

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Kota Madiun merupakan salah satu wilayah pemerintahan Provinsi Jawa Timur bagian barat yang mempunyai letak strategis. Kota Madiun menjadi perlintasan transportasi darat utama antar Provinsi di pulau Jawa diantaranya dilewati jalur antara Surabaya – Madiun – Solo – Jakarta, Surabaya – Madiun – Solo - Bandung. Kota Madiun juga merupakan kota transit yang cukup strategis karena topografi tanahnya yang datar menjadi pilihan jalur yang mudah dilalui oleh alat transportasi bus maupun kereta api serta mendukung daerah hinterland yang mempunyai potensi budaya dan pariwisata yang cukup terkenal.

Secara geografis Kota Madiun terletak pada 111° BT- 112° BT dan 7° LS - 8° LS dan berbatasan langsung dengan Kecamatan Nglames Kabupaten Madiun di sebelah utara, sebelah selatan dengan Kecamatan Geger Kabupaten Madiun, sebelah timur dengan Kecamatan Wungu Kabupaten Madiun, dan sebelah barat dengan Kecamatan Jiwan Kabupaten Madiun. Wilayah Kota Madiun mempunyai luas $33,23 \text{ Km}^2$ terbagi menjadi 3 (tiga) kecamatan yaitu Kecamatan Manguharjo, Kecamatan Taman, dan Kecamatan Kartoharjo. Dengan luas masing-masing Kecamatan Manguharjo $10,04 \text{ Km}^2$, Kecamatan Taman $12,46 \text{ Km}^2$, dan Kecamatan Kartoharjo $10,73 \text{ Km}^2$. Masing-masing kecamatan tersebut terdiri atas 9 kelurahan sehingga terdapat 27 kelurahan di Kota Madiun.

Dalam beberapa tahun terakhir terjadi perkembangan yang cukup signifikan di Kota Madiun, terutama di sector infrastruktur dan perekonomian. Hal ini seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi Kota Madiun yang terus meningkat. Kondisi seperti ini pada akhirnya berpengaruh pada konsumsi energi listrik Kota Madiun yang cenderung mengalami kenaikan setiap tahunnya.

Energi listrik di Kota Madiun sendiri disuplai oleh satu GI yakni GI Manisrejo. GI Manisrejo beralamat di JL. Tanjung Raya 47, Kelurahan Manisrejo, Kecamatan Taman, Kota Madiun. GI Manisrejo

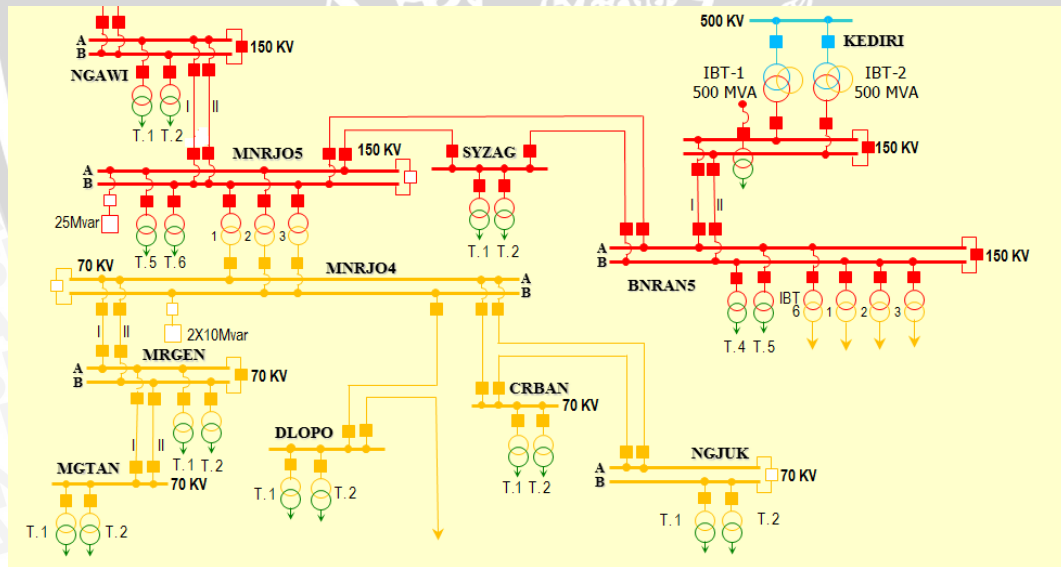
berada di bawah wilayah kerja PT. PLN APP Madiun. GI Manisrejo sendiri memiliki 6 trafo, dimana:

- Trafo 1, 2, dan 3 merupakan trafo IBT (*Inter Bus Transformer*) 150/70kV dengan kapasitas 100 MVA untuk trafo 1 dan 35 MVA untuk trafo 2 dan 3.
- Trafo 4 yang difungsikan sebagai kapasitor yang menghasilkan daya reaktif sebesar 25 MVAR.
- Trafo 5 dan 6 (150/20 kV) yang digunakan untuk mensuplai energi listrik untuk Kota Madiun, sebagian wilayah Kabupaten Madiun, dan Magetan. Trafo V (150/20 kV) dengan kapasitas 50 MVA mensuplai 9 penyulang sedangkan trafo VI (150/20 kV) dengan kapasitas 20 MVA mensuplai 4 penyulang.

Seperti GI pada umumnya, GI Manisrejo terinterkoneksi dengan beberapa

GI lainnya di luar wilayah kerja PT. PLN APP Madiun. GI-GI itu antara lain:

- GI 150 kV Banaran Kediri
- GI 150 kV Ngawi
- GI 150 kV Surya Zigzag
- GI 70 kV Nganjuk
- GI 70 kV Dolopo
- GI 70 kV Caruban
- GI 70 kV Mranggen



Gambar 4.1 Single Line Diagram GI Manisrejo

Sumber : PT.PLN APJ Madiun

Mengingat GI Manisrejo merupakan satu-satunya penyuplai energi listrik di Kota Madiun, maka diperlukan suatu metode perkiraan beban pada GI berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Hal ini diperlukan sebagai

upaya PT PLN Persero untuk menjaga kontinuitas pelayanan dan juga untuk menjaga keandalan sistem mereka.

4.2 Penentuan Metode Perkiraan

Model regresi digunakan sebagai model perkiraan yang mengasumsikan factor yang diperkirakan, menunjukkan hubungan sebab–akibat dengan satu atau lebih variabel bebas, sehingga model ini bertujuan untuk mengetahui bentuk hubungan tersebut dan memperkirakan nilai mendatang dari variabel tidak bebas. Prosedur umum untuk menentukan persamaan regresi ialah dengan mencocokkan bentuk fungsi baik linier ataupun non–linier sedemikian rupa sehingga komponen error dapat minimum, dimana *error* merupakan selisih antara nilai aktual dan nilai perkiraan.

4.2.1 Jumlah Penduduk

Jumlah penduduk dalam suatu wilayah merupakan subyek ataupun obyek dalam suatu perencanaan. Dalam bidang ketenagalistrikan, pemerintah berupaya untuk meningkatkan rasio elektrifikasi tiap tahunnya. Dalam hal ini pertumbuhan jumlah penduduk harus diimbangi dengan penyediaan tenaga listrik yang memadai.

