

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Aliran Daya

Aliran daya merupakan sebuah proses penyaluran daya dari sumber (pembangkit) menuju konsumen untuk digunakan atau dikonsumsi oleh konsumen guna memenuhi kebutuhan dan melakukan aktivitas sehari-hari yang menggunakan daya listrik. Dalam penyaluran daya listrik terdapat besar tegangan, besar daya, serta rugi-rugi daya yang terdapat di dalam prosesnya. Maka dari itu, penting sekali dilakukan perhitungan aliran daya guna kelancaran dalam proses aliran daya serta mengetahui masalah yang terjadi dalam proses aliran daya. Dalam penelitian ini perhitungan aliran daya dilakukan dengan mengkombinasikan dua aplikasi yaitu aplikasi ETAP 12.6.0 untuk mengetahui besaran beban (dalam bentuk daya aktif dan daya reaktif) dan mengetahui besaran impedansi dari jaringan serta aplikasi Matlab untuk menghitung aliran daya menggunakan metode Teknik Topologi.

4.1.1 Perhitungan Aliran Daya Menggunakan Aplikasi ETAP 12.6.0 Serta Perhitungan Menggunakan Aplikasi Matlab

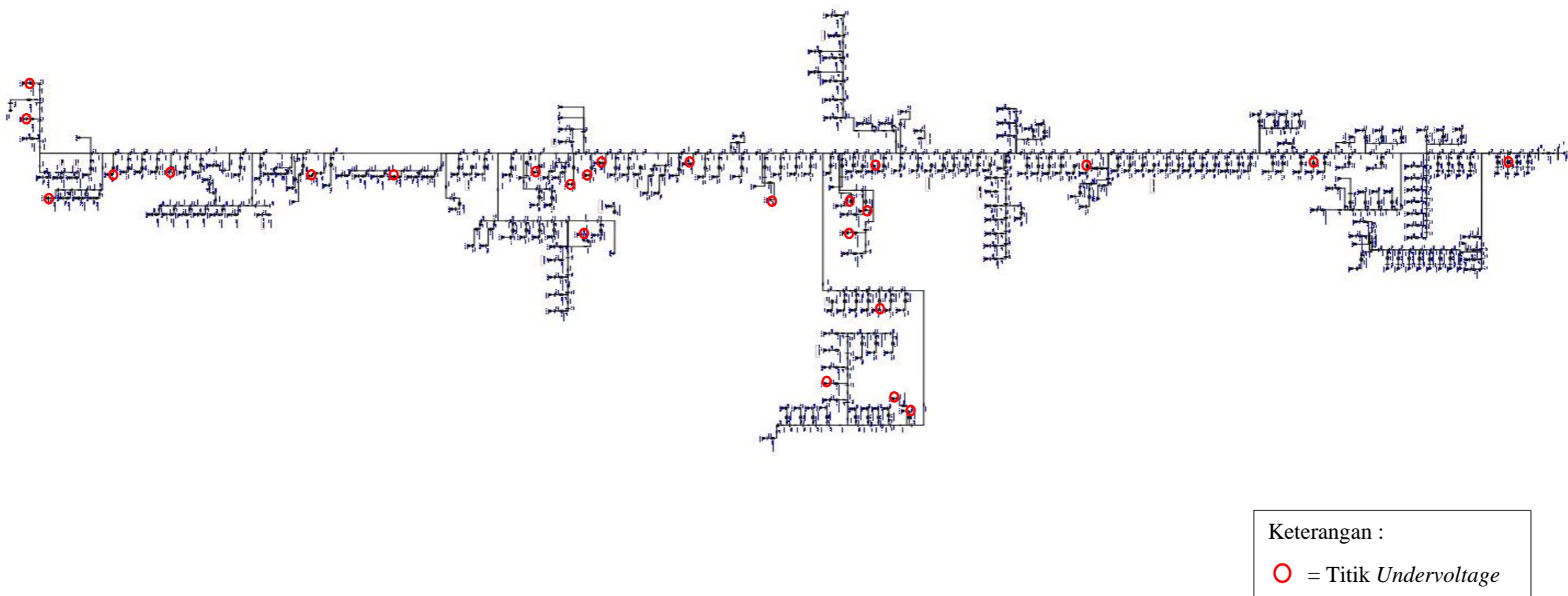
ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) merupakan aplikasi yang dirancang untuk memudahkan dalam perhitungan aliran daya, terutama pada jaringan listrik yang mempunyai skala jaringan yang besar. Dalam hal ini, hasil perhitungan dapat didapatkan dari hasil *report manager*. *Report manager* berisi hasil lengkap dari simulasi yang dilakukan di aplikasi ETAP 12.6.0, untuk aliran daya dapat berisi data beban, daya nyata dan daya semu, rugi-rugi daya, serta kondisi jaringan seperti *overload*, *over voltage*, serta *under voltage*. Perhitungan dilakukan saat seluruh beban sedang beroperasi dan sebelum perhitungan dilakukan terlebih dahulu memasukan data jaringan distribusi listrik 20 kV Majenang-04 ULP

Majenang yang dibutuhkan untuk simulasi perhitungan aliran daya. Perhitungan dilakukan dengan kV dasar 20 kV. Perhitungan juga dilakukan secara manual menggunakan aplikasi Matlab memakai metode perhitungan teknik topologi jaringan yang sesuai dengan bentuk jaringan distribusi 20 kV ULP Majenang yang berbentuk radial.

