

Pengaruh Kedip Tegangan dan Koordinasi Rele Arus Lebih pada Pabrik Semen

M. Wildan Nasution Sabara, Teguh Yuwono, dan Ontoseno Penangsang
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: teguh@ee.its.ac.id

Abstrak— Suatu sistem tenaga listrik dikatakan memiliki tingkat keandalan yang tinggi apabila sistem tersebut mampu menyediakan pasokan energi listrik yang dibutuhkan oleh beban secara terus-menerus dan dengan kualitas daya yang baik. Pada kenyataannya, banyak permasalahan-permasalahan yang dihadapi oleh suatu sistem tenaga listrik dalam penyediaan energi listrik secara kontinyu. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan kedip tegangan. Gangguan ini merupakan gangguan transien pada sistem tenaga listrik, yaitu penurunan tegangan sesaat (selama beberapa detik) pada jaringan sistem. Gangguan kedip tegangan ini bisa disebabkan oleh gangguan hubung singkat pada sistem dan adanya perubahan beban secara mendadak misalkan pengasutan motor induksi. Penurunan tegangan pada sistem ini akan dapat menyebabkan gangguan pada peralatan yang lainnya. Selain itu, penurunan tegangan yang terjadi dapat menyebabkan terganggunya kinerja peralatan pengaman jaringan seperti beroperasinya sistem rele undervoltage yang akan menyebabkan pemutusan suplai tegangan pada jaringan sistem. Oleh karena itulah kedip tegangan sangat perlu diperhitungkan untuk mendapatkan keandalan sistem tenaga listrik yang baik.

Kata Kunci—Kedip tegangan, koordinasi, rele arus lebih, rele undervoltage.

I. PENDAHULUAN

TERSEDIANYA penyaluran energi listrik yang kontinyu pada suatu kawasan industri sangat penting karena akan menghindarkan perusahaan tersebut dari kerugian produksi atau *loss of production* yang secara finansial akan sangat merugikan perusahaan.

Pada kenyataannya, banyak permasalahan-permasalahan yang dihadapi oleh suatu sistem tenaga listrik dalam penyediaan energi listrik secara kontinyu. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan kedip tegangan (*voltage sag*). Gangguan ini merupakan gangguan transien pada sistem tenaga listrik, yaitu penurunan tegangan sesaat (selama beberapa detik) pada jaringan sistem.

Kedip tegangan dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu : pertama, adanya gangguan hubung singkat pada jaringan tenaga listrik itu sendiri; kedua, adanya perubahan beban secara mendadak (seperti : switching beban dan pengasutan motor induksi)[1]. Penurunan tegangan pada sistem ini akan peralatan-peralatan yang peka terhadap fluktuasi tegangan. Koordinasi pengaman sangat diperlukan untuk mengatasi gangguan tersebut, sehingga gangguan tersebut bisa dilokalisasi dari sistem yang sedang beroperasi[2].

II. KUALITAS TEGANGAN DAN SISTEM PENGAMAN TENAGA LISTRIK

A. Kualitas Tegangan

Tegangan harus konstan supaya kualitas daya di pabrik tetap baik. Tetapi pada kenyataannya tegangan tidak selalu konstan, di mana suatu saat tegangan naik dan suatu saat tegangan turun.

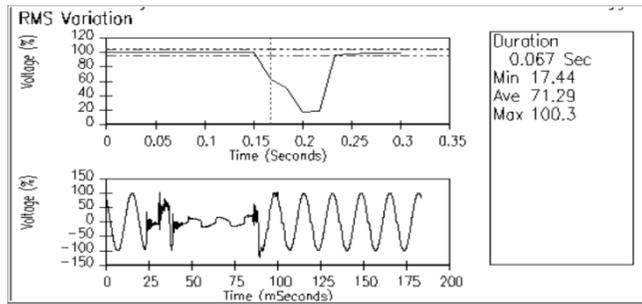
1. Penyimpangan tegangan dalam waktu lama (*Long Duration Voltage Vanations*).
Penyimpangan tegangan dalam waktu yang lama adalah penyimpangan tegangan yang terjadi dalam waktu lebih dari satu menit. Ada 3 hal yang menyebabkan terjadinya penyimpangan tegangan dalam waktu yang lama, yaitu:
 - a. Tegangan lebih (*Overvoltage*)
 - b. Drop tegangan (*Voltage drop*)
 - c. Pemutusan secara terus menerus (*sustained interruption*)
2. Penyimpangan tegangan dalam waktu singkat (*Short Duration Voltage Vanations*). Meliputi :
 - a. Pemutusan (*interruption*)
 - b. Kedip Tegangan (*Voltage sags*)
 - c. Tegangan *swell* (*voltage swell*)