Untuk memperkirakan jumlah penduduk di Kota Madiun digunakan data kependudukan 9 tahun ke belakang agar model persamaan yang didapatkan akurat. Tabel 4.1 menunjukkan jumlah penduduk antara tahun 2005 – 2013.

Tabel 4.1. Jumlah Penduduk Kota Madiun Tahun 2005 – 2013

Tahun	Jumlah Penduduk
2005	196.691
2006	198.745
2007	200.188
2008	201.619
2009	202.034
2010	203.972
2011	204.087
2012	206.774
2013	207.371

Sumber : BPS Kota Madiun

a. Regresi Linier ($Y(t) = a + bt$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan jumlah penduduk melalui metode regresi linier, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2. Penghitungan Persamaan Regresi Linier Jumlah Penduduk

Tahun	t	Y	t.Y	t ²	Y ²
2005	1	196.691	196.691	1	38.687.349.481
2006	2	198.745	397.490	4	39.499.575.025
2007	3	200.188	600.564	9	40.075.235.344
2008	4	201.619	806.476	16	40.650.221.161
2009	5	202.034	1.010.170	25	40.817.737.156
2010	6	203.972	1.223.832	36	41.604.576.784
2011	7	204.087	1.428.609	49	41.651.503.569
2012	8	206.774	1.654.192	64	42.755.487.076
2013	9	207.371	1.866.339	81	43.002.731.641
Σ	45	1.821.481	9.184.363	285	368.744.417.237

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.2 dan 2.3, serta data dari tabel 4.2 didapatkan:

$$b = \frac{n \sum(t.Y) - (\sum t)(\sum Y)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 9.184.363) - (45 \times 1.821.481)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 1.282,6333$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \frac{\sum t}{n}$$

$$a = \frac{1.821.481}{9} - 1.282,6333 \times \frac{45}{9} = 195.973,6111$$

Maka model persamaan untuk perkiraan jumlah penduduk dengan metode regresi linier adalah:

$$X_1(t) = 195.973,6111 + 1.282,6333t \tag{4.1}$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan jumlah penduduk dengan metode regresi linier, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.3.



Tabel 4.3. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Linier Jumlah Penduduk

Tahun	Y	Y _t	e	e	e ²	e /Y
2005	196.691	197.257	-566	566	320.633	0,0029
2006	198.745	198.541	204	204	41.666	0,0010
2007	200.188	199.825	363	363	132.124	0,0018
2008	201.619	201.108	511	511	260.974	0,0025
2009	202.034	202.392	-358	358	128.005	0,0018
2010	203.972	203.675	297	297	87.965	0,0015
2011	204.087	204.959	-872	872	760.461	0,0043
2012	206.774	206.243	531	531	282.304	0,0026
2013	207.371	207.526	-155	155	24.121	0,0007
Σ	1.821.481	1.821.526	-45	3.858	2.038.252	0,0191

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.3 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{2.038.252}{9} = 226.472,4965$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0.0191}{9} \times 100\% = 0,21\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{3.858}{9} = 428,6395$$

b. Regresi Eksponensial (Y = e^{a+bt})

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan jumlah penduduk melalui metode regresi eksponensial, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4



Tabel 4.4. Penghitungan Persamaan Regresi Eksponensial Jumlah Penduduk

Tahun	t	Y	ln Y	t ²	t.ln Y	(ln Y) ²
2005	1	196.691	12,1894	1	12,1894	148,5812
2006	2	198.745	12,1998	4	24,3996	148,8346
2007	3	200.188	12,2070	9	36,6210	149,0111
2008	4	201.619	12,2141	16	48,8565	149,1851
2009	5	202.034	12,2162	25	61,0810	149,2353
2010	6	203.972	12,2257	36	73,3544	149,4687
2011	7	204.087	12,2263	49	85,5841	149,4825
2012	8	206.774	12,2394	64	97,9151	149,8025
2013	9	207.371	12,2423	81	110,1804	149,8730
Σ	45	1.821.481	109,9602	285	550,1815	1.343,4740

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.8 dan 2.9, serta data dari tabel 4.4 didapatkan:

$$b = \frac{n\Sigma(t \cdot \ln Y) - (\Sigma t)(\Sigma \ln Y)}{n\Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 550,1815) - (45 \times 109,9602)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 0,0063$$

$$a = \frac{\Sigma \ln Y}{n} - b \frac{\Sigma t}{n}$$

$$a = \frac{109,9602}{9} - 0,0063 \times \frac{45}{9} = 12,1861$$

Maka model persamaan untuk perkiraan jumlah penduduk dengan metode regresi eksponensial adalah:

$$X_1(t) = e^{12,1861 + 0,0063t} \quad (4.2)$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan jumlah penduduk dengan metode regresi eksponensial, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.5.

Tabel 4.5. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Eksponensial Jumlah Penduduk

Tahun	Y	Y _t	e	e	e ²	e /Y
2005	196.691	197.284	-593	593	351.744	0,0030
2006	198.745	198.531	214	214	45.842	0,0011
2007	200.188	199.786	402	402	161.937	0,0020
2008	201.619	201.048	571	571	325.803	0,0028
2009	202.034	202.319	-285	285	81.117	0,0014
2010	203.972	203.597	375	375	140.294	0,0018
2011	204.087	204.884	-797	797	635.456	0,0039
2012	206.774	206.179	595	595	354.026	0,0029
2013	207.371	207.482	-111	111	12.327	0,0005
Σ	1.821.481	1.821.110	371	3.943	2.108.545	0,0195

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.5 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{2.108.545}{9} = 234.282,7910$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0.0195}{9} \times 100\% = 0,22\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{3.943}{9} = 438,1049$$

Dilihat dari besarnya nilai MSE, MAD, dan MAPE antara regresi linier dan regresi eksponensial, dimana nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi eksponensial lebih besar daripada nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi linier, maka model persamaan regresi linier lebih tepat untuk memperkirakan jumlah penduduk kota Madiun. Sehingga perkiraan jumlah penduduk Kota Madiun pada tahun 2014 adalah:

$$X_1(9) = 195.973,6111 + 1.282,6333(9)$$

$$X_1(9) = 208.810$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan perkiraan jumlah penduduk Kota Madiun sampai dengan tahun 2025

Tabel 4.6. Perkiraan Jumlah Penduduk Kota Madiun Tahun 2014 - 2025

Tahun	Jumlah Penduduk
2014	208.810
2015	210.094
2016	211.377
2017	212.661
2018	213.944
2019	215.228
2020	216.512
2021	217.795
2022	219.079
2023	220.363
2024	221.646
2025	222.930

Sumber : Hasil Penghitungan

Sedangkan untuk koefisien korelasinya adalah:

$$r_{xy} = \frac{n(\Sigma(t.Y)) - (\Sigma t)(\Sigma Y)}{\sqrt{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2} \sqrt{n(\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2}}$$

$$r_{xy} = \frac{(9 \times 9.184.363) - (45 \times 1.821.481)}{\sqrt{9 \times 285 - (45)^2} \sqrt{9 \times 368.744.417.237 - (1.821.481)^2}}$$

$$r_{xy} = 0,9898$$

$$r_{xy}^2 = 0,9798$$

4.2.2 Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)

Produk domestik regional bruto adalah jumlah produk berupa barang dan jasa yang dihasilkan oleh unit-unit produksi di dalam batas wilayah suatu regional selama kurun waktu 1 tahun. Di dalam penghitungannya, hasil produksi barang dan jasa perusahaan/orang asing yang berada di wilayah yang bersangkutan juga diikutsertakan.

