



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Masalah Penelitian .....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Tujuan Penelitian.....	8
1.6 Manfaat Penelitian .....	9
1.7 Sistematika Penulisan.....	9
<b>BAB II. PENELITIAN TENTANG PERAMALAN BEBAN DAN METODE-</b> <b>METODE YANG DIGUNAKAN</b> .....	<b>11</b>
2.1 Metode dan teknik pendekatan untuk peramalan beban .....	12
2.1.1 STLF dengan metode statistika .....	14
2.1.2 STLF dengan menggunakan <i>Support Vector Regression Machines</i> .....	15
2.1.3 STLF dengan metode <i>Fuzzy Logic</i> .....	16
2.1.4 STLF dengan metode <i>Artificial Neural Network</i> .....	17
2.1.5 STLF dengan metode <i>Hybrid</i> .....	19
2.1.6 STLF <i>weather sensitive models</i> .....	19
2.1.7 STLF Berdasarkan <i>Trend</i> Informasi Data Histori .....	20
2.2 Rangkuman Hasil Studi Literatur dan Perbandingan dengan Model yang Diusulkan .....	21
<b>BAB III. LANDASAN TEORI</b> .....	<b>25</b>
3.1 Sistem Kelistrikan.....	25
3.2 Peramalan Beban.....	26
3.3 Pendekatan Pencarian Data yang Hilang.....	27
3.4 k-Means Clustering .....	27
3.5 Clustering dengan Pembobotan Data Pelanggan.....	29
3.6 Sistem Koordinat Geografis.....	30
3.7 Formulasi Pendekatan Untuk Data Cuaca.....	33
3.7.1 Hubungan antara Dry Bulb, Dew Point, dan Kelembaban .....	33
3.7.2 Temperatur Dry Bulb.....	34
3.7.3 Kelembaban .....	34
3.8 Menentukan Banyaknya Cluster pada Area Sistem Kelistrikan .....	35
3.9 Peramalan Runtun Waktu.....	37



3.10	Artificial Neural Network untuk Peramalan Runtun Waktu.....	38
3.10.1	Fungsi Aktivasi.....	39
3.10.2	Algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt Backpropagation .....	41
3.10.2.1	Menghitung Matriks Jacobian.....	44
3.10.2.2	Desain Proses Pelatihan .....	47
3.11	Galat Peramalan .....	48
3.11.1	MAPE.....	49
3.11.2	MAE.....	49
3.11.3	MSE .....	49
3.12	Metode Deoras .....	50
<b>BAB IV.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>52</b>
4.1	Variabel Penelitian .....	52
4.2	Definisi Operasional Variabel.....	52
4.3	Bahan dan Alat Penelitian.....	53
4.3.1	Bahan Penelitian .....	53
4.3.2	Alat Penelitian.....	53
4.4	Data Penelitian.....	54
4.4.1	Metode Pengumpulan Data Penelitian.....	54
4.4.2	Prosedur Pengumpulan Data Penelitian .....	55
4.4.2.1	Data Pengusahaan .....	55
4.4.2.2	Data Cuaca .....	55
4.4.2.3	Data Pelanggan .....	57
4.4.2.4	Data Hari Libur .....	57
4.5	Model yang Diusulkan .....	57
4.5.1	Desain dan Arsitektur Prototipe Model yang Diusulkan.....	57
4.5.2	Menentukan Banyaknya Cluster .....	60
4.5.3	k-Means Clustering dan Pencarian Pusat Cluster.....	60
4.5.4	Prediksi Data Cluster Berdasarkan Data Histori .....	61
4.5.5	Matriks Prediktor .....	61
4.5.6	Pelatihan <i>Neural Network</i> .....	61
4.5.7	Pengujian Model Peramalan .....	64
4.6	Gambaran Operasional pada Model yang Diusulkan .....	65
<b>BAB V.</b>	<b>MODEL PERAMALAN BEBAN JANGKA PENDEK DENGAN</b>	
	<b>PEMBOBOTAN DATA PELANGGAN.....</b>	<b>67</b>
5.1	Tahap Persiapan.....	70
5.1.1	<i>Pre-Processing</i> Data Pengusahaan.....	70
5.1.2	<i>Pre-Processing</i> Data Cuaca.....	72
