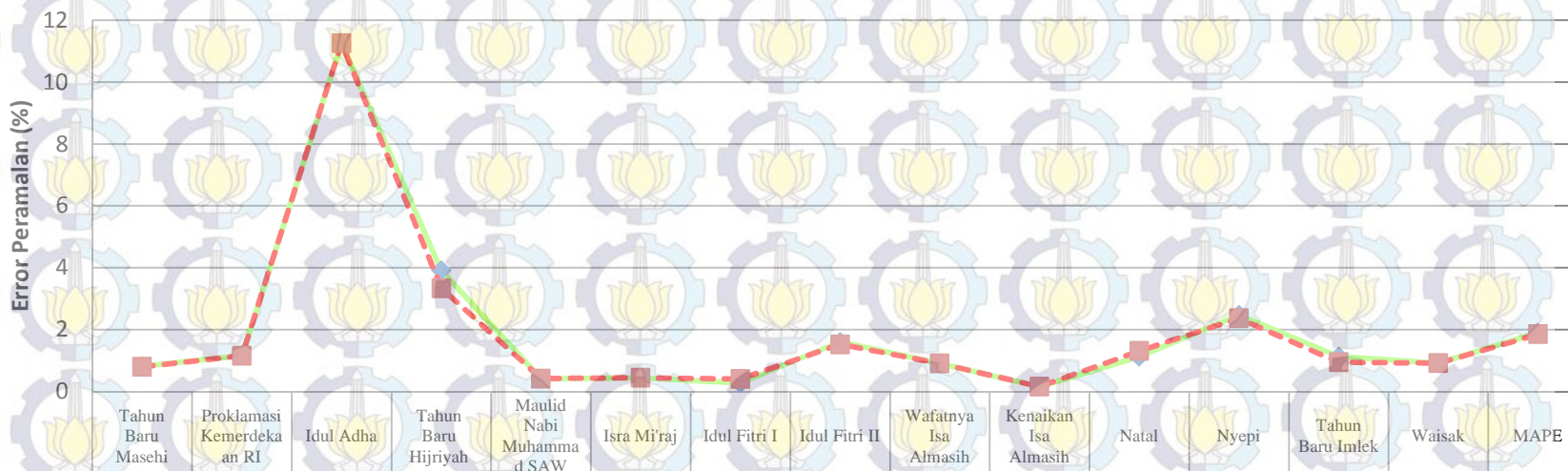
Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2012 Menggunakan Type 1 Fuzzy Inference System



Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2012 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System