Adapun peranan dari PDRB antara lain:

- Laju pertumbuhan ekonomi suatu daerah.
- Tingkat kemakmuran suatu daerah.
- Laju inflasi suatu daerah.
- Potensi suatu daerah.

Untuk data PDRB Kota Madiun antara tahun 2005 – 2013 dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7. PDRB Kota Madiun Tahun 2005 – 2013

Tahun	PDRB (Miliar Rupiah)
2005	2.589,90
2006	2.989,26
2007	3.335,95
2008	3.885,68
2009	4.338,31
2010	4.947,97
2011	5.635,68
2012	6.361,26
2013	6.739,09

Sumber : BPS Kota Madiun

a. Regresi Linier ($Y(t) = a + bt$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan PDRB melalui metode regresi linier, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Penghitungan Persamaan Regresi Linier PDRB

Tahun	t	Y	t.Y	t ²	Y ²
2005	1	2.589,90	2.589,90	1	6.707.600,66
2006	2	2.989,26	5.978,52	4	8.935.678,34
2007	3	3.335,95	10.007,86	9	11.128.590,42
2008	4	3.885,68	15.542,72	16	15.098.511,39
2009	5	4.338,31	21.691,56	25	18.820.958,82
2010	6	4.947,97	29.687,80	36	24.482.371,50
2011	7	5.635,68	39.449,76	49	31.760.893,57
2012	8	6.361,26	50.890,11	64	40.465.672,04
2013	9	6.739,09	60.651,82	81	45.415.344,81
Σ	45	40.823,11	236.490,06	285	202.815.621,55

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.2 dan 2.3, serta data dari tabel 4.8 didapatkan:

$$b = \frac{n\Sigma(t.Y) - (\Sigma t)(\Sigma Y)}{n\Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 236.490,06) - (45 \times 40.823,11)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 539,5749$$

$$a = \frac{\Sigma Y}{n} - b \frac{\Sigma t}{n}$$

$$a = \frac{40.823,11}{9} - 539,5749 \times \frac{45}{9} = 1.838,0267$$

Maka model persamaan untuk perkiraan PDRB dengan metode regresi linier adalah:

$$X_2(t) = 1.838,0267 + 539,5749t. \quad (4.3)$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan PDRB dengan metode regresi linier, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.9.

Tabel 4.9. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Linier PDRB

Tahun	Y	Y_t	e	e	e^2	e /Y
2005	2.589,90	2.377,6016	212,3020	212,3020	45.072,1392	0,0820
2006	2.989,26	2.917,1765	72,0840	72,0840	5.196,10319	0,0241
2007	3.335,95	3.456,7514	-120,7972	120,797	14.591,9635	0,0362
2008	3.885,68	3.996,3263	-110,6460	110,6460	12.242,5373	0,0285
2009	4.338,31	4.535,9012	-197,5883	197,5883	39.041,1363	0,0455
2010	4.947,97	5.075,4761	-127,5097	127,5097	16.258,7236	0,0258
2011	5.635,68	5.615,0510	20,6294	20,6294	425,5721	0,0037
2012	6.361,26	6.154,6259	206,6375	206,6375	42.699,0564	0,0325
2013	6.739,09	6.694,2008	44,8900	44,8900	2.015,1121	0,0067
Σ	40.823,11	40.823,1108	0,0017	1.113,0841	177.542,3436	0,2849

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.9 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{177.542,34}{9} = 19.726,9271$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0.2849}{9} \times 100\% = 3,17\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{1.113,08}{9} = 123,6760$$

b. Regresi Eksponensial ($Y = e^{a+bt}$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan PDRB melalui metode regresi eksponensial, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Penghitungan Persamaan Regresi Eksponensial PDRB

Tahun	t	Y	ln Y	t ²	t.ln Y	(ln Y) ²
2005	1	2.589,90	7,8594	1	7,8594	61,7698
2006	2	2.989,26	8,0028	4	16,0056	64,0445
2007	3	3.335,95	8,1125	9	24,3375	65,8129
2008	4	3.885,68	8,2651	16	33,0602	68,3111
2009	5	4.338,31	8,3752	25	41,8762	70,1447
2010	6	4.947,97	8,5067	36	51,0404	72,3645
2011	7	5.635,68	8,6369	49	60,4581	74,5956
2012	8	6.361,26	8,7580	64	70,0639	76,7023
2013	9	6.739,09	8,8157	81	79,3411	77,7162
Σ	45	40.823,11	75,3322	285	384,0424	631,4615

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.8 dan 2.9, serta data dari tabel 4.10 didapatkan:

$$b = \frac{n\Sigma(t.lnY) - (\Sigma t)(\Sigma lnY)}{n\Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 384,0424) - (45 \times 75,3322)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 0,1230$$

$$a = \frac{\sum \ln Y}{n} - b \frac{\sum t}{n}$$

$$a = \frac{75,3322}{9} - 0,1230 \times \frac{45}{9} = 7,7551$$

Maka model persamaan untuk perkiraan PDRB dengan metode regresi eksponensial adalah

$$X_2(t) = e^{7,7551 + 0,1230t} \quad (4.4)$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan PDRB dengan metode regresi eksponensial, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.11.

Tabel 4.11. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Eksponensial PDRB

Tahun	Y	Y_t	e	e	e^2	e /Y
2005	2.589,90	2.638,85	-48,95	48,95	2,396,14	0,0189
2006	2.989,26	2.984,24	5,02	5,02	25,22	0,0017
2007	3.335,95	3.374,83	-38,88	38,88	1,511,27	0,0117
2008	3.885,68	3.816,54	69,14	69,14	4,780,13	0,0178
2009	4.338,31	4.316,07	22,25	22,25	49,85	0,0051
2010	4.947,97	4.880,97	66,99	66,99	4,488,03	0,0135
2011	5.635,68	5.519,82	115,86	115,86	13,424,31	0,0206
2012	6.361,26	6.242,28	118,99	118,99	14,158,21	0,0187
2013	6.739,09	7.059,29	-320,20	320,20	102,528,62	0,0475
Σ	40.823,11	40.832,89	-9,78	806,28	143,806,77	0,1555

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.11 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{143.806,77}{9} = 15.978,5300$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \times 100\% \right]$$

$$MAPE = \frac{0.1555}{9} \times 100\% = 1,73\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{806.28}{9} = 89,5862$$

Dilihat dari besarnya nilai MSE, MAD, dan MAPE antara regresi linier dan regresi eksponensial, dimana nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi linier lebih besar daripada nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi eksponensial, maka model persamaan regresi eksponensial lebih tepat untuk memperkirakan PDRB Kota Madiun. Sehingga perkiraan PDRB Kota Madiun pada tahun 2014 adalah:

$$X_2(9) = e^{7,7551 + 0,1230(9)}$$

$$X_2(9) = e^{8,8621}$$

$$X_2(9) = 7.983,24$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan perkiraan PDRB Kota Madiun sampai dengan tahun 2025

Tabel 4.12. Perkiraan PDRB Kota Madiun Tahun 2014 – 2025

Tahun	PDRB (miliar rupiah)
2014	7.983,24
2015	9.028,13
2016	10.209,77
2017	11.546,07
2018	13.057,27
2019	14.766,26
2020	16.698,93
2021	18.884,56
2022	21.356,26
2023	24.151,46
2024	27.312,51
2025	30.887,29