5.1.3	Menggabungkan Data Pengusahaan dan Data Cuaca .....	75
5.1.4	<i>Pre-Processing</i> Data Geospasial Pelanggan.....	75
5.2	<i>Clustering</i> dengan Pembobotan Data Pelanggan .....	81
5.2.1	Menghitung Banyaknya <i>Cluster</i> .....	82
5.2.2	<i>Clustering</i> Menggunakan k-means .....	82
5.2.3	Mencari Pusat <i>Cluster</i> Menggunakan Pembobotan Data Pelanggan .....	85
5.3	Prediksi Data <i>Cluster</i> Berdasarkan Data Histori .....	87
5.3.1	Menghitung rasio kontribusi beban .....	87
5.3.2	Prediksi Data Beban pada Cluster .....	87
5.3.3	Mencari Ketinggian ( <i>Altitude</i> ) Setiap Pusat <i>Cluster</i> pada Peta .....	88
5.3.4	Prediksi Data Cuaca pada <i>Cluster</i> .....	89
5.3.4.1	<i>Dry Bulb Temperature</i> pada <i>Cluster</i> .....	89
5.3.4.2	Kelembaban pada Cluster .....	90



5.3.4.3	Dew Point Temperatur pada Cluster .....	90
5.4	Membangun Matriks Prediktor .....	92
5.5	Pembangunan model STLF ( <i>Artificial Neural Network</i> ) .....	95
5.5.1	Pembagian Data untuk Kebutuhan Pelatihan dan Pengujian.....	95
5.5.2	Pelatihan ANN.....	95
<b>BAB VI. PENGUJIAN MODEL PERAMALAN BEBAN JANGKA PENDEK .....</b>		<b>98</b>
6.1	Model pada Kondisi Eksisting.....	98
6.2	Model Deoras (Model-1).....	99
6.3	Model-2 .....	101
6.4	Model-3 .....	104
6.5	Model-4 .....	107
6.6	Model-5 (Model yang Diusulkan) .....	112
6.6.1	Model yang Diusulkan dan model-model lain yang diujicoba .....	113
6.6.2	Ujicoba untuk Pengembangan Model ANN .....	114
<b>BAB VII. PEMBAHASAN.....</b>		<b>122</b>
7.1	Hasil Ujicoba Metode Deoras.....	122
7.2	Pengembangan Model Peramalan dan Fokus Pengembangan .....	123
7.3	Kualitas Data.....	124
7.4	Perbandingan Hasil Peramalan pada Model-Model yang Diujicoba .....	125
7.5	Potensi Efisiensi dari Model yang Diusulkan .....	129
7.6	Kondisi Peramalan Ideal pada Model yang Diusulkan .....	132
<b>BAB VIII. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>136</b>
8.1	Kesimpulan.....	136
8.2	Saran.....	137
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>139</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>143</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Contoh kurva beban harian sistem kelistrikan PLN Sulselrabar .....	2
Gambar 1.2.	Mapping stasiun pengamatan cuaca dan cakupan area sistem kelistrikan .....	4
Gambar 2.1.	Klasifikasi metode untuk STLF.....	13
Gambar 3.1.	Listrik dari mulai diproduksi sampai ke pelanggan .....	25
Gambar 3.2.	Diagram alir kmeans clustering.....	28
Gambar 3.3.	Pusat massa suatu sistem partikel.....	29
Gambar 3.4.	60 Zona pada sistem koordinat UTM.....	31
Gambar 3.5.	Penandaan meridian 0° pada Royal Observatory, Greenwich.....	31
Gambar 3.6.	Geodetic latitude dan longitude pada sistem koordinat WGS84... ..	32
Gambar 3.7.	Meng-cover suatu area dengan lingkaran.....	35
Gambar 3.8.	Ilustrasi lingkaran-lingkaran yang menutupi suatu area.....	36
Gambar 3.9.	Contoh gambar arsitektur ANN.....	39
Gambar 3.10.	(a) Grafik fungsi sigmoid biner (b) Bipolar (Fausett, 2004) ...	40
Gambar 3.11.	Grafik fungsi tansig .....	41