4.1.2 Model *Single Line Diagram* (SLD) Jaringan Distribusi 20 kV ULP Majenang

Terdapat dua gambar *single line diagram* yang terdapat dalam penelitian ini. Gambar *single line diagram* jaringan distribusi 20 kV ULP Majenang yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1.** dengan *feeder* Majenang-04 (MJG-04) disimbolkan garis berwarna merah muda (*pink*) sedangkan gambar *single line diagram* yang digambar pada aplikasi ETAP 12.6.0 dapat dilihat pada **Gambar 4.2.**

One-Line Diagram - OLV1 (Edit Mode)



Gambar 4.2. Single Line Diagram Pada Aplikasi ETAP 12.6.0

4.1.3 Hasil Report Manager Aplikasi ETAP 12.6.0

Hasil *report manager* menghasilkan beberapa output seperti impedansi diitunjukkan pada **Tabel 4.1.**, beban dalam bentuk daya aktif (P_b) maupun daya reaktif (Q_b) ditunjukkan pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.1. Impedansi Beban Tiap Node

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B32	B1	K1	4,71	4,74
B1	B2	K2	4,71	4,74
B2	B3	K3	4,71	4,74
B3	B4	K4	7,06	7,11
B4	B5	K5	3,53	3,56
B5	B7	K6	7,06	7,11
B7	B8	K7	7,06	7,11
B8	B9	K8	7,06	7,11
B7	B11	K9	7,06	7,11
B11	B12	K10	7,06	7,11
B12	B13	K11	7,06	7,11
B13	B14	K12	7,06	7,11
B14	B15	K13	7,06	7,11
B15	B16	K14	7,06	7,11
B16	B6	K15	7,06	7,11
B6	B17	K16	7,06	7,11
B17	B19	K18	7,06	7,11
B17	B20	K17	7,06	7,11
B5	B21	K19	7,06	7,11
B21	B22	K20	0,12	0,12
B22	B23	K21	4,71	4,74
B23	B24	K22	3,53	3,56
B24	B25	K23	0,12	0,12
B25	B26	K24	0,12	0,12
B26	B27	K25	0,12	0,12
B25	B28	K26	0,12	0,12
B28	B29	K27	0,12	0,12
B29	B30	K28	0,12	0,12
B30	B31	K29	0,12	0,12

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B31	B34	K30	0,12	0,12
B34	B35	K31	0,12	0,12
B35	B36	K32	0,12	0,12
B25	B37	K33	3,53	3,56
B37	B38	K34	0,12	0,12
B38	B39	K35	0,12	0,12
B39	B40	K36	0,12	0,12
B122	B110	K37	3,53	3,56
B25	B43	K38	0,12	0,12
B43	B44	K39	0,12	0,12
B44	B45	K40	3,53	3,56
B45	B46	K41	0,12	0,12
B44	B47	K42	3,53	3,56
B47	B48	K43	0,12	0,12
B48	B49	K44	4,71	4,74
B46	B50	K45	0,12	0,12
B50	B51	K46	0,12	0,12
B51	B52	K47	0,12	0,12
B52	B53	K48	0,12	0,12
B53	B54	K49	0,12	0,12
B54	B55	K50	0,12	0,12
B55	B56	K51	3,53	3,56
B56	B57	K52	0,12	0,12
B57	B58	K53	0,12	0,12
B55	B59	K54	3,53	3,56
B59	B60	K55	0,12	0,12
B60	B61	K56	0,12	0,12
B61	B62	K57	0,12	0,12
B62	B63	K58	0,12	0,12
B63	B64	K59	0,12	0,12
B64	B65	K60	0,12	0,12
B65	B66	K61	0,12	0,12
B66	B67	K62	0,12	0,12
B67	B68	K63	0,12	0,12
B68	B69	K64	0,12	0,12
B69	B70	K65	0,12	0,12
B70	B71	K66	0,12	0,12
B71	B72	K67	3,53	3,56

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B72	B74	K68	0,12	0,12
B74	B75	K69	0,12	0,12
B71	B76	K70	2,35	2,37
B76	B77	K71	0,12	0,12
B77	B78	K72	0,12	0,12
B78	B79	K73	0,12	0,12
B79	B80	K74	0,12	0,12
B80	B81	K75	0,12	0,12
B81	B82	K76	0,12	0,12
B82	B83	K77	2,35	2,37
B83	B84	K78	2,35	2,37
B82	B85	K79	3,53	3,56
B85	B86	K80	2,35	2,37
B82	B87	K81	4,71	4,74
B92	B89	K82	3,53	3,56
B91	B90	K83	4,71	4,74
B89	B91	K84	3,53	3,56
B87	B92	K85	3,53	3,56
B91	B93	K86	2,35	2,37
B93	B94	K87	2,35	2,37
B94	B95	K88	2,35	2,37
B95	B96	K89	2,35	2,37
B87	B97	K90	4,71	4,74
B97	B99	K91	3,53	3,56
B99	B100	K92	0,12	0,12
B100	B101	K93	0,12	0,12
B101	B102	K94	0,12	0,12
B102	B103	K95	0,12	0,12
B103	B104	K96	0,12	0,12
B104	B105	K97	0,12	0,12
B105	B106	K98	0,12	0,12
B106	B42	K99	3,53	3,56
B42	B107	K100	3,53	3,56
B107	B111	K101	3,53	3,56
B111	B113	K102	0,12	0,12
B113	B115	K103	0,12	0,12
B115	B190	K104	0,12	0,12
B190	B344	K105	0,12	0,12