Sumber : Hasil Penghitungan

Sedangkan untuk koefisien korelasinya adalah:

$$r_{xy} = \frac{n(\Sigma(t \cdot \ln Y)) - (\Sigma t)(\Sigma \ln Y)}{\sqrt{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2} \sqrt{n(\Sigma \ln Y^2) - (\Sigma \ln Y)^2}}$$

$$r_{xy} = \frac{(9 \times 384,0424) - (45 \times 75,3322)}{\sqrt{9 \times 285 - (45)^2} \sqrt{9 \times 631,4615 - (75,3322)^2}}$$

$$r_{xy} = 0,9978$$

$$r_{xy}^2 = 0,9957$$

4.2.3 Jumlah Pelanggan

Jumlah pelanggan listrik di Kota Madiun merupakan gabungan dari jumlah pelanggan rumah tangga, industri, bisnis, dan jumlah pelanggan publik yang terdaftar di Kota Madiun. Pelanggan listrik di Kota Madiun didominasi oleh pelanggan rumah tangga disusul kemudian pelanggan bisnis, publik, dan terakhir pelanggan industri.

Data pelanggan listrik Kota Madiun dari tahun 2005 – 2013 dapat dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13. Jumlah Pelanggan Listrik Kota Madiun Tahun 2005 – 2013

Tahun	Jumlah Pelanggan
2005	44.728
2006	45.163
2007	45.474
2008	45.746
2009	46.050
2010	46.572
2011	48.747
2012	51.036
2013	51.274

Sumber : PT.PLN APJ Madiun

a. Regresi Linier ($Y(t) = a + bt$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan jumlah pelanggan listrik melalui metode regresi linier, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.14. Penghitungan Persamaan Regresi Linier Jumlah Pelanggan Listrik

Tahun	t	(Y)	t.Y	t ²	Y ²
2005	1	44.728	44.728	1	2.000.593.984
2006	2	45.163	90.326	4	2.039.696.569

Tahun	t	(Y)	t.Y	t ²	Y ²
2007	3	45.474	136.422	9	2.067.884.676
2008	4	45.746	182.984	16	2.092.696.516
2009	5	46.050	230.250	25	2.120.602.500
2010	6	46.572	279.432	36	2.168.951.184
2011	7	48.747	341.229	49	2.376.270.009
2012	8	51.036	408.288	64	2.604.673.296
2013	9	51.274	461.466	81	2.629.023.076
Σ	45	424.790	2.175.125	285	20.100.391.810

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.2 dan 2.3, serta data dari tabel 4.14 didapatkan:

$$b = \frac{n\Sigma(t.Y) - (\Sigma t)(\Sigma Y)}{n\Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 2.175.125) - (45 \times 424.790)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 852,9167$$

$$a = \frac{\Sigma Y}{n} - b \frac{\Sigma t}{n}$$

$$a = \frac{424.790}{9} - 852,9167 \times \frac{45}{9} = 42.934,3056$$

Maka model persamaan untuk perkiraan jumlah pelanggan listrik dengan metode regresi linier adalah

$$X_3(t) = 42.934,3056 + 852,9167t \tag{4.5}$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan jumlah pelanggan listrik dengan metode regresi linier, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.15.

Tabel 4.15. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Linier Jumlah Pelanggan Listrik

Tahun	(Y)	Y _t	e	e	e ²	e /Y
2005	44.728	43.787	941	941	885.063	0,0210
2006	45.163	44.640	523	523	273.384	0,0116
2007	45.474	45.493	-19	19	363	0,0004
2008	45.746	46.346	-600	600	359.967	0,0131

Tahun	(Y)	Y_t	e	e	e^2	e /Y
2009	46.050	47.199	-1.149	1.149	1.319.946	0,0249
2010	46.572	48.052	-1.480	1.480	2.189.825	0,0318
2011	48.747	48.905	-158	158	24.876	0,0032
2012	51.036	49.758	1.278	1.278	1.634.206	0,0250
2013	51.274	50.611	663	663	440.158	0,0129
Σ	424.790	424.790	0	6.811	7.127.788	0,1441

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.15 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{7.127.788}{9} = 791.976,4969$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0.1441}{9} \times 100\% = 1,60\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{6.811}{9} = 756,7655$$

b. Regresi Eksponensial ($Y = e^{a+bt}$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan jumlah pelanggan listrik melalui metode regresi eksponensial, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.16. Penghitungan Persamaan Regresi Eksponensial Jumlah Pelanggan Listrik

Tahun	t	(Y)	ln Y	t^2	t.ln Y	$(\ln Y)^2$
2005	1	44.728	10,7084	1	10,7084	114,6689
2006	2	45.163	10,7180	4	21,4361	114,8762
2007	3	45.474	10,7249	9	32,1747	115,0234
2008	4	45.746	10,7309	16	42,9234	115,1513

Tahun	t	(Y)	ln Y	t ²	t.ln Y	(ln Y) ²
2009	5	46.050	10,7375	25	53,6874	115,2935
2010	6	46.572	10,7488	36	64,4925	115,5357
2011	7	48.747	10,7944	49	75,5608	116,5190
2012	8	51.036	10,8403	64	86,7223	117,5118
2013	9	51.274	10,8449	81	97,6045	117,6127
Σ	45	424.790	96,8480	285	485,3100	1.042,1927

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.8 dan 2.9, serta data dari tabel 4.16 didapatkan:

$$b = \frac{n \Sigma(t \cdot \ln Y) - (\Sigma t)(\Sigma \ln Y)}{n \Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 485,3100) - (45 \times 96,8480)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 0,0178$$

$$a = \frac{\Sigma \ln Y}{n} - b \frac{\Sigma t}{n}$$

$$a = \frac{96,8480}{9} - 0,0178 \times \frac{45}{9} = 10,6717$$

Maka model persamaan untuk perkiraan jumlah pelanggan listrik dengan metode regresi eksponensial adalah:

$$X_3(t) = e^{10,6717 + 0,0178t} \tag{4.6}$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan jumlah pelanggan listrik dengan metode regresi eksponensial, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.17.

Tabel 4.17. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Eksponensial Jumlah Pelanggan Listrik

Tahun	(Y)	Y _t	e	e	e ²	e /Y
2005	44.728	43.893	835	835	697.968	0,0187
2006	45.163	44.681	482	482	232.481	0,0107
2007	45.474	45.483	-9	9	86	0,0002
2008	45.746	46.300	-554	554	307.058	0,0121
2009	46.050	47.132	-1.082	1.082	1.169.964	0,0235
2010	46.572	47.978	-1.406	1.406	1.977.126	0,0302

Tahun	(Y)	Y_t	e	e	e^2	e /Y
2011	48.747	48.840	-93	93	8.604	0,0019
2012	51.036	49.717	1.319	1.319	1.740.050	0,0258
2013	51.274	50.610	664	664	441.196	0,0130
Σ	424.790	424.633	157	6.445	6.574.533	0,1361

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.17 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{6.574.533}{9} = 730.503,6166$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0.1361}{9} \times 100\% = 1,51\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{6.445}{9} = 716,0954$$

Dilihat dari besarnya nilai MSE, MAD, dan MAPE antara regresi linier dan regresi eksponensial, dimana nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi linier lebih besar daripada nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi eksponensial, maka model persamaan regresi eksponensial lebih tepat untuk memperkirakan jumlah pelanggan listrik kota Madiun. Sehingga perkiraan jumlah pelanggan listrik Kota Madiun pada tahun 2014 adalah:

$$X_3(9) = e^{10,6717 + 0,0178(9)}$$

$$X_3(9) = e^{10,8319}$$

$$X_3(9) = 51.519$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan perkiraan jumlah penduduk Kota Madiun sampai dengan tahun 2025.