Gambar 3.12.	Koneksi dari neuron j dengan seluruh jaringan. Node $y_{j,i}$ bisa mewakili masukan jaringan atau luaran dari neuron lainnya. $F_{m,j}(y_j)$ adalah hubungan nonlinier antara luaran neuron simpul $y_j$ dan luaran jaringan $om$ . .....	45
Gambar 3.13.	Diagram untuk pelatihan menggunakan algoritma Levenberg-Marquardt: $w_k$ adalah bobot saat ini, $w_{k+1}$ adalah bobot berikutnya, $E_k+1$ adalah total galat saat ini, dan $E_k$ adalah total galat terakhir .....	47
Gambar 3.14.	Model peramalan dengan metode Deoras .....	50
Gambar 3.15.	Tahapan pembangunan model peramalan Deoras .....	51
Gambar 4.1.	Dashboard WeatherSpark.....	56
Gambar 4.2.	Data historikal yang di download di situs WeatherSpark.....	56
Gambar 4.3.	Model peramalan untuk STLF yang diusulkan .....	59
Gambar 4.4.	Arsitektur ANN yang diusulkan.....	62
Gambar 4.5.	Diagram proses peramalan beban.....	66
Gambar 5.1.	Tahapan pembangunan model peramalan pada model yang diusulkan.....	67
Gambar 5.2.	Data rencana dan realisasi pembebanan .....	71
Gambar 5.3.	Urutan data rencana dan realisasi beban sebelum diperbaiki .....	71
Gambar 5.4.	Data rencana dan realisasi beban setelah diurutkan .....	72
Gambar 5.5.	Data cuaca per-jam dengan lost data sebelum interpolasi.....	73
Gambar 5.6.	Data cuaca per-jam setelah dilakukan interpolasi .....	73
Gambar 5.7.	Data cuaca per-jam sebelum interpolasi .....	74
Gambar 5.8.	Data cuaca per-setengah jam setelah interpolasi .....	74
Gambar 5.9.	Proses dan hasil penggabungan data runtun waktu .....	75
Gambar 5.10.	Jumlah pelanggan yang memiliki data geospatial per unit.....	76



Gambar 5.11. Data geospasial pelanggan diimport ke spreadsheet.....	77
Gambar 5.12. Hasil konversi UTM ke Latitude-Longitude .....	77
Gambar 5.13. Query untuk membuat Tabel DIL_PEMDA .....	77
Gambar 5.14. Query pengisian Tabel DIL_PEMDA .....	78
Gambar 5.15. Query data geospasial pelanggan per-pemda.....	78
Gambar 5.16. Hasil query data geospasial pelanggan per-pemda .....	79
Gambar 5.17. Diagram alir untuk men-generate data geospasial pelanggan.....	80
Gambar 5.18. Hasil import data geospasial pelanggan.....	81
Gambar 5.19. Hasil pemetaan data geospasial ke identitas pelanggan.....	81
Gambar 5.20. Pusat-pusat cluster dengan pembobotan.....	86
Gambar 5.21. Nilai kinerja selama proses pelatihan .....	97
Gambar 6.1. Diagram alir pengujian model Deoras.....	99
Gambar 6.2. Diagram alir pengujian pada Model-2.....	102
Gambar 6.3. Diagram alir pengujian pada Model-3.....	105
Gambar 6.4. Diagram alir pengujian pada Model-4.....	108
Gambar 6.5. Grafik hasil ujicoba pada beberapa model ANN.....	117
Gambar 6.6. Grafik banyaknya epoch pada beberapa model ANN .....	118
Gambar 6.7. Grafik lama waktu pelatihan pada beberapa model ANN.....	118
Gambar 6.8. Grafik nilai MSE pada beberapa model ANN.....	119
Gambar 6.9. Grafik nilai MAPE pada beberapa model ANN.....	120
Gambar 6.10. Grafik nilai MAE pada beberapa model ANN .....	120
Gambar 7.1. Kurva beban harian beberapa model peramalan (Eksisting, Deoras, Usulan) pada tanggal 13 Januari 2013 .....	126