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B344	B346	K106	0,12	0,12
B106	B118	K107	0,12	0,12
B118	B119	K108	0,12	0,12
B119	B120	K109	0,12	0,12
B120	B121	K110	0,12	0,12
B121	B122	K111	0,12	0,12
B98	B129	K112	3,53	3,56
B122	B124	K113	3,53	3,56
B124	B126	K114	3,53	3,56
B126	B127	K115	3,53	3,56
B122	B128	K116	0,12	0,12
B128	B98	K117	4,71	4,74
B129	B130	K118	0,12	0,12
B130	B131	K119	0,12	0,12
B131	B132	K120	0,12	0,12
B132	B133	K121	0,12	0,12
B133	B134	K122	0,12	0,12
B134	B135	K123	4,71	4,74
B135	B137	K124	3,53	3,56
B137	B138	K125	0,12	0,12
B138	B139	K126	0,12	0,12
B139	B140	K127	0,12	0,12
B149	B141	K128	0,12	0,12
B142	B143	K129	0,12	0,12
B143	B144	K130	0,12	0,12
B144	B145	K131	0,12	0,12
B150	B146	K132	0,12	0,12
B146	B147	K133	0,12	0,12
B147	B148	K134	0,12	0,12
B140	B149	K135	3,53	3,56
B145	B150	K136	0,12	0,12
B141	B151	K137	0,12	0,12
B151	B152	K138	0,12	0,12
B152	B153	K139	0,12	0,12
B128	B154	K140	4,71	4,74
B154	B155	K141	3,53	3,56
B155	B156	K142	3,53	3,56
B156	B157	K143	3,53	3,56

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B157	B158	K144	0,12	0,12
B158	B159	K145	3,53	3,56
B159	B160	K146	0,12	0,12
B160	B161	K147	0,12	0,12
B161	B162	K148	3,53	3,56
B162	B163	K149	0,12	0,12
B163	B164	K150	0,12	0,12
B164	B165	K151	3,53	3,56
B164	B167	K152	3,53	3,56
B167	B168	K153	0,12	0,12
B168	B169	K154	0,12	0,12
B165	B166	K155	3,53	3,56
B169	B172	K156	0,12	0,12
B172	B173	K157	0,12	0,12
B173	B174	K158	0,12	0,12
B174	B175	K159	0,12	0,12
B174	B176	K160	0,12	0,12
B176	B177	K161	0,12	0,12
B177	B178	K162	0,12	0,12
B176	B179	K163	3,53	3,56
B179	B180	K164	0,12	0,12
B180	B171	K165	3,53	3,56
B171	B181	K166	0,12	0,12
B180	B182	K167	0,12	0,12
B182	B183	K168	3,53	3,56
B183	B184	K169	0,12	0,12
B183	B175	K170	0,12	0,12
B185	B186	K171	0,12	0,12
B186	B187	K172	0,12	0,12
B187	B188	K173	0,12	0,12
B188	B189	K174	0,12	0,12
B189	B191	K175	3,53	3,56
B191	B192	K176	3,53	3,56
B192	B193	K177	3,53	3,56
B193	B194	K178	3,53	3,56
B189	B195	K179	3,53	3,56
B189	B196	K180	3,53	3,56
B196	B197	K181	0,12	0,12

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B182	B198	K182	3,53	3,56
B198	B199	K183	0,12	0,12
B199	B200	K184	0,12	0,12
B200	B202	K185	3,53	3,56
B200	B203	K186	3,53	3,56
B203	B204	K187	3,53	3,56
B204	B205	K188	3,53	3,56
B205	B206	K189	3,53	3,56
B206	B207	K190	3,53	3,56
B207	B208	K191	3,53	3,56
B200	B209	K192	3,53	3,56
B209	B210	K193	3,53	3,56
B209	B211	K194	3,53	3,56
B211	B213	K195	3,53	3,56
B213	B214	K196	3,53	3,56
B211	B215	K197	3,53	3,56
B215	B216	K198	7,06	7,11
B216	B217	K199	3,53	3,56
B216	B218	K200	3,53	3,56
B218	B219	K201	0,12	0,12
B219	B220	K202	3,53	3,56
B219	B221	K203	3,53	3,56
B221	B222	K204	0,12	0,12
B222	B223	K205	0,12	0,12
B223	B224	K206	0,12	0,12
B215	B225	K207	3,53	3,56
B225	B226	K208	3,53	3,56
B225	B227	K209	4,71	4,74
B227	B228	K210	3,53	3,56
B228	B229	K211	3,53	3,56
B229	B230	K212	3,53	3,56
B230	B231	K213	3,53	3,56
B231	B232	K214	3,53	3,56
B232	B233	K215	3,53	3,56
B233	B234	K216	3,53	3,56
B234	B235	K217	0,12	0,12
B235	B236	K218	0,12	0,12
B236	B237	K219	0,04	0,04
B233	B238	K220	3,53	3,56

Impedansi Tiap Beban				
Node		Kabel	R (Ohm) %	X (Ohm) %
i	j			
B238	B239	K221	4,71	4,74
B238	B242	K224	4,71	4,74
B242	B243	K225	3,53	3,56
B243	B244	K226	3,53	3,56
B244	B245	K227	3,53	3,56
B140	B142	K228	3,53	3,56

Impedansi tiap beban akan digunakan untuk membuat matriks Z_{bus} yang akan dibuat dan dihitung menggunakan aplikasi Matlab. Dalam metode perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode teknik topologi impedansi menjadi bagian utama dalam perhitungan bersama beban tiap *node* bersama dengan beban dari tiap *node*. Berikut beban tiap *node* ditampilkan dalam **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2. Beban Tiap Node

Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B1	30	18
B2	35	21
B3	18	11
B4	30	18
B5	31	19
B7	79	49
B8	29	18
B9	13	8
B11	36	22
B12	26	16
B13	28	17
B14	25	16
B15	24	15
B16	21	13
B6	38	24

Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B17	59	36
B20	23	14
B19	38	24
B28	29	18
B29	36	22
B30	31	19
B31	40	25
B34	26	16
B35	30	19
B36	31	19
B21	11	7
B22	40	25
B23	26	16
B24	42	26
B37	25	15
B38	36	22
B39	13	8
B40	62	39
B43	36	22
B47	58	36
B48	53	33
B49	41	25
B50	6	4
B51	30	18
B52	32	20
B53	51	32
B54	51	31
B59	32	20
B60	30	19
B61	22	13
B62	55	34
B63	55	34
B64	48	30
B65	39	24
B66	19	12
B68	40	25
B69	33	21

Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B70	40	25
B25	43	27
B26	30	18
B27	35	22
B44	66	41
B45	26	16
B46	43	26
B55	25	15
B56	15	9
B57	17	10
B58	19	12
B71	56	34
B72	40	25
B74	32	19
B75	54	33
B314	8	5
B78	34	21
B79	37	23
B80	25	16
B81	28	17
B82	37	23
B83	19	12
B84	14	9
B85	32	20
B86	24	15
B87	15	9
B92	26	16
B91	43	27
B90	15	9
B93	9	6
B94	5	3
B95	21	13
B96	34	21
B99	27	17
B100	37	23
B101	16	10
B102	46	28

Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B104	40	25
B106	64	40
B42	38	24
B107	34	21
B111	17	11
B113	36	22
B115	57	35
B190	92	57
B346	42	26
B118	20	12
B351	62	39
B121	32	20
B122	40	25
B357	54	34
B125	145	90
B355	9	6
B127	47	29
B129	34	21
B130	31	19
B131	25	15
B360	16	10
B133	18	11
B134	29	18
B136	29	18
B142	38	23
B371	5	3
B144	33	21
B150	24	15
B146	39	24
B147	33	21
B148	21	13
B137	47	29
B138	19	12
B139	22	14
B140	38	24
B149	46	28
B141	20	12

Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B151	30	19
B152	32	20
B153	10	6
B154	25	15
B155	16	10
B156	39	24
B387	47	29
B159	18	11
B160	12	7
B161	22	14
B162	21	13
B392	15	10
B164	27	16
B165	37	23
B166	40	25
B168	20	12
B169	7	4
B172	56	35
B173	5	3
B175	113	70
B403	7	4
B177	32	20
B178	17	11
B406	53	33
B171	18	11
B181	32	20
B182	36	23
B183	36	23
B184	19	12
B185	19	12
B186	31	19
B187	37	23
B188	14	9
B196	439	13
B189	23	14
B412	48	24
B192	27	17

Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B193	18	11
B194	18	11
B198	44	27
B200	11	7
B202	26	16
B203	13	8
B204	10	6
B430	5	3
B206	33	10
B190	92	59
B209	20	12
B435	2	1
B211	31	19
B213	28	17
B214	29	18
B215	36	22
B225	23	14
B218	16	10
B219	18	11
B220	28	17
B221	23	14
B222	18	11
B223	34	21
B224	21	13
B226	28	18
B227	29	18
B228	11	7
B229	61	38
B230	14	9
B231	30	19
B232	27	17
B456	61	38
B238	1605	7
B239	7	4
B181	32	20
B235	32	20
B236	17	10

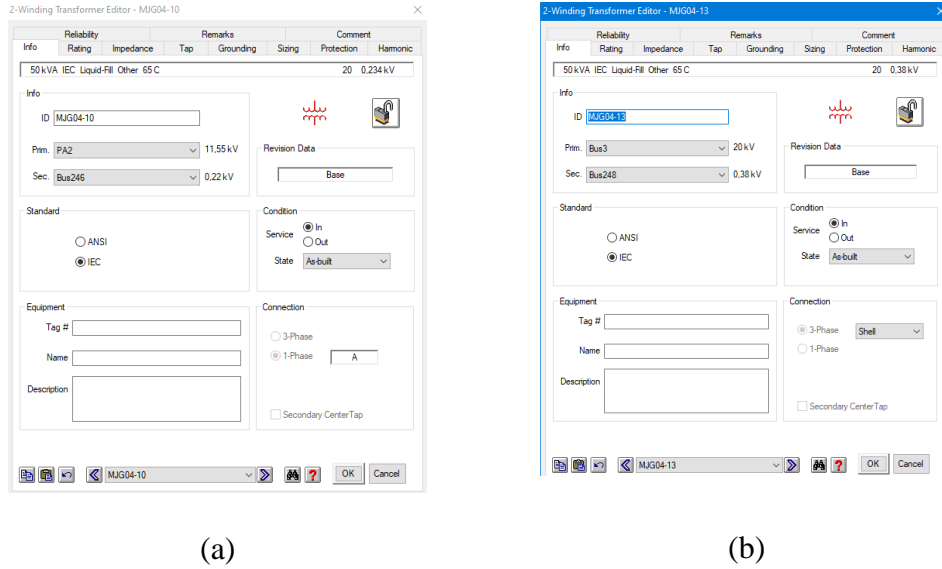
Beban Tiap Node		
Node	Pb (Kw)	Qb (Kw)
B464	26	16
B242	18	11
B466	62	39
B244	13	8
B468	2	1

Beban tiap *node* terdiri dari daya aktif (Pb) dan daya reaktif (Qb). Beban tiap *node* merupakan dasar dari pembuatan matriks *A*, sedangkan matriks *A* merupakan dasar perhitungan aliran daya menggunakan metode teknik topologi.

4.1.4 Hasil Perhitungan Aliran Daya Menggunakan Matlab dengan Metode Teknik Topologi

Perhitungan aliran daya dilakukan menggunakan aplikasi Matlab secara iterasi dengan toleransi sebesar 0,00001 dan tegangan dasar sebesar 20 kV. Perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode Teknik Topoplogi yang merupakan metode perhitungan aliran daya untuk tipe jaringan radial. Perhitungan aliran daya dilakukan pada 245 bus dan terdiri dari 2 jenis trafo yaitu trafo satu fasa dan trafo tiga fasa.