Tabel 4.18. Perkiraan Jumlah Pelanggan Listrik Kota Madiun Tahun 2014 – 2025

Tahun	Jumlah Pelanggan (unit)
2014	51.519
2015	52.444
2016	53.386
2017	54.345
2018	55.321
2019	56.314
2020	57.325
2021	58.355
2022	59.403
2023	60.470
2024	61.556
2025	62.661

Sumber : Hasil Penghitungan

Sedangkan untuk koefisien korelasinya adalah:

$$r_{xy} = \frac{n(\Sigma(t \cdot \ln Y)) - (\Sigma t)(\Sigma \ln Y)}{\sqrt{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2} \sqrt{n(\Sigma \ln Y^2) - (\Sigma \ln Y)^2}}$$

$$r_{xy} = \frac{(9 \times 485.3100) - (45 \times 96.8480)}{\sqrt{9 \times 285 - (45)^2} \sqrt{9 \times 1,042.1927 - (96.8480)^2}}$$

$$r_{xy} = 0,9317$$

$$r_{xy}^2 = 0,8681$$

4.2.4 Jumlah Pemakaian Energi Listrik

Karakteristik Kota Madiun yang merupakan kota perdagangan dan juga kota pendidikan mengakibatkan pemakaian energi listrik Kota Madiun didominasi oleh pelanggan rumah tangga.

Data pemakaian energi listrik Kota Madiun dari tahun 2005 – sampai dengan 2013 dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19. Jumlah Pemakaian Energi Listrik Kota Madiun Tahun 2005 – 2013

Tahun	Pemakaian Energi Listrik (MWH)
2006	134.715
2006	139.501
2007	145.319
2008	140.276
2009	154.527
2010	161.371
2011	185.216
2012	197.331
2013	199.403

Sumber : PT.PLN APJ Madiun

a. Regresi Linier ($Y(t) = a + bt$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan jumlah pemakaian energi listrik melalui metode regresi linier, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.20.

Tabel 4.20. Penghitungan Persamaan Regresi Linier Jumlah Pemakaian Energi Listrik

Tahun	t	Y	tY	t ²	Y ²
2005	1	134.715	134.715	1	18.148.131.225
2006	2	139.501	279.002	4	19.460.529.001
2007	3	145.319	435.957	9	21.117.611.761
2008	4	140.276	561.104	16	19.677.356.176
2009	5	154.527	772.635	25	23.878.593.729
2010	6	161.371	968.226	36	26.040.599.641
2011	7	185.216	1.296.512	49	34.304.966.656
2012	8	197.331	1.578.648	64	38.939.523.561
2013	9	199.403	1.794.627	81	39.761.556.409
Σ	45	1.457.659	7.821.426	285	241.328.868.159

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.2 dan 2.3, serta data dari tabel 4.20 didapatkan:

$$b = \frac{n\sum(t.Y) - (\sum t)(\sum Y)}{n\sum t^2 - (\sum t)^2}$$



$$b = \frac{(9 \times 7.821.426) - (45 \times 1.457.659)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 8.885,5167$$

$$a = \frac{\Sigma Y}{n} - b \frac{\Sigma t}{n}$$

$$a = \frac{1,457,659}{9} - 8.885,5167 \times \frac{45}{9} = 117.534,5278$$

Maka model persamaan untuk perkiraan jumlah pemakaian energi listrik dengan metode regresi linier adalah

$$X_4(t) = 117.534,5278 + 8.885,5167t. \quad (4.7)$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan jumlah pemakaian energi listrik dengan metode regresi linier, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.21.

Tabel 4.21. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Linier Jumlah Pemakaian Energi Listrik

Tahun	Y	Y_t	e	e	e^2	e /Y
2005	134.715	126.421	8.294	8.294	68.789.698	0,0616
2006	139.501	135.308	4.193	4.193	17.584.929	0,0301
2007	145.319	144.194	1.125	1.125	1.265.450	0,0077
2008	140.276	153.081	-12.805	12.805	163.957.643	0,0913
2009	154.527	161.967	-7.440	7.440	55.355.256	0,0481
2010	161.371	170.854	-9.483	9.483	89.920.234	0,0588
2011	185.216	179.740	5.476	5.476	29.984.991	0,0296
2012	197.331	188.627	8.704	8.704	75.765.510	0,0441
2013	199.403	197.513	1.890	1.890	3.571.427	0,0095
Σ	1.457.659	1.457.704	-45	59.410	506.195.138	0,3807

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.21 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{506.195.138}{9} = 56.243.904$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0,3807}{9} \times 100\% = 4,3\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{59.410}{9} = 6.601,0740$$

b. Regresi Eksponensial ($Y = e^{a+bt}$)

Untuk memperoleh model persamaan perkiraan jumlah pemakaian energi listrik melalui metode regresi eksponensial, diperlukan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.22.

Tabel 4.22. Penghitungan Persamaan Regresi Eksponensial Jumlah Pemakaian Energi Listrik

Tahun	t	Y	ln Y	t ²	t.ln Y	(ln Y) ²
2005	1	134.715	11,8109	1	11,8109	139,4978
2006	2	139.501	11,8458	4	23,6917	140,3236
2007	3	145.319	11,8867	9	35,6601	141,2933
2008	4	140.276	11,8514	16	47,4055	140,4549
2009	5	154.527	11,9481	25	59,7406	142,7577
2010	6	161.371	11,9915	36	71,9488	143,7951
2011	7	185.216	12,1293	49	84,9049	147,1194
2012	8	197.331	12,1926	64	97,5411	148,6604
2013	9	199.403	12,2031	81	109,8277	148,9152
Σ	45	1.457.659	107,8594	285	542,5313	1.292,8175

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.8 dan 2.9, serta data dari tabel 4.22 didapatkan:

$$b = \frac{n\Sigma(t.lnY) - (\Sigma t)(\Sigma lnY)}{n\Sigma t^2 - (\Sigma t)^2}$$

$$b = \frac{(9 \times 542,5313) - (45 \times 107,8594)}{(9 \times 285) - (45)^2} = 0,0539$$

$$a = \frac{\Sigma lnY}{n} - b \frac{\Sigma t}{n}$$

$$a = \frac{107,8594}{9} - 0,0539 \times \frac{45}{9} = 11,7148$$

Maka model persamaan untuk perkiraan jumlah pemakaian energi listrik dengan metode regresi eksponensial adalah

$$X_4(t) = e^{11,7148 + 0,0539t} \quad (4.8)$$

Setelah didapatkan model persamaan untuk perkiraan jumlah pemakaian energi listrik dengan metode regresi eksponensial, kemudian dihitung nilai dari MSE, MAD, dan MAPE dengan menggunakan tabel bantu penghitungan seperti yang ditunjukkan tabel 4.23.