Gambar 7.2. Kurva beban harian beberapa model peramalan (Eksisting, Deoras, Usulan) pada tanggal 26 Februari 2013 .....	126
Gambar 7.3. Kurva beban harian beberapa model peramalan (Eksisting, Deoras, Usulan) pada tanggal 9 Maret 2013 .....	127
Gambar 7.4. Kurva beban harian beberapa model peramalan (Eksisting, Deoras, Usulan) pada tanggal 1 Juli 2013 .....	127
Gambar 7.5. Kurva beban harian beberapa model peramalan (Eksisting, Deoras, Usulan) pada tanggal 24 November 2013 .....	128
Gambar 7.6. Kurva Beban Harian (Tanggal 26 November 2013) .....	131
Gambar 7.7. Segmentasi Berdasarkan Area Pelayanan Gardu Induk .....	134



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penggolongan literatur dengan metode statistika .....	15
Tabel 2.2. Penggolongan literatur dengan metode support vector machine (SVM) .....	16
Tabel 2.3. Penggolongan literatur dengan metode fuzzy logic .....	17
Tabel 2.4. Penggolongan literatur dengan metode artificial neural network .....	17
Tabel 2.5. Penggolongan literatur dengan metode hybrid .....	19
Tabel 2.6. Perbandingan literatur dengan model yang diusulkan .....	21
Tabel 2.7. Perbandingan Model yang diusulkan dengan Model Deoras .....	22
Tabel 3.1. Hubungan antara Rasio Densitas Udara dengan Altitude .....	35
Tabel 3.2. Algoritma STLF dengan metode Deoras .....	51
Tabel 4.1. Parameter-parameter ANN yang diujicoba .....	64
Tabel 5.1. Algoritma tahapan pembangunan model STLF yang diusulkan .....	68
Tabel 5.2. Hubungan pemda pada database pelanggan dengan layer kabupaten pada peta .....	80
Tabel 5.3. Luas Pemda pada sistem kelistrikan .....	82
Tabel 5.4. Tahap 1 - Pemilihan initial mean centroid secara random .....	83
Tabel 5.5. Tahap 2 – Jarak ke centroid awal dan membership .....	83
Tabel 5.6. Tahap 3 – Jarak ke centroid baru dan membership .....	84
Tabel 5.7. Membership yang dihasilkan pada k-means clustering .....	85
Tabel 5.8. Variabel pada cluster untuk pembobotan data pelanggan .....	86
Tabel 5.9. Koordinat pusat-pusat cluster .....	86
Tabel 5.10. Rasio beban pada setiap cluster .....	87
Tabel 5.11. Prediksi Realisasi Beban pada Cluster .....	88
Tabel 5.12. Data geografis pusat-pusat cluster .....	88
Tabel 5.13. Prediksi histori cuaca pada cluster .....	91
Tabel 5.14. Matrik prediktor untuk peramalan beban tanggal 08-Agt-2013 .....	92
Tabel 6.1. Beberapa model yang telah diujicoba .....	98
Tabel 6.2. Rangkuman proses pengujian pada model Deoras .....	101
Tabel 6.3. Rangkuman proses pengujian pada Model-2 .....	104
Tabel 6.4. Rangkuman proses pengujian pada Model-3 .....	107
Tabel 6.5. Rangkuman proses pengujian pada Model-4 .....	111
Tabel 6.6. Rangkuman proses pengujian pada model yang diusulkan .....	112
Tabel 6.7. Hasil kinerja peramalan .....	113
Tabel 6.8. Hasil Ujicoba Beberapa Parameter Model ANN .....	115
Tabel 7.1. Nilai MSE, MAE, dan MAPE pada Model Eksisting, Model Deoras dan Model yang Diusulkan .....	125
Tabel 7.2. Perbandingan beberapa model dalam memberikan kinerja peramalan harian yang terbaik .....	129
Tabel 7.3. Perbedaan Karakteristik antara OT dan IT .....	135