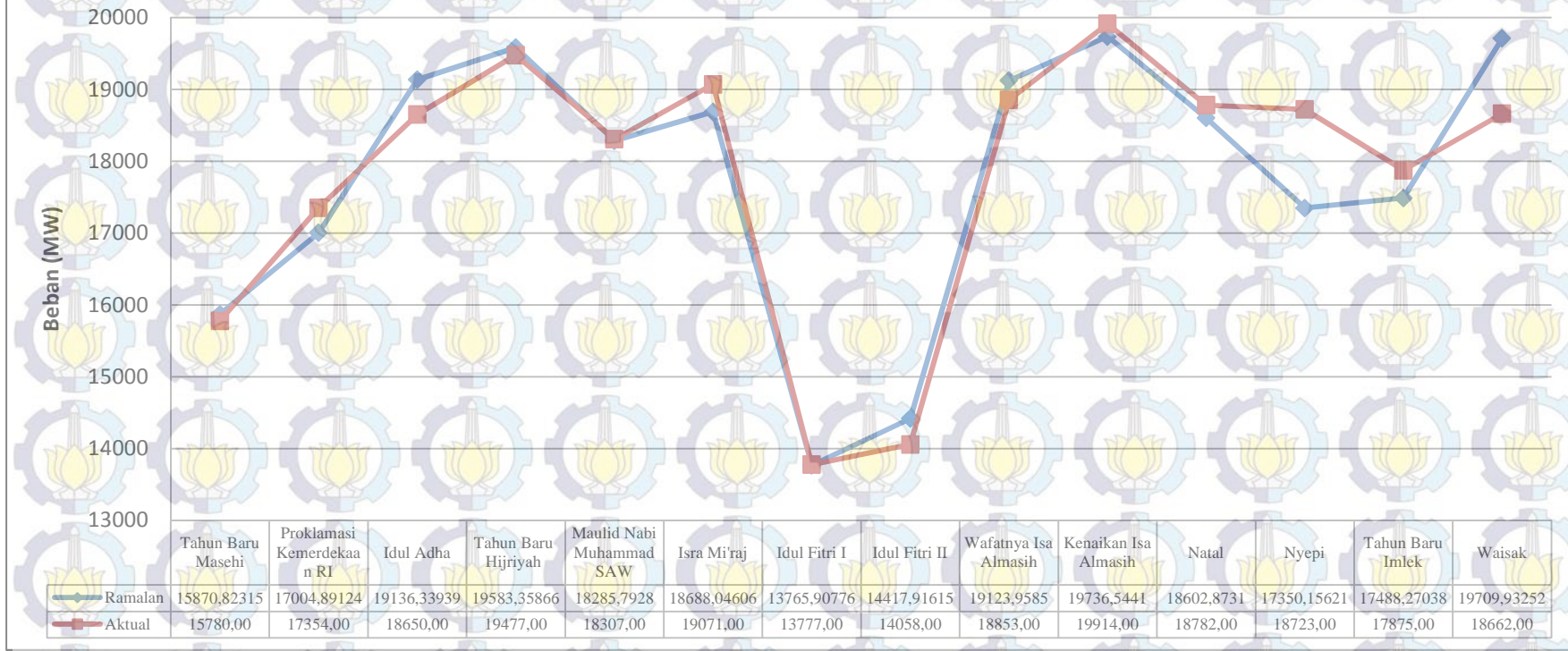


Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2012 (Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali)