Setting trafo pada aplikasi ETAP yang digunakan untuk trafo satu fasa dan tiga fasa adalah dengan menggunakan standar IEC dengan koneksi satu fasa/tiga fasa dan *voltage rating* primer bernilai 20 kV sesuai tegangan jaringan distribusi dengan *voltage rating* sekunder menyesuaikan dengan trafo satu fasa/tiga fasa. *Power rating* menyesuaikan *rating* dari trafo yang digunakan seperti pada sampel 50 kVA untuk MJG04-10 dan MJG04-13 seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3. (a) Trafo satu fasa (b) Trafo tiga fasa

Sampel proses perhitungan aliran daya adalah dimulai dari bus 1 sampai dengan bus 4 sebelum adanya cabang. Perhitungan aliran daya dengan metode Teknik Topologi dilakukan per cabang. Berikut merupakan program pada matlab.

```
%Analisis aliran daya Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) ULP
Majenang
%Sahrul Guntoro (177002047)
%Teknik Elektro
%Universitas Siliwangi
%METODE TEKNIK TOPOLOGI ITERASI
```

```
y=1;
epsilon=0.00001;
%Data kV dasar daalam satuan kV :
kV_dasar = 20;%dalam satuan kV
kVA_dasar = 150;%dalam satuan kVA
%Impedansi dasar dalam satuan Ohm :
z_dasar = (kV_dasar^2)*1000/kVA_dasar;
%Arus dasar dalam satuan Ampere
I_dasar = kVA_dasar/kV_dasar;
%Data Beban Tiap Node
Pb(1)=30; Qb(1)=18;
Pb(2)=35; Qb(2)=21;
Pb(3)=18; Qb(3)=11;
Pb(4)=30; Qb(4)=18;

%Tegangan Sumber
Vo = 1;
%Tegangan Asumsi pada Setiap Node
for i = 1:1:4
    V(i)=Vo;
end
```

```

%Membuat Matriks A
A(1,1)=1; A(1,2)=1; A(1,3)=1; A(1,4)=1;
A(2,1)=0; A(2,2)=1; A(2,3)=1; A(2,4)=1;
A(3,1)=0; A(3,2)=0; A(3,3)=1; A(3,4)=1;
A(4,1)=0; A(4,2)=0; A(4,3)=0; A(4,4)=1;

% Impedansi tiap cabang dalam satuan p.u
z1(32,1)=0.0471 + i*0.0474;
z2(1,2)=0.0471 + i*0.0474;
z3(2,3)=0.0471 + i*0.0474;
z4(3,4)=0.0706 + i*0.0711;

% Membentuk impedansi tiap cabang dalam bentuk matriks
z(1,1)=abs(z1(32,1)); z(1,2)=0; z(1,3)=0; z(1,4)=0;
z(2,1)=0; z(2,2)=abs(z2(1,2)); z(2,3)=0; z(2,4)=0;
z(3,1)=0; z(3,2)=0; z(3,3)=abs(z3(2,3)); z(3,4)=0;
z(4,1)=0; z(4,2)=0; z(4,3)=0; z(4,4)=abs(z4(3,4));

% Impedansi tiap cabang dalam bentuk matriks dalam satuan p.u
zp= z/z_dasar;
% Membentuk matriks Z-bus
Z_bus= A'*zp*A ;
% Menghitung arus injeksi pada setiap node dalam satuan p.u
for i = 1 : 1 : 4
    Sb(i)= sqrt((Pb(i)^2)+(Qb(i)^2))/kVA_dasar;
    K(i)= Sb(i)/V(i);
end
disp('                                     ')
iterasi=0;
while y >= epsilon
    iterasi=iterasi+0.1;
% Menghitung tegangan total
U = Z_bus*K';
% Menghitung tegangan pada setiap node
for i = 1 : 1 : 4
    Vn(i)=Vo-U(i,1);
end
%=====
for i = 1 : 1 : 4
    V(i)= Vn(i);
end
% Menghitung arus injeksi terbaru pada setiap node dalam satuan
p.u
for i = 1 : 1 : 4
    Sb(i)= sqrt((Pb(i)^2)+ (Qb(i)^2))/kVA_dasar;
    K(i)= Sb(i)/V(i);
end
% Untuk memeriksa konvergensi
x = Vn(1)- V(1);
y = abs(x);
for i = 1 : 1 : 4
    Ks(i)= I_dasar*K(i);
    Vs(i)= kV_dasar*V(i);
    fprintf('%5.0f %14.4f %10.4f \n',i, Ks(i),Vs(i))
end
end

```

```

% Menghitung arus, jatuh tegangan,
% dan rugi-rugi daya pada setiap cabang
I = A*K';
Ir= I*I_dasar;
V = zp*I;
Vr= V*kV_dasar;
for i = 1 : 1 : 4
    S(i)= kV_dasar*Ir(i);
    R(i)= Vs(i)*Ir(i);
    SL(i)= S(i)-R(i);
    fprintf('%5.0f %10.4f %12.4f %12.4f %12.4f
\n', i, Ir(i), Vr(i), S(i), SL(i))
end

```

Dari program tersebut menghasilkan output yang terdapat pada **Tabel 4.3.** yaitu Bus 1 sampai Bus 4. Dengan program yang sama menghasilkan output lengkap yang ditampilkan oleh **Tabel 4.3.**

Output perhitungan aliran daya adalah besar tegangan bus dan besar rugi-rugi daya pada bus. Berikut merupakan hasil perhitungan aliran daya (tegangan dan rugi-rugi daya) ditunjukkan oleh **Tabel 4.3.**