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN A. CONTOH HASIL PENGUMPULAN DATA PENELITIAN .....</b>	<b>143</b>
A.1. Rencana Pembebanan untuk Perencanaan Pembangkit .....	143
A.2. Kurva Keban untuk Rencana Pembebanan .....	143
A.3. Resume Realisasi Pembebanan .....	144
A.4. Kurva Realisasi Pembebanan .....	144
A.5. Data Cuaca Harian dari BMKG.....	145
A.6. Data Historikal Cuaca dari Weatherspark dalam Format CSV .....	145
A.7. Data Pelanggan Tarif Ganda.....	146
A.8. Data Pelanggan Tarif Tunggal .....	146
A.9. Data Geospasial Pelanggan dan Informasi Kolom Text Delimiter .....	146
A.10. Daftar Hari Libur.....	147
<b>LAMPIRAN B. DESKRIPSI FIELD DATA PELANGGAN TARIF TUNGGAL</b>	<b>149</b>
<b>LAMPIRAN C. SOURCE CODE .....</b>	<b>150</b>
C.1. Import data beban rencana dan realisasi pembebanan .....	150
C.2. Normalisasi urutan data rencana dan realisasi pembebanan.....	151
C.3. Import data cuaca untuk mengambil informasi yang dibutuhkan.....	151
C.4. Script untuk normalisasi data cuaca yang hilang .....	151
C.5. Import data cuaca ke format data terstruktur .....	152
C.6. Normalisasi data cuaca menjadi data per setengah jam.....	152
C.7. Fungsi untuk menggabungkan data log beban dan data cuaca .....	153
C.8. Fungsi untuk konversi sistem koordinat UTM ke WGS84 .....	153
C.9. Script untuk untuk memetakan data geospasial ke data pelanggan.....	154
C.10. Script untuk memberi data geospasial pada pelanggan .....	154
C.11. Script untuk menghitung banyaknya cluster .....	155
C.12. Fungsi untuk akses ke database pelanggan .....	155
C.13. Script untuk membuat variabel data geospasial pelanggan.....	155
C.14. Script untuk menghitung pusat cluster dengan pembobotan.....	156
C.15. Script untuk plot pusat cluster dengan pembobotan data pelanggan.....	156
C.16. Fungsi untuk membentuk Matriks Prediktor.....	156
C.17. Fungsi untuk pelatihan dan pengujian model pada setiap cluster .....	157
C.18. Fungsi untuk pengujian semua model cluster .....	160
C.19. Fungsi untuk meramalkan beban harian (satu hari) menggunakan model yang diusulkan pada periode data pengujian .....	162
C.20. Script untuk meramalkan beban harian menggunakan model yang diusulkan pada periode data pengujian.....	162
C.21. Fungsi untuk meramalkan beban harian (satu hari) menggunakan model Deoras pada periode data pengujian .....	163
C.22. Script untuk meramalkan beban harian menggunakan model Deoras pada periode data pengujian .....	163
C.23. Script untuk meramalkan beban harian menggunakan model Eksisting pada periode data pengujian .....	164
<b>LAMPIRAN D. TABEL MASTER KODE PEMDA .....</b>	<b>165</b>
<b>LAMPIRAN E. MEN-GENERATE DATA GEOSPATIAL SECARA RANDOM</b>	<b>166</b>



<b>LAMPIRAN F. BOBOT AKHIR MENUJU MASUKAN DAN LAPISAN TERSEMBUNYI PADA CLUSTER-CLUSTER.....</b>	<b>182</b>
F.1. Cluster-2 .....	182
F.2. Cluster-3 .....	182
F.3. Cluster-4 .....	183
F.4. Cluster-5 .....	183
F.5. Cluster-6 .....	184
F.6. Cluster-7 .....	184
F.7. Cluster-8 .....	185
<b>LAMPIRAN G. KINERJA PERAMALAN HARIAN 1-Jan-2013 s.d. 31-Des- 2013 .....</b>	<b>186</b>