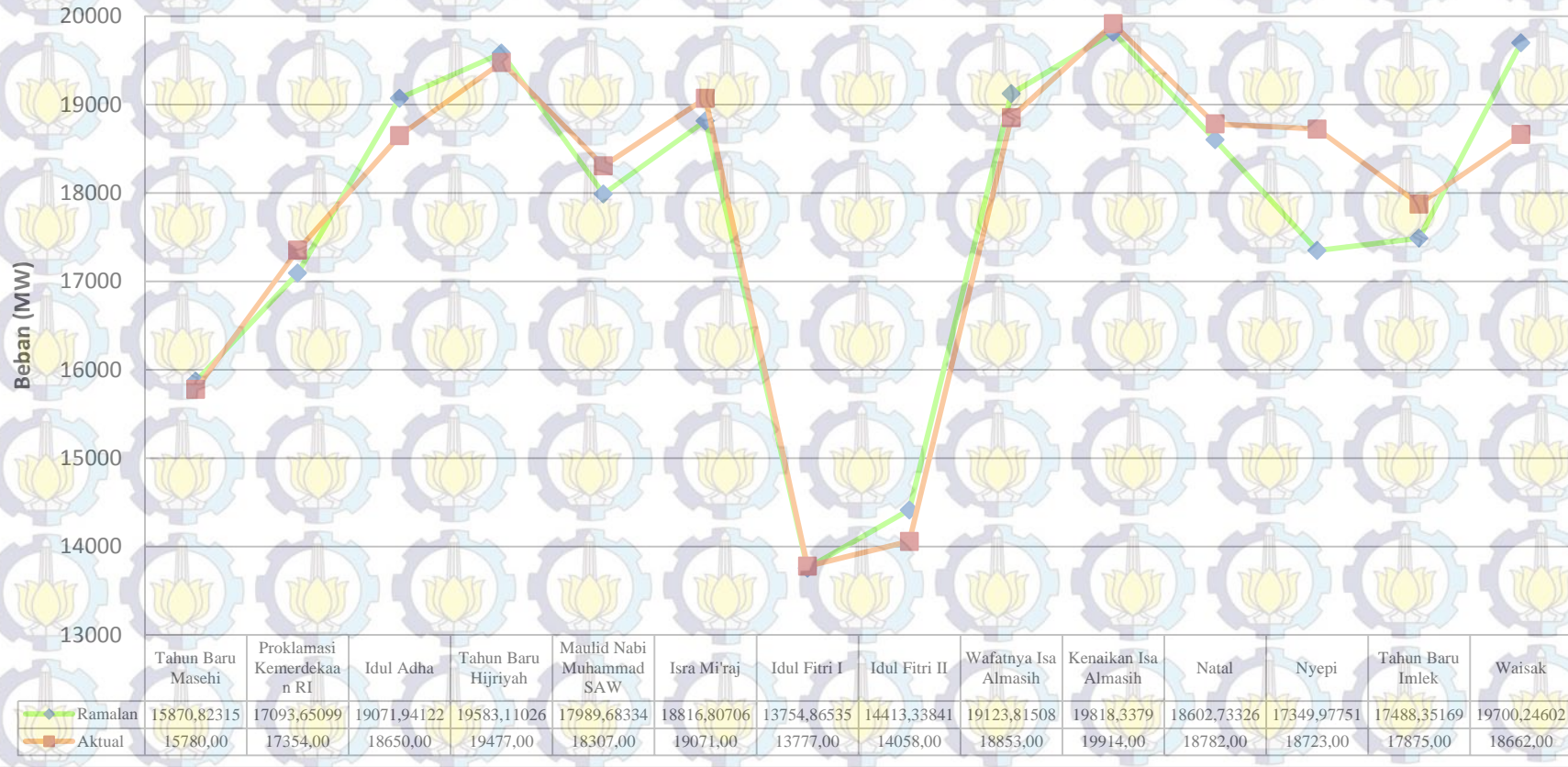


	Tahun Baru Masehi	Proklamasi Kemerdekaan RI	Idul Adha	Tahun Baru Hijriyah	Maulid Nabi Muhammad SAW	Isra Mi'raj	Idul Fitri I	Idul Fitri II	Wafatnya Isa Almasih	Kenaikan Isa Almasih	Natal	Nyepi	Tahun Baru Imlek	Waisak	MAPE
Fuzzy Type-1	0,818099526	1,157041379	11,26406637	3,913439558	0,41359442	0,442496424	0,269194273	1,603167096	0,904305413	0,157655675	1,128839439	2,474857796	1,129915186	0,91603843	1,899479356
Interval Type-2 Fuzzy	0,797452393	1,157041379	11,26275367	3,338718768	0,41787253	0,443576887	0,403584493	1,524597016	0,904305413	0,156266424	1,312376969	2,3651357	0,942566044	0,917708197	1,853139706