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Aliran Daya (Tegangan Bus dan Rugi-Rugi Daya)

Bus	Tegangan Bus -Matlab (kV)	Rugi-Rugi Daya (kVA)
B1	19,99	0,0103
B2	19,99	0,0131
B3	19,99	0,0095
B4	19,99	0,0070
B87	19,99	0,1189
B92	19,99	0,1928
B91	19,99	0,0301
B90	19,99	0,0642
B93	19,99	0,1234
B94	19,99	0,3366
B95	19,99	0,3716
B96	19,99	0,3735
B5	18,99	0,4538
B7	18,97	0,8202
B8	18,97	0,0854
B9	18,97	0,0271
B11	18,95	1,0104
B12	18,93	1,2241

Bus	Tegangan Bus -Matlab (kV)	Rugi-Rugi Daya (kVA)
B13	18,91	1,3818
B14	18,90	1,4464
B15	18,89	1,4565
B16	18,88	1,0919
B6	18,87	0,9983
B17	18,86	0,7008
B20	18,86	0,5395
B19	18,86	0,2895
B28	18,70	0,2708
B29	18,70	0,2683
B30	18,69	0,0469
B31	18,69	0,0303
B34	18,50	0,0004
B35	18,50	0,0007
B36	18,50	0,0001
B21	18,50	0,008
B22	18,50	0,0114
B23	18,50	0,0063
B24	18,50	0,0057
B37	18,50	0,0182
B38	18,50	0,0200
B39	18,50	0,0206
B40	18,49	0,1473
B43	18,49	0,1437
B47	18,49	0,0551
B48	18,49	0,0513
B49	18,39	0,0196
B50	18,39	0,0354
B51	18,39	0,0231
B52	18,39	0,0101
B53	18,39	0,2787
B54	18,38	0,2823
B59	18,38	0,5338
B60	18,37	0,4876
B61	18,37	0,4039
B62	18,37	0,2597
B63	18,37	0,1515
B64	18,37	0,1089
B65	18,13	0,0049
B66	18,12	0,1349

Bus	Tegangan Bus -Matlab (kV)	Rugi-Rugi Daya (kVA)
B68	18,12	0,0116
B69	18,12	0,0062
B70	18,10	0,4562
B25	18,10	0,4393
B26	18,10	0,3586
B27	18,10	0,3444
B44	18,10	0,3588
B45	18,10	0,3070
B46	18,10	0,2597
B55	18,10	0,2205
B56	18,10	0,2018
B57	18,10	0,1159
B58	18,10	0,0859
B71	18,10	0,0859
B72	17,99	0,0071
B74	17,99	0,1739
B75	17,99	0,1398
B314	17,99	0,1307
B78	17,94	0,0057
B79	17,94	0,0101
B80	17,94	0,0107
B81	17,94	0,0124
B82	17,94	0,0037
B83	17,94	0,0614
B84	17,94	0,0543
B85	17,93	0,1856
B86	17,93	0,2258
B99	17,70	0,2412
B100	17,70	0,2345
B101	17,70	0,1559
B102	17,70	0,1810
B104	17,70	0,1941
B106	17,70	0,1748
B42	17,69	0,0534
B107	17,69	0,0790
B111	17,69	0,0004
B113	17,69	0,0022
B115	17,69	0,0034
B190	17,69	0,0662
B346	17,69	0,0208

Bus	Tegangan Bus -Matlab (kV)	Rugi-Rugi Daya (kVA)
B118	17,69	0,0032
B351	17,69	0,0058
B121	17,69	0,0027
B122	17,69	0,0063
B357	17,63	0,0001
B125	17,62	0,2018
B355	17,62	0,1238
B127	17,62	0,1671
B129	17,61	0,5368
B130	17,61	0,5114
B131	17,61	0,4863
B360	17,61	0,4663
B133	17,61	0,4559
B134	17,61	0,4414
B136	17,58	1,0205
B142	17,58	1,0205
B371	17,57	0,8838
B144	17,57	0,8097
B150	17,57	0,7220
B146	17,57	0,5670
B147	17,56	0,4015
B148	17,56	0,3135
B137	17,56	0,1837
B138	17,56	0,0434
B139	17,59	0,2297
B140	17,59	0,2348
B149	17,59	0,0149
B141	17,59	0,2203
B151	17,59	0,2120
B152	17,59	0,1933
B153	17,57	0,4713
B154	17,57	0,5895
B155	17,56	0,9435
B156	17,54	1,2615
B387	17,53	1,4213
B159	17,53	1,4213
B160	17,52	1,3348
B161	17,52	1,2860
B162	17,52	1,2860
B392	17,51	1,1804

Bus	Tegangan Bus -Matlab (kV)	Rugi-Rugi Daya (kVA)
B164	17,51	1,0964
B165	17,51	0,9462
B166	17,51	0,3539
B168	17,51	0,3539
B169	17,51	0,3903
B172	17,51	0,3512
B173	17,51	0,0285
B175	17,30	0,0117
B403	17,30	0,0179
B177	17,30	0,0158
B178	17,30	0,0170
B406	17,30	0,2009
B171	17,30	0,2477
B181	17,30	0,2333
B182	17,30	0,1442
B183	17,20	0,0446
B184	17,20	0,0342
B185	17,20	0,0034
B186	17,20	0,0333
B187	17,20	0,0620
B188	17,20	0,0854
B196	17,20	0,0649
B189	17,20	0,3900
B412	17,18	0,2806
B192	17,18	0,3190
B193	17,18	0,3190
B194	17,18	0,2205
B198	17,16	0,4804
B200	17,16	0,4454
B202	17,16	0,4453
B203	17,15	0,4033
B204	17,15	0,5002
B430	17,14	0,5864
B206	17,12	0,7800
B190	17,12	0,7800
B209	17,12	0,3275
B435	17,15	0,3049
B211	17,15	0,3876
B213	17,14	0,2375
B214	17,14	0,2375