Tabel 4.23. Penghitungan Nilai MSE, MAD, dan MAPE Regresi Eksponensial Jumlah Pemakaian Energi Listrik

Tahun	Y	Y _t	e	e	e ²	e /Y
2005	134.715	129.146	5.569	5.569	31.012.073	0,0413
2006	139.501	136.298	3.203	3.203	10.258.287	0,0230
2007	145.319	143.846	1.473	1.473	2.169.120	0,0101
2008	140.276	151.812	-11.536	11.536	133.085.628	0,0822
2009	154.527	160.219	-5.692	5.692	32.404.503	0,0368
2010	161.371	169.092	-7.721	7.721	59.618.477	0,0478
2011	185.216	178.456	6.760	6.760	45.691.209	0,0365
2012	197.331	188.339	8.992	8.992	80.852.032	0,0456
2013	199.403	198.769	634	634	401.610	0,0032
Σ	1.457.659	1.455.980	1.679	51.580	395.492.939	0,3266

Sumber : Hasil Penghitungan

Dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.21, 2.22 dan 2.23, serta data dari tabel 4.21 didapatkan:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2$$

$$MSE = \frac{59.618.477}{9} = 43.943.660$$

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0,3266}{9} \times 100\% = 3,63\%$$

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right]$$

$$MAD = \frac{7.721}{9} = 5.731,0664$$

Dilihat dari besarnya nilai MSE, MAD, dan MAPE antara regresi linier dan regresi eksponensial, dimana nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi linier lebih besar daripada nilai MSE, MAD, dan MAPE regresi eksponensial, maka model persamaan regresi eksponensial lebih tepat untuk memperkirakan jumlah pemakaian energi listrik kota Madiun. Sehingga perkiraan jumlah pemakaian energi listrik Kota Madiun pada tahun 2014 adalah:

$$X_4(t) = e^{11,7148 + 0,0539t}$$

$$X_4(9) = e^{12,1999}$$

$$X_4(9) = 209.777$$

Dengan cara yang sama maka akan didapatkan perkiraan jumlah pemakaian energi listrik Kota Madiun sampai dengan tahun 2025

Tabel 4.24. Perkiraan Pemakaian Energi Listrik Kota Madiun Tahun 2014 – 2025

Tahun	Jumlah Pemakaian (MWh)
2014	209.777
2015	221.394
2016	233.655
2017	246.594
2018	260.251
2019	274.663
2020	289.874
2021	305.926
2022	322.868
2023	340.749
2024	359.619
2025	379.534

Sumber : Hasil Penghitungan

Sedangkan untuk koefisien korelasinya adalah:

$$r_{xy} = \frac{n(\Sigma(t \cdot \ln Y)) - (\Sigma t)(\Sigma \ln Y)}{\sqrt{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2} \sqrt{n(\Sigma \ln Y^2) - (\Sigma \ln Y)^2}}$$

$$r_{xy} = \frac{(9 \times 542,5313) - (45 \times 107,8594)}{\sqrt{9 \times 285 - (45)^2} \sqrt{9 \times 1.292,8175 - (107,8594)^2}}$$

$$r_{xy} = 0,9577$$

$$r_{xy}^2 = 0,9172$$

4.3 Penghitungan

Penghitungan perkiraan beban gardu induk bukan merupakan variabel *time series* yang hanya ditentukan oleh trendnya sendiri, tetapi juga ditentukan oleh variabel-variabel lain yang mempengaruhinya. Oleh karena itu variabel beban gardu induk tidak diekstrapolasikan terhadap trendnya sendiri. Untuk mendapatkan perkiraan beban gardu induk seakurat mungkin, maka digunakan metode regresi linier berganda dimana perkiraan beban gardu induk menjadi variabel tidak bebas, sedangkan variabel bebas merupakan variabel-variabel yang mempengaruhinya.

Tabel 4.25. Beban GI Manisrejo Tahun 2005 – 2013

Tahun	Beban GI (MVA)
2005	22,55
2006	23,25
2007	24,19
2008	23,33
2009	25,59
2010	27,20
2011	30,23
2012	32,13
2013	32,59

Sumber : PT.PLN APJ Madiun

4.3.1 Pengujian Variabel Persamaan Perkiraan Beban Gardu Induk

Sebelum melakukan analisis regresi linier berganda, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi perkiraan beban gardu induk. Pengujian ini bertujuan untuk memenuhi asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Tidak terjadi autokorelasi.
- Tidak terjadi heteroskedastisitas.
- Tidak terjadi multikolinieritas.

a. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi dilakukan dengan membandingkan nilai *statistic Durbin–Watson* yang diperoleh dari program SPSS dengan nilai *statistic Durbin–Watson* yang diperoleh dari tabel.

Dari program SPSS diperoleh nilai $d = 2,537$. Sedangkan dari tabel, dengan nilai $k = 4$, $n = 9$ diperoleh nilai $dL = 0,2957$, $dU = 2,5881$. Oleh karena nilai d terletak diantara nilai dL dan dU , maka hasil uji autokorelasi tidak dapat ditentukan.

b. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas dilakukan dengan metode uji Glejser, dimana nilai absolut dari residual diregresikan terhadap variabel–variabel bebas. Dari program SPSS diperoleh nilai signifikansi dari masing–masing variabel, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.26

Tabel 4.26. Tabel Signifikansi Variabel–Variabel Bebas

		Coefficients ^a			
		Unstandardized Coefficients		t	Sig.
Model		B	Std. Error		
1	(Constant)	9691.306	5286.264	1.833	.141
	Jumlah_Penduduk	-.031	.027	-1.131	.321
	PDRB	.253	.103	2.443	.071
	Jumlah_Pelanggan	-.089	.027	-3.232	.032
	Jumlah_Pemakaian	-.002	.004	-.499	.644

a. Dependent Variable: RES2

Sumber : Hasil Penghitungan

Dari tabel 4.26 terlihat bahwa terdapat 1 variabel yang nilai signifikansinya dibawah 0,05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada variabel jumlah pelanggan terjadi heteroskedastisitas.

c. Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas dilakukan dengan cara meregresikan variabel–variabel bebas terhadap variabel tidak bebas. Kemudian dilihat kolom nilai VIF (*variance inflation factor*), apabila nilai $VIF < 10$, maka tidak terjadi



multikolinieritas. Sebaliknya apabila nilai VIF > 10, maka terjadi multikolinieritas.

Tabel 4.27. Tabel Nilai VIF Variabel–Variabel Bebas

		Coefficients ^a			
		Unstandardized Coefficients		Collinearity Statistics	
Model		B	Std. Error	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-9543.685	28090.736		
	Jumlah_Penduduk	.100	.144	.018	54.467
	PDRB	-.096	.550	.007	139.105
	Jumlah_Pelanggan	-.238	.146	.035	28.294
	Jumlah_Pemakaian	.170	.022	.015	65.222

a. Dependent Variable: Beban_GI

Sumber : Hasil Penghitungan

Dari tabel 4.27, terlihat bahwa seluruh variabel bebas nilai VIFnya > 10. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi multikolinieritas pada seluruh variabel–variabel bebas.