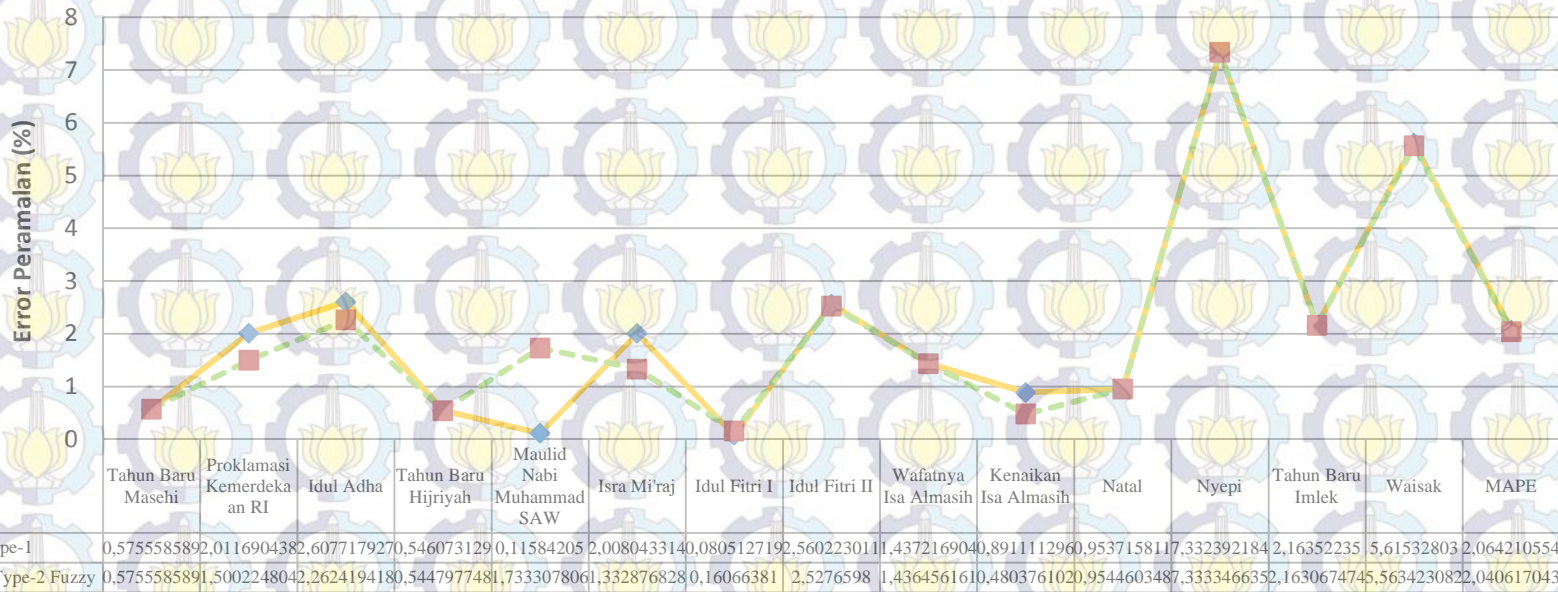
Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2013 Menggunakan Type 1 Fuzzy Inference System

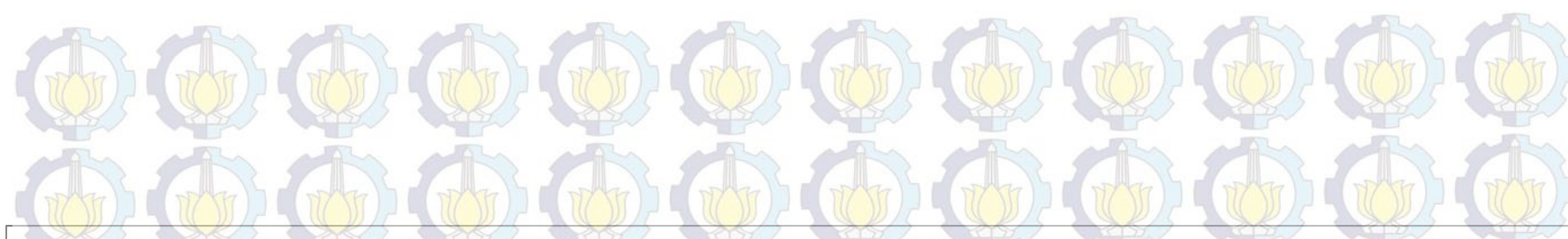


Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2013 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System