Bus	Tegangan Bus -Matlab (kV)	Rugi-Rugi Daya (kVA)
B215	17,14	0,2725
B225	17,10	0,2824
B218	17,10	0,2814
B219	17,10	0,5121
B220	17,10	0,4249
B221	17,10	0,3917
B222	17,10	0,3657
B223	17,10	0,4098
B224	17,10	0,3761
B226	17,10	0,6985
B227	17,10	0,6545
B228	17,10	0,5336
B229	17,10	0,6212
B230	17,10	0,5359
B231	17,10	0,5514
B232	17,04	0,4965
B456	17,04	0,4316
B238	17,01	0,0097
B239	17,01	0,0070
B181	17,01	0,0056
B235	17,01	0,0034
B236	17,01	2,5846
B464	17,01	0,0122
B242	17,01	0,1821
B466	17,01	0,1549
B244	17,01	0,0301
B468	17,01	0,0039

Tegangan bus hasil *output* dari aplikasi Matlab memiliki rata-rata tegangan sebesar 17,885 kV. Tegangan bus berpengaruh terhadap rugi-rugi daya karena semakin kecil tegangan nya maka semakin kecil pula daya yang di hasilkan dengan artian rugi-rugi daya semakin besar. Pada jaringan distribusi 20 kV PT PLN (Persero) ULP Majenang rugi-rugi daya terbesar terjadi pada bus B236 yaitu sebesar 2,5846 kVA. Tegangan pada bus distribusi juga berpengaruh terhadap bus beban, semakin kecil tegangan bus maka mengakibatkan terjadinya peristiwa

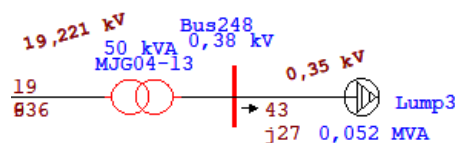
undervoltage pada bus beban jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Majenang. Terjadinya *undervoltage* pada jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Majenang diperbaiki menggunakan metode *on load tap changer*.

4.2 Perbaikan Kondisi *Undervoltage* Menggunakan *On Load Tap Changer* (OLTC)

Dalam sistem jaringan distribusi 20 kV PT PLN (Persero) ULP Majenang pada MJG-04 terdapat beberapa bus beban (*node*) yang mengalami *undervoltage* yaitu keadaan tegangan jatuh atau tegangan kurang dari tegangan *out* yang diberikan oleh transformator. Kondisi *undervoltage* dapat diperbaiki menggunakan metode *tap changer* pada transformator. Untuk kondisi berbeban dapat menggunakan metode OLTC agar dapat melakukan *tap* saat kondisi beban *on*. Perhitungan sampel OLTC transformator dilakukan untuk *node* 246 sebagai berikut.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = \alpha$$

Untuk perhitungan rasio transformator menggunakan rumus $\alpha = \frac{V_p}{V_s}$ sesuai dengan yang diketahui pada data dan hasil simulasi pada aplikasi ETAP 12.6.0. Pada transformator untuk sampel perhitungan yaitu *node* 248 dengan hasil simulasi menunjukkan tegangan bus pada aplikasi ETAP 12.6.0 input transformator MJG04-13 sebesar 19,221 kV, tegangan input data transformator 20 kV, dan tegangan output data transformator 0,38 kV, serta output tegangan untuk *node* 248 hasil simulasi pada aplikasi ETAP 12.6.0 adalah 0,35 kV.



Gambar 4.4. Hasil simulasi node 248 pada aplikasi ETAP 12.6.0

Maka perhitungan *tap changer* transformator adalah sebagai berikut.

Tap 1 (+2,5% Primer) yaitu dengan menambahkan 2,5 % tegangan pada sisi primer

$V_{PB} = 19,221 \text{ kV}$, merupakan tegangan pada bus yang terbaca pada aplikasi ETAP
12.6.0

$V_P = 20 + (2,5\% \times 20)$, merupakan tegangan pada sisi primer transformator yang ditambahkan 2,5% dari tegangan sisi primer transformator.

$$V_P = 20 + 0,5$$

$$V_P = 20,5 \text{ kV}$$

$V_S = 0,38 \text{ kV}$, merupakan tegangan pada sisi sekunder transformator.

Maka rasio transformatornya adalah :

$$\alpha = \frac{V_P}{V_S}$$

$$\alpha = \frac{20,5}{0,38}$$

$$\alpha = 53,947$$

Selanjutnya dapat dihitung tegangan pada *node* 248 setelah dilakukan tap sebagai berikut :

$$V_{SB} = \frac{V_{PB}}{\alpha}$$

$$V_{SB} = \frac{19,221}{53,947}$$

$$V_{SB} = 0,356 \text{ kV}$$

$$V_{SB} = 356 \text{ V}$$

Untuk hasil perhitungan Tap 2-24 disajikan dalam **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan *Tap Changer*

Tap	Trafo		V _{SB} (V)
	Primer (%)	Sekunder (%)	
2	5	0	347
3	-2,5	0	374
4	-5	0	384
5	0	2,5	374
6	0	5	384
7	0	-2,5	355
8	0	-5	345
9	2,5	2,5	365
10	2,5	5	375
11	2,5	-2,5	346
12	2,5	-5	337
13	-2,5	2,5	384
14	-2,5	5	394
15	-2,5	-2,5	364
16	-2,5	-5	354
17	5	2,5	356
18	5	5	366
19	5	-2,5	338
20	5	-5	329
21	-5	2,5	399
22	-5	5	404
23	-5	-2,5	379
24	-5	-5	364

Berdasarkan SPLN yang menyatakan batas toleransi untuk jatuh tegangan (*undervoltage*) adalah 5% dari tegangan output maka untuk *node* 248 perhitungan toleransinya sebagai berikut.