B. Kedip Tegangan

Salah satu persoalan terbesar mengenai kualitas daya sekarang ini adalah *voltage sag*. Gangguan ini merupakan gangguan dengan waktu singkat. Besarnya jatuh tegangan dan durasi yang termasuk dalam kategori *voltage sag* adalah 0.1 sampai 0.9 pu selama 0.5 siklus sampai 1 menit. Pada umumnya kedip tegangan ini disebabkan oleh dua hal yaitu karena terjadinya hubung singkat dan karena adanya pengasutan beban yang kapasitasnya cukup besar.

Dari gambar 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan dari yang awalnya 100% tegangan RMS menjadi sekitar 71% tegangan RMS selama 0.067 detik.

Setiap gangguan yang terjadi akan memberikan dampak yang berbeda-beda, termasuk mengenai dampaknya pada durasi gangguan *voltage sag* [3].



Gambar. 1. Contoh Kedip Tegangan

C. Jenis Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

Untuk mengatasi akibat-akibat negatif dari berbagai macam gangguan-gangguan tersebut di atas, maka diperlukanlah rele pengaman. Maksud dari sistem tenaga listrik sendiri adalah untuk menghasilkan dan menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem tersebut harus dirancang dan dikendalikan untuk pengiriman energinya ke pengguna secara handal dan ekonomis. Keperluan akan sistem tenaga listrik yang handal dan ekonomis tidak dapat dielakkan. Banyak peralatan sistem tenaga listrik yang harganya sangat mahal dan sistem yang begitu rumit menggambarkan betapa banyaknya modal yang harus dikeluarkan. Biaya akan cepat kembali jika sistem tersebut dalam penggunaannya memungkinkan pengaman dan keandalan sistem yang terjamin.

Rele merupakan bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memberikan sinyal kepada *circuit breaker* (CB), supaya dapat memutuskan atau menghubungkan pelayanan penyaluran pada elemen sistem tenaga listrik. Rele ini akan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* untuk memutuskan sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan.

Pada dasarnya rele proteksi terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak. Elemen operasi menerima masukan arus dari transformator arus ataupun tegangan dari *transformator* tegangan atau kombinasi dari keduanya.

Dalam beberapa kasus rele melakukan pengukuran atau perbandingan operasi dasar input dan mengubahnya dalam bentuk gerakan kontak. Keadaan keluaran dari rele adalah menutup (*close*) dan ditahan (*block*). Jika keadaan tertutup maka rele akan meberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari *circuit breaker* dimana pada gilirannya akan mengisolasi gangguan dari bagian sistem tenaga listrik lain yang sehat.

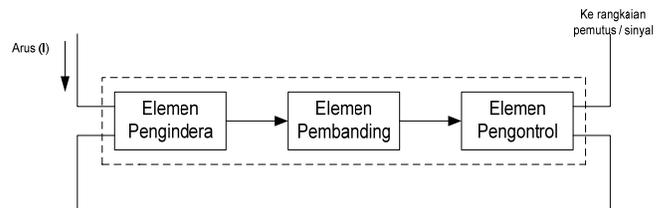
Didalam penyetelan sebuah rele harus dilakukan dengan benar agar tidak terjadi kesalahan operasi pada saat terjadi gangguan. Oleh karena itu hal-hal yang mempengaruhi dalam penyetelan rele harus benar-benar diperhatikan[4].



Gambar. 2. Skema konsep kerja rele

D. Elemen Dasar Rele Pengaman

Rele pengaman biasanya dipisahkan jadi tiga elemen dasar, antara lain[4] :



Gambar. 3. Bagian Elemen Dasar Rele Pengaman

Elemen pengindera berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung rele yang digunakan. Pada elemen ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya apakah keadaan yang diproteksi mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal yang untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen perbandingan. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindera adalah transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT).

Elemen perbandingan berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindera untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran yang *disetting* pada rele. Komponen yang berfungsi sebagai elemen perbandingan ini adalah rele, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari elemen pengindera dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dan kerja rele.