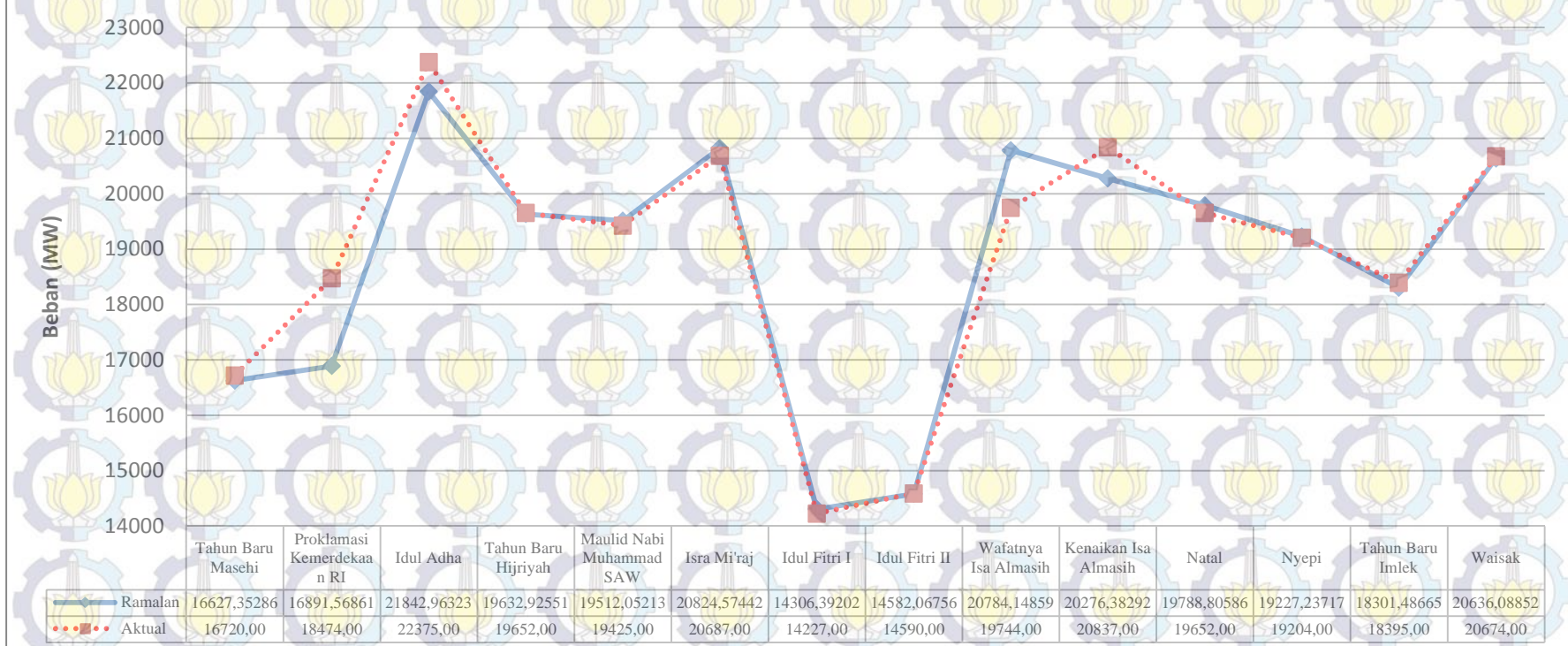


**Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2013
(Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali)**

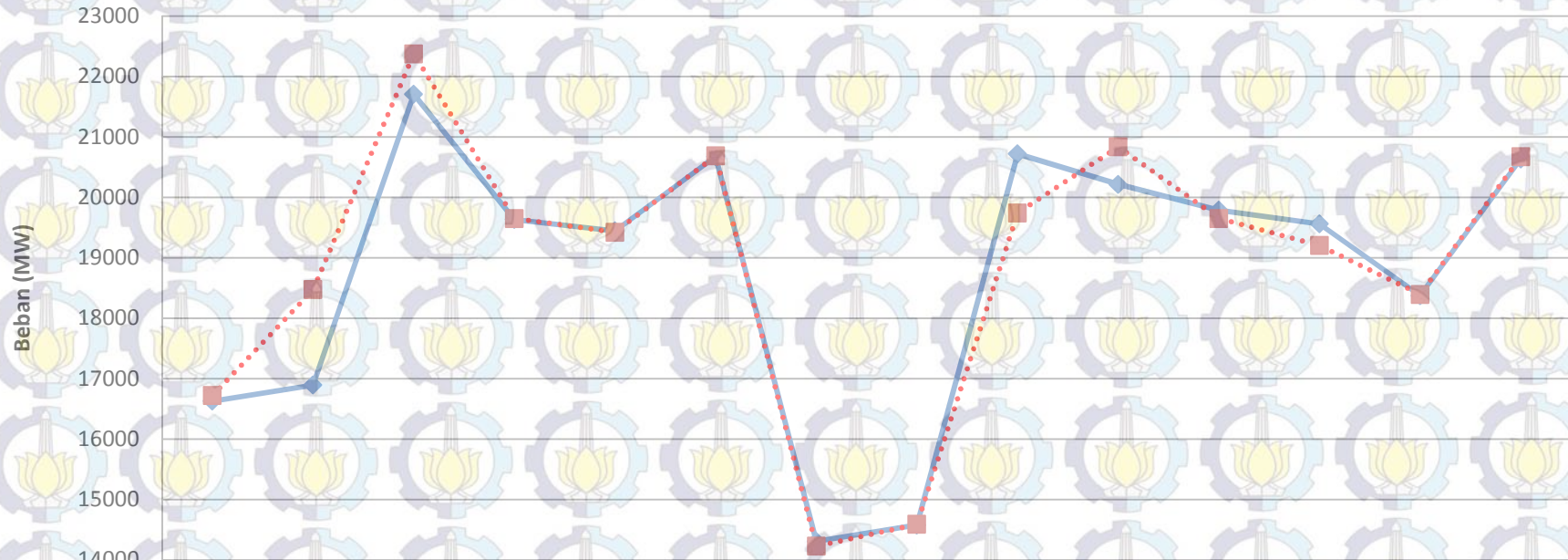




Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2014 Menggunakan Type 1 Fuzzy Inference System



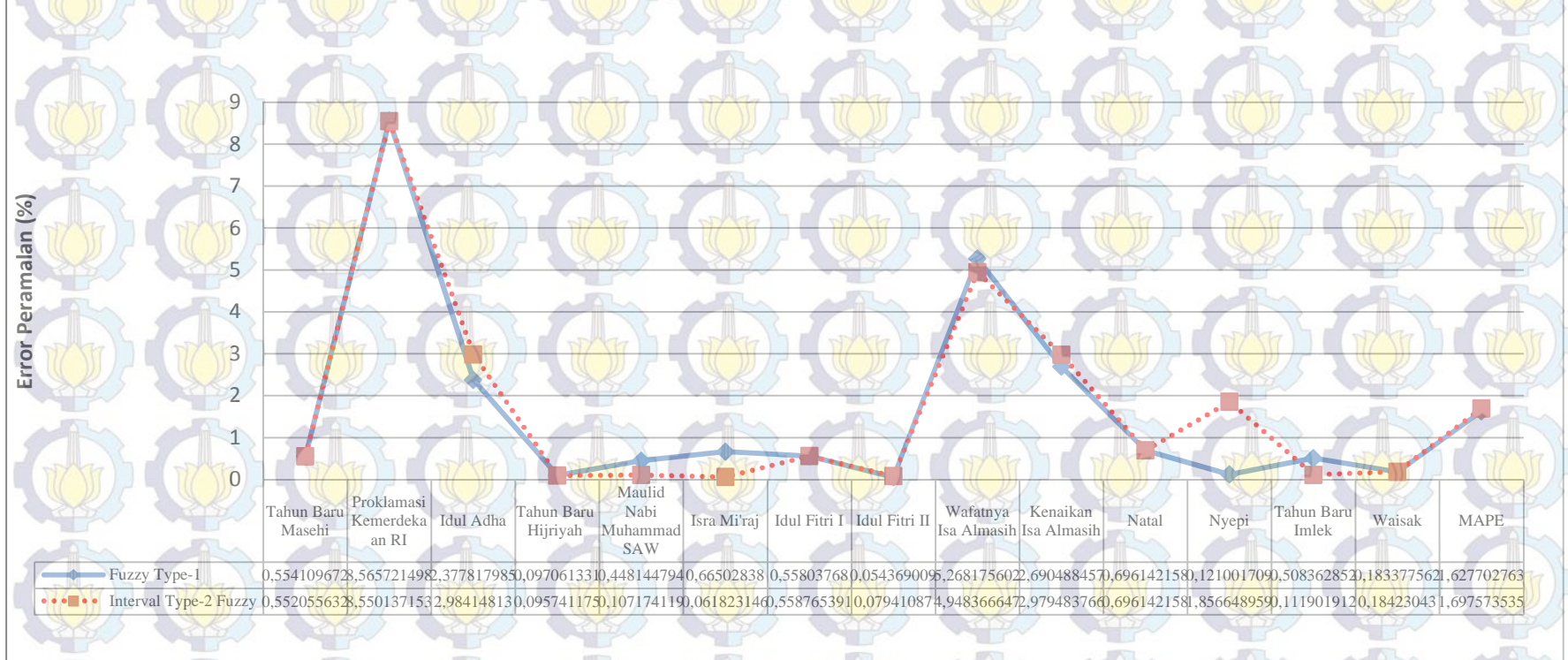
Peramalan Beban Hari Libur Nasional Tahun 2014 Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Inference System