Toleransi :

$$\text{Tegangan Toleransi} = 5\% \times 0,38 \text{ kV} = 0,019 \text{ kV}$$

Maka Tegangan Toleransi adalah $= 0,38 - 0,019 = 0,361 \text{ kV} = 361 \text{ V}$ dari tegangan nominal $0,38 \text{ kV}$ atau 380 V .

Berdasarkan perhitungan toleransi tegangan jatuh (*undervoltage*) maka tap yang bisa dilakukan yaitu **Tap 3, Tap 5, Tap 9, Tap 10, Tap 15, Tap 18, Tap 23,** dan **Tap 24.** Sedangkan yang paling mendekati dengan output trafo yaitu pada **Tap 23** pada tegangan 379 V.

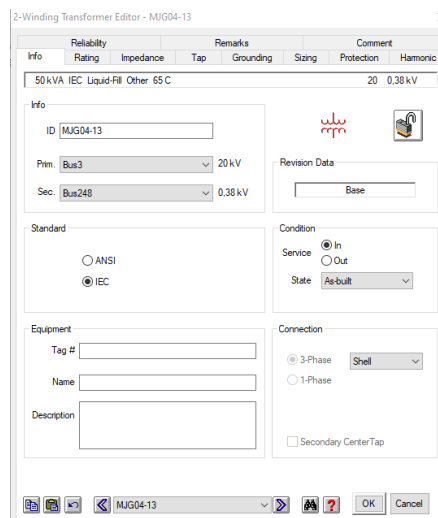
Dari hasil perhitungan *Tap Changer* pada **Tabel 4.3** untuk sampel Tap ke-23 terlihat bahwa Tap ke-14 sama atau mendekati dengan output dari transformator untuk *node* 248. Oleh karena itu cocok untuk di terapkan pada transformator guna menanggulangi *undervoltage* (kurang dari 10% dari tegangan *node*) yang terjadi pada *node* 248 dengan perhitungan prosentase sebagai berikut.

$$\% = \frac{V_{\text{Sesudah}}}{V_{\text{Trafo}}} \times 100\%$$

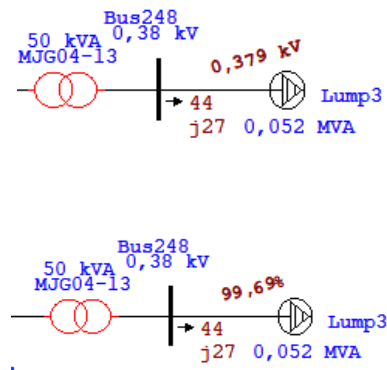
$$\% = \frac{0,379}{0,38} \times 100\%$$

$$\% = 0,997 \times 100\%$$

$$\% = 99,7 \%$$



Gambar 4.4. Tap Transformator pada Aplikasi ETAP 12.6.0



Gambar 4.5. Hasil Tap Transformator pada Bus 246

Untuk hasil sebelum dan setelah perbaikan *undervoltage* terdapat dalam **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5. Kondisi Sebelum dan Setelah Perbaikan

Node	Kondisi	Kondisi Awal (V)		Kondisi Setelah Tap Transformator (V)	
		Operasi Tegangan	% Operasi Tegangan	Operasi Tegangan	% Operasi Tegangan
283	<i>Undervoltage</i>	344,6	90,69	376,6	99,1
361	<i>Undervoltage</i>	340	89,62	372	97
351	<i>Undervoltage</i>	312,8	82,31	378,4	99,57
357	<i>Undervoltage</i>	327,2	86,10	377,5	99,34
125	<i>Undervoltage</i>	319,7	84,13	377,5	99,34
355	<i>Undervoltage</i>	333,9	87,88	376,9	99,17
136	<i>Undervoltage</i>	331,4	87,21	378,3	99,55
373	<i>Undervoltage</i>	336,2	88,46	379,1	99,77
371	<i>Undervoltage</i>	336	88,42	378,9	99,72
360	<i>Undervoltage</i>	331	87,09	377,9	99,44
387	<i>Undervoltage</i>	314,6	82,79	371,7	97,83
392	<i>Undervoltage</i>	325,5	85,66	375,1	98,71
399	<i>Undervoltage</i>	325	85,52	374,3	98,49
400	<i>Undervoltage</i>	328,5	86,45	378,1	99,51
403	<i>Undervoltage</i>	327,6	86,22	377,2	99,27
406	<i>Undervoltage</i>	308,3	81,13	372,5	98,02
412	<i>Undervoltage</i>	322	84,74	378,9	99,71
430	<i>Undervoltage</i>	328,8	86,52	378,3	99,55
435	<i>Undervoltage</i>	328,2	86,36	377,6	99,37
452	<i>Undervoltage</i>	313,8	82,58	377,6	99,37

Node	Kondisi	Kondisi Awal (V)		Kondisi Setelah Tap Transformator (V)	
		Operasi Tegangan	% Operasi Tegangan	Operasi Tegangan	% Operasi Tegangan
456	<i>Undervoltage</i>	312,3	82,18	375,8	98,8
464	<i>Undervoltage</i>	314,5	82,75	378,1	99,51
466	<i>Undervoltage</i>	311,7	82,02	375,1	98,72
468	<i>Undervoltage</i>	323,6	85,16	376,4	99,06