Elemen pengontrol berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka *circuit breaker* atau memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai elemen kontrol adalah kumparan penjatuh (*trip-coil*).

III. METODOLOGI

A. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi tegangan menengah dapat dilakukan sebagai berikut :

- a. Gangguan hubung singkat tiga fasa[5]

$$I_{hs\ 3\phi} = \frac{V_N}{Z_1} \dots\dots\dots(1)$$

- b. Gangguan hubung singkat fasa – fasa[5]

$$I_{hs\ 2\phi} = \frac{\sqrt{3} V_N}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(2)$$

Z_1 dan Z_2 masing- masing merupakan impedansi urutan positif dan negatif yang mempunyai besaran nilai yang sama, maka didapatkan :

$$I_{hs\ 2\phi} = \frac{\sqrt{3} V_N}{2 Z_1} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : V_N adalah tegangan fasa to netral

B. Kapasitas Pembangkitan

Sistem kelistrikan pada *plant* dilayani oleh 4 (empat) pembangkit sendiri dengan kapasitas daya untuk generator G1 sebesar 25 MW, generator G2 sebesar 25MW, generator G3

sebesar 1063 kW dan generator G4 sebesar 425 kW. Tetapi pada kondisi normal generator yang beroperasi hanya generator G1 dan G2. Selain itu *plant* juga disuplai dari *utility* PLN tapi dalam keadaan normal *utility* PLN tersebut bersifat *normally open*.

Tabel 1.
Kapabilitas Pembangkitan Semen Tonasa IV

No.	ID	MW	Keterangan
1	G1	25	31.25 MVA, 6.3 kV, pf 80%, NC
2	G2	25	31.25 MVA, 6.3 kV, pf 80%, NC
3	G3	1.063	1.328 MVA, 6.3 kV, pf 80%, NO
4	G4	0.425	0.531 MVA, 0.4 kV, pf 80%, NO
5	Utility PLN	-	500MVAsc, 70 kV, NO

C. Rating Tegangan

Pada *plant* yang di analisa terdapat lima rating tegangan yang digunakan, yaitu :

1. Sistem tegangan 70 kV
Sistem tegangan ini berada di daerah bus PLN, Mainbus, dan Bus RS23.
2. Sistem Tegangan 6.3 kV
Sistem tegangan inilah yg menyulang seluruh composite network yang antara lain, Area 1, Area 2 dan Area 3.
3. Sistem tegangan 3.3 kV
Sistem tegangan ini untuk menyuplai motor 2 buah yang masih-masing sebesar 1815 kW.
4. Sistem tegangan 0.66 kV
5. Sistem tegangan 0.4 kV

D. Data Beban

Pada *plant* yang dianalisa secara garis besar terdiri dari tiga area pembebanan yang secara normal disuplai dari 3 feeder yang berbeda. Area tersebut antar antara lain area 1, area 2 dan Area 3.

Pada area yang pertama yaitu area 1 merupakan area dimana bahan baku semen mulai diproses. Bahan baku hasil penambangan yang masih dalam bentuk bongkahan-bongkahan dibawa ke area ini untuk dihancurkan dan digiling. Beberapa peralatan yang ada di area ini antara lain *crusher*, *raw mill*, dan *Raw mill fan*.

Tabel 2.
Data Beban Area 1

No	ID	Daya (kW)
1	Mtr-A1-01	1800
2	Lump-A1-01	545
3	Lump-A1-02	243
4	Mtr-A1-02	2650
5	Mtr-A1-03	3280
6	Lump-A1-03	905
7	Lump-A1-04	1103
8	Mtr-A1-04	356
9	Mtr-A1-05	132

Selanjutnya adalah area 2 dimana area ini merupakan lanjutan dari proses pada area 1. Area ini merupakan area unit pembakaran dari proses pembuatan semen atau disebut *clinker manufacture*. Didalam area ini terdapat beberapa beban yang antara lain: *Preheater*, *kiln mill*, *coal mill*, dan *clinker cooler*.