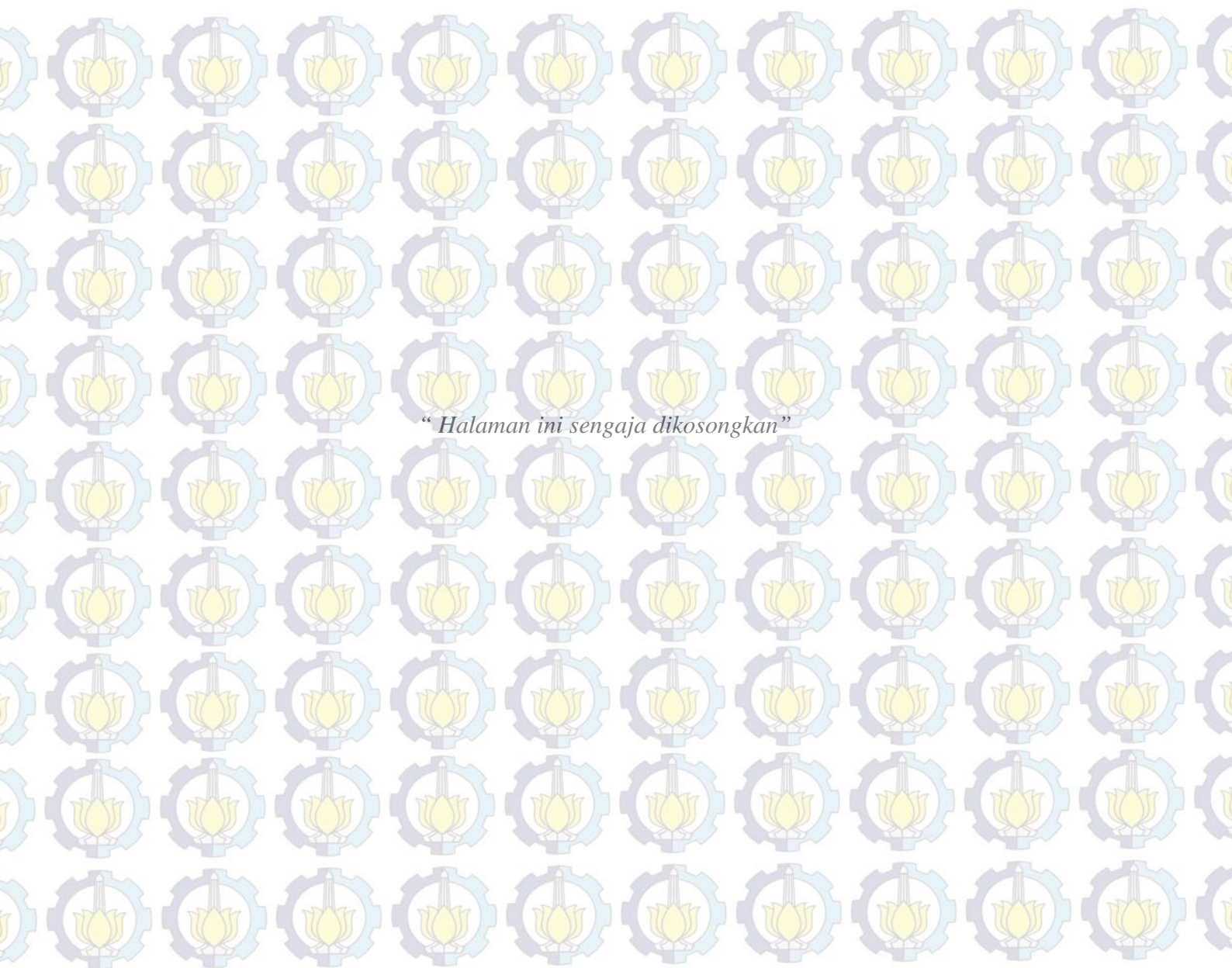


	Tahun Baru Masehi	Proklamasi Kemerdekaan RI	Idul Adha	Tahun Baru Hijriyah	Maulid Nabi Muhammad SAW	Isra Mi'raj	Idul Fitri I	Idul Fitri II	Wafatnya Isa Almasih	Kenaikan Isa Almasih	Natal	Nyepi	Tahun Baru Imlek	Waisak
Ramalan (MW)	16627,6963	16894,44766	21707,29686	19633,18494	19445,81857	20674,21065	14306,49555	14578,41395	20721,00551	20216,16497	19788,80586	19560,55087	18374,41564	20635,9122
Aktual (MW)	16720,00	18474,00	22375,00	19652,00	19425,00	20687,00	14227,00	14590,00	19744,00	20837,00	19652,00	19204,00	18395,00	20674,00



Perbandingan Error Peramalan Beban Jangka Pendek Untuk Hari Libur Nasional Tahun 2014 (Studi Kasus Sistem Kelistrikan Jawa Bali)





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Hidayatul Nurohmah dilahirkan di Nganjuk. Penulis adalah Dosen di Fakultas Teknik Universitas Darul'Ulum Jombang Jawa Timur. Penulis diberi kesempatan melanjutkan studi S2. Teknik Elektro Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan status Tugas Belajar. Penulis memulai jenjang