4.3.2 Analisis *Principal Component Analysis* (PCA)

Setelah melalui pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa pada variabel–variabel bebas terjadi heteroskedastisitas dan multikolinieritas. Sedangkan untuk uji autokorelasi hasilnya tidak dapat diketahui. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada variabel–variabel bebas untuk menghindari masalah autokorelasi, heteroskedastisitas, dan multikolinieritas.

Salah satu prosedur yang dapat ditempuh untuk menghindari masalah–masalah tersebut adalah melalui prosedur *Principal Component Analysis* (PCA). Untuk menempuh prosedur ini ada beberapa syarat yang harus dipenuhi:

- Nilai KMO diantara 0,5 dan 1
- Nilai MSA masing–masing variabel bebas > 0,5

Dari program SPSS diperoleh nilai KMO = 0,706, sedangkan nilai MSA untuk variabel jumlah penduduk, PDRB, jumlah pelanggan listrik, dan jumlah pemakaian energi listrik masing–masing 0,681, 0,666, 0,832, dan 0,669. Sehingga analisis PCA dapat dilanjutkan.

Setelah melalui analisis PCA, maka akan didapatkan persamaan:

$$F_1(t) = 0,251X_1(t) + 0,257X_2(t) + 0,253X_3(t) + 0,255X_4(t) \quad (4.9)$$

Dimana :

$F_1(t)$: Persamaan faktor tahun ke-t

$X_1(t)$: Jumlah penduduk tahun ke-t (jiwa)

$X_2(t)$: PDRB tahun ke-t (milliar rupiah)

$X_3(t)$: Jumlah pelanggan tahun ke-t (unit)

$X_4(t)$: Jumlah pemakaian energi listrik tahun ke-t (MWh)

Berdasarkan hasil pengujian, pada variabel F_1 sudah tidak terjadi autokorelasi, heteroskedastisitas, dan multikolinieritas

4.3.3 Model Persamaan Perkiraan Beban Gardu Induk

Setelah didapatkan variabel baru F_1 yang terdiri dari X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 , maka variabel tidak bebas beban gardu induk akan diregresikan terhadap variabel F_1 , sehingga diperoleh:

$$Y(t) = -22811,270 + 0,471F_1(t) \quad (4.10)$$

Keterangan :

$Y(t)$: Beban gardu induk tahun ke-t (kVA)

$F_1(t)$: Variabel faktor tahun ke-t

$X_1(t)$: Jumlah penduduk tahun ke-t (jiwa)

$X_2(t)$: PDRB tahun ke-t (miliar rupiah)

$X_3(t)$: Jumlah pelanggan tahun ke-t (unit)

$X_4(t)$: Jumlah pemakaian energi listrik tahun ke-t (MWh)

4.3.4 Penghitungan Beban Gardu Induk

Penghitungan perkiraan beban gardu induk pada tahun-tahun berikutnya dilakukan dengan memasukkan nilai variabel faktor ke dalam persamaan 4.10. Oleh karena itu nilai dari variabel faktor dicari terlebih dahulu dengan persamaan 4.9.

Tabel 4.28. Perkiraan Beban GI Mansirejo Tahun 2014 – 2025

Tahun	Beban GI (MVA)
2014	34,08
2015	35,87
2016	37,76

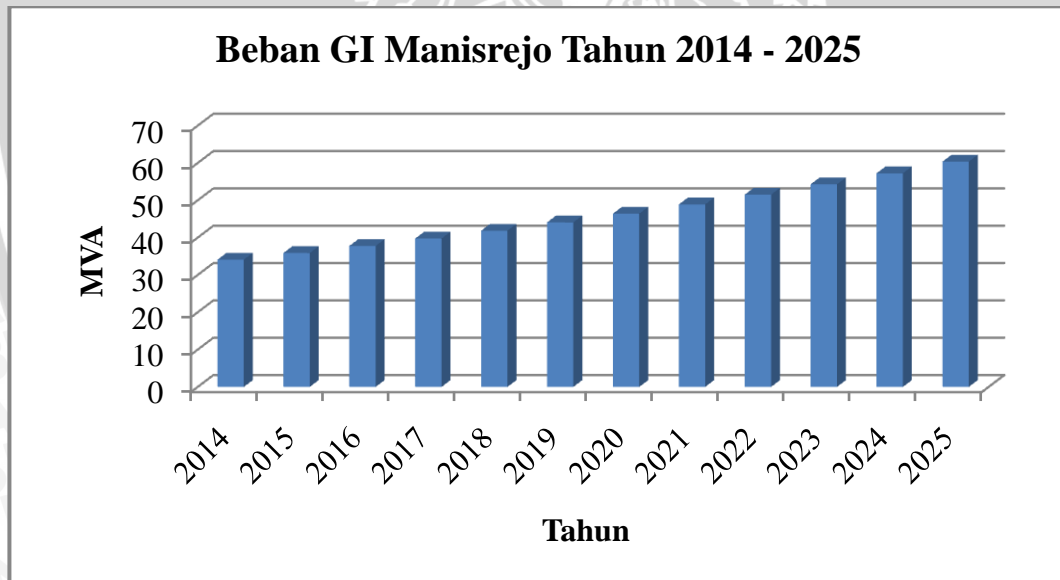
Tahun	Beban GI (MVA)
2017	39,75
2018	41,85
2019	44,07
2020	46,41
2021	48,89
2022	51,51
2023	54,29
2024	57,23
2025	60,35

Sumber : Hasil Penghitungan

4.4 Analisis Kondisi Beban Gardu Induk

4.4.1 Analisis Beban Gardu Induk

Grafik di bawah ini memperlihatkan pertumbuhan beban pada GI Manisrejo dari tahun 2014 – 2025.



Gambar 4.2 Grafik Perkembangan Beban GI Manisrejo

Sumber: Hasil Penghitungan

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa beban pada GI Manisrejo terus meningkat hingga tahun 2025. Rata-rata peningkatan beban pada GI Manisrejo per tahunnya sebesar 3,5%. Dari gambar di atas terlihat pula bahwa hingga tahun 2025, beban pada GI Manisrejo masih berada di bawah kapasitas GI yakni sebesar 70 MVA.

Walaupun hingga tahun 2025 beban pada GI masih berada di bawah kapasitas GI, tetapi perlu diperhatikan bahwa sesuai dengan aturan *capacity balance transformer* bahwa pembebanan tidak boleh lebih dari 80% dari kapasitas GI, maka perlu dilakukan penghitungan seberapa besar % pembebanan yang terjadi tiap tahunnya.

Tabel 4.29. Penghitungan % Pembebanan Beban GI Mansirejo Tahun 2014 – 2025

Tahun	Beban GI (MVA)	% beban
2014	34,08	48,69
2015	35,87	51,25
2016	37,76	53,94
2017	39,75	56,79
2018	41,85	59,79
2019	44,07	62,95
2020	46,41	66,30
2021	48,89	69,84
2022	51,51	73,59
2023	54,29	77,55
2024	57,23	81,76
2025	60,35	86,22

Sumber: Hasil Penghitungan

Dari hasil penghitungan terlihat bahwa % pembebanan pada tahun 2024 telah melampaui 80%, sehingga sebelum tahun 2024 sudah seharusnya dilakukan uprating pada salah satu trafo pada GI Manisrejo.

4.4.2 Analisis Beban Trafo V dan VI Gardu Induk

Pada subbab sebelumnya, analisis dilakukan terhadap beban keseluruhan pada GI, maka pada subbab ini akan dilakukan analisis terhadap beban pada masing–masing trafo daya pada GI.