pendidikan di SDN Kedung Mlaten I Lengkong Nganjuk lulus tahun 1982, SMP Lengkong Nganjuk Lulus tahun 1985, MAN Purwoasri Kediri lulus Tahun 1988, S1 Jurusan Teknik Elektro di Universitas Darul'Ulum Jombang lulus tahun 1993. Penulis memilih bidang studi teknik Sistem Tenaga dan aktif dalam kegiatan di Laboratorium *Power System operation and Control (PSOC)* Alamat email hidayatul.nurohmah13@mhs.ee.its.ac.id

Riwayat Pekerjaan

- Dosen Fakultas Teknik Universitas Darul'Ulum Jombang (1994-Sekarang)
- Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Darul'Ulum Jombang (1996-1998)
- Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Darul'Ulum Jombang (1998-2004)
- Kepala Lab.RL Teknik Elektro Universitas Darul'Ulum Jombang (1996-Sekarang)
- Anggota DPRD Fraksi Partai Demokrat, Kabupaten Jombang (2004-2009)
- Ketua Komisi C Bidang Pembangunan (2004-2005)
- Ketua Komisi D Bidang Pendidikan (2005-2006)
- Ketua Komisi A Bidang Pemerintahan (2006-2007)
- Satuan Tugas Perencanaan, Pengembangan dan Kerjasama Universitas Darul'Ulum Jombang (2011-Sekarang)