Tabel 4.30 menunjukkan beban pada masing–masing trafo V dan VI GI, dimana dari hasil penghitungan didapatkan bahwa antara tahun 2005 - 2013 rata-rata 62% dari beban GI merupakan beban pada trafo V sedangkan sisanya sebesar 38% merupakan beban pada trafo VI.

Tabel 4.30. Beban Pada Trafo V dan VI Tahun 2005 – 2013

Tahun	Beban Trafo V (kVA)	%	Beban Trafo VI (kVA)	%
2005	13,83	61,30	8,73	38,70
2006	14,30	61,49	8,96	38,51
2007	14,93	61,72	9,26	38,28
2008	14,30	61,29	9,03	38,71
2009	15,68	61,28	9,91	38,72
2010	16,76	61,62	10,44	38,38
2011	18,75	62,04	11,47	37,96
2012	19,93	62,03	12,20	37,97
2013	20,22	62,04	12,37	37,96

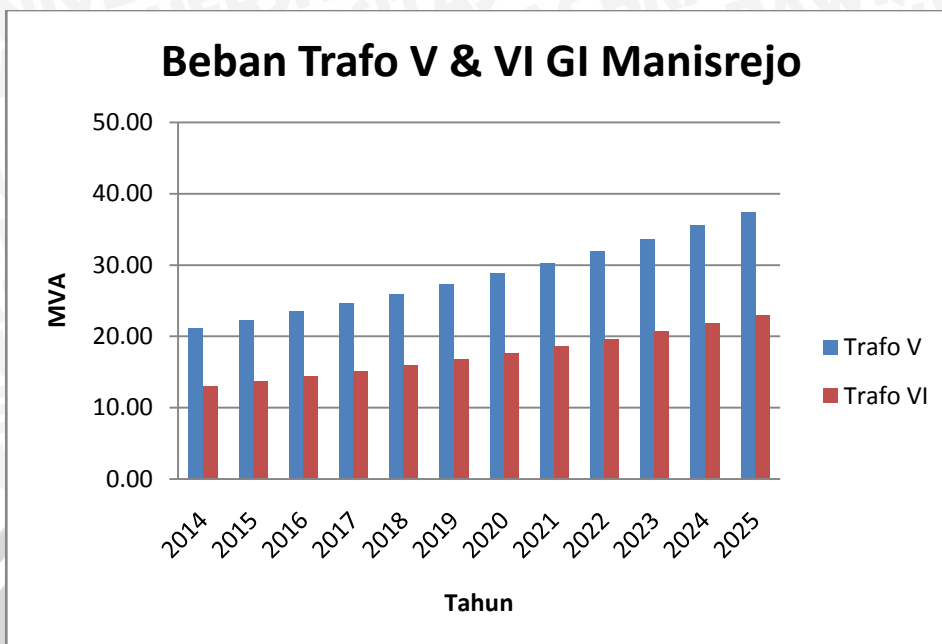
Sumber: PT.PLN APJ Madiun

Dengan menganggap antara tahun 2014 – 2025 terjadi kondisi yang sama, 62% beban GI merupakan beban trafo V dan 38% merupakan beban trafo VI, maka kita dapat menentukan perkiraan beban pada trafo V dan VI antara tahun 2014 – 2025.

Tabel 4.31. Perkiraan Beban Trafo V dan VI Tahun 2014 - 2025

Tahun	Beban Trafo V (MVA)	%	Beban Trafo VI (MVA)	%
2014	21,13	42,26	12,95	64,76
2015	22,24	44,48	13,63	68,16
2016	23,41	46,82	14,35	71,75
2017	24,65	49,29	15,11	75,53
2018	25,95	51,90	15,90	79,52
2019	27,32	54,64	16,75	83,73
2020	28,78	57,55	17,64	88,18
2021	30,31	60,62	18,58	92,89
2022	31,94	63,87	19,57	97,87
2023	33,66	67,32	20,63	103,15
2024	35,48	70,96	21,75	108,74
2025	37,42	74,84	22,93	114,67

Sumber: Hasil Penghitungan



Gambar 4.3 Grafik Perkembangan Beban Trafo V dan VI GI Manisrejo
Sumber: Hasil Penghitungan

Dari tabel 4.32 dan gambar 4.2 terlihat bahwa kondisi beban pada trafo V hingga tahun 2025 masih di bawah 80% dari kapasitas trafo, sedangkan pada kondisi beban pada trafo VI antara tahun 2019 – 2025 kondisi beban sudah lebih dari 80% dari kapasitas trafo. Sehingga pada trafo VI sebelum tahun 2019 sudah haru dilakukan uprating trafo. Melihat kondisi beban yang terjadi pada tahun 2018, dimana kondisi beban sudah mencapai 79.63% dari kapasitas trafo, maka sebaiknya uprating trafo dilakukan pada tahun 2017.

Besarnya kapasitas trafo VI yang diperlukan dapat diperoleh melalui:

$$\text{Kapasitas Trafo yang Diperlukan} = \frac{\text{Beban Trafo VI Tahun 2025}}{0,8}$$

$$\text{Kapasitas Trafo yang Diperlukan} = \frac{22,93 \text{ MVA}}{0,8}$$

$$\text{Kapasitas Trafo yang Diperlukan} = 28,66 \text{ MVA} \approx 30 \text{ MVA}$$

Dari hasil penghitungan diperoleh bahwa perlu diperlukan *uprating* pada trafo VI dari kapasitas sebelumnya sebesar 20 MVA menjadi 30 MVA. Tabel 4.32 dan 4.33 menunjukkan % pembebanan pada trafo VI dan % pembebanan pada beban keseluruhan GI setelah dilakukan *uprating* pada trafo VI.

Tabel 4.32. Penghitungan % Pembebanan Beban Trafo VI Setelah Dilakukan Uprating

Tahun	Beban Trafo VI (MVA)	% beban
2019	16,75	55,82
2020	17,64	58,79
2021	18,58	61,93
2022	19,57	65,25
2023	20,63	68,76
2024	21,75	72,49
2025	22,93	76,44

Sumber: Hasil Penghitungan

Setelah dilakukan uprating pada trafo VI, % pembebanan pada trafo VI GI Manisrejo pada tahun 2019 - 2025 sudah sesuai dengan aturan *capacity balance transformator*, yakni di bawah 80%.

Tabel 4.33. Penghitungan % Pembebanan Beban GI Manisrejo Setelah Dilakukan Uprating Trafo VI

Tahun	Beban GI (kVA)	% beban
2014	34,08	42,60
2015	35,87	44,84
2016	37,76	47,20
2017	39,75	49,69
2018	41,85	52,31
2019	44,07	55,09
2020	46,41	58,01
2021	48,89	61,11
2022	51,51	64,39
2023	54,29	67,86
2024	57,23	71,54
2025	60,35	75,44

Sumber: Hasil Penghitungan

Dari hasil penghitungan, setelah dilakukan *uprating* pada trafo VI, nilai % pembebanan pada beban GI Manisrejo yang sebelumnya 81,76% pada tahun 2024 dan 86,22% pada tahun 2025, setelah dilakukan uprating pada trafo VI turun menjadi 71,54% pada tahun 2024 dan 75,44% pada tahun 2025.