Tabel 3.
Data Beban Area 2

No	ID	Daya (kW)
1	Mtr-A2-01	540
2	Mtr-A2-02	540
3	Mtr-A2-03	650
4	Lump-A2-01	840
5	Lump-A2-02	655
6	Mtr-A2-04	1815
7	Mtr-A2-05	1815
8	Mtr-A2-06	630
9	Mtr-A2-07	630
10	Lump-A2-03	285
11	Mtr-A2-08	315
12	Mtr-A2-09	600
13	Lump-A2-04	1099
14	Lump-A2-05	1366
15	Mtr-A2-10	700
16	Mtr-A2-11	725
17	Lump-A2-06	1458.6
18	Lump-A2-07	417.6
19	Lump-A2-08	37.4
20	Lump-A2-09	416
21	Lump-A2-10	29
22	Lump-A2-11	115.2
23	Lump-A2-12	96.5
24	Lump-A2-13	30.24

Area yang terakhir adalah area 3. Area ini merupakan tempat dimana proses akhir dari produksi semen berlangsung. *Klinker* yang sudah didinginkan akan di lewatkan ke tempat penggilingan akhir untuk di haluskan lagi.

Selain itu di area ini terdapat CCR (*Central Control Room*) yang merupakan ruang untuk memantau segala kegiatan dalam produksi semen.

Tabel 4.
Data Beban Area 3

No	ID	Daya (kW)
1	Mtr-A3-01	3250
2	Mtr-A3-02	3250
3	Mtr-A3-03	500
4	Mtr-A3-04	55
5	Lump-A3-01	1362
6	Lump-A3-02	512
7	Mtr-A3-05	3250
8	Mtr-A3-06	3250
9	Mtr-A3-07	500
10	Lump-A3-03	1214
11	Lump-A3-04	923

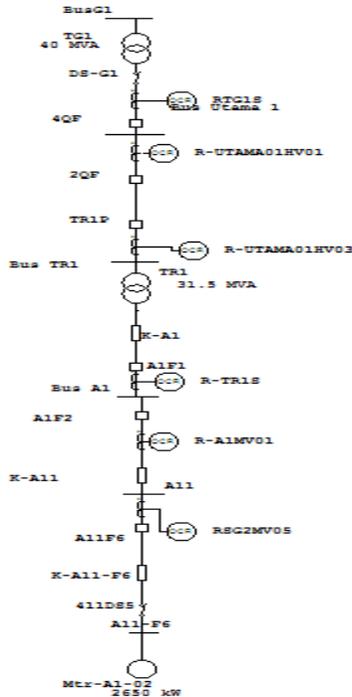
IV. ANALISA HASIL

A Analisis Gangguan Hubung Singkat

Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan dua konfigurasi yang mewakili hubung singkat minimum dan maksimum, yaitu :

- a. Hubung singkat minimum : pada saat generator G1, G2 beroperasi sedangkan generator G3 dan G4 off
- b. Hubung singkat minimum : pada saat semua generator hidup.

B. Setting Rele untuk Motor Mtr-A1-02 hingga Generator G1 (Tipikal 1)



Gambar. 4. Single line diagram tipikal 1

Dengan dipilihnya tipikal diatas maka didapatkan arus hubung singkat untuk masing – masing bus:

Tabel 5.

Nilai arus hubung singkat Tipikal 1

No	Bus	kV	I _{sc} max 4 cycle (A)	I _{sc} max 30 cycle (A)	I _{sc} min 30 cycle (A)
1	A11-F6	6.3	20139	11448	10227
2	A11	6.3	21751	11793	10734
3	A1	6.3	21785	12011	10748
4	busTR1	70	3928	2026	1868
5	Bus Utama 1	70	3928	2026	1868
6	Bus G1	6.3	40578	23742	22507

• Rele RSG2MV05

- Jenis Rele : 7SJ622
- Kurva : IEC SI
- I_{sc} min 30 cycle bus A11-F6 : 10227 A
- I_{sc} max 4 cycle bus A11-F6 : 20139 A
- FLA : 381.7 A
- CT : 630/1

Current setting IDMT (I_>)

$$\frac{1.05 \times FLA}{nCT} \leq I_{ps} \leq 0.8 I_{sc \text{ min}}$$

$$\frac{1.05 \times 381.7}{630/1} \leq I_{ps} \leq 0.8 \times 10227$$

$$0.636 \leq I_{ps} \leq 13.99$$

Tap current setting dipilih 0.7 A

Actual setting I_{set} = 0.7 x 630 = 441 A

Time Setting IDMT (Time Dial)

Waktu yg diinginkan : 0.15 s

I_{set} = 441 A

$$I = \frac{I_{sc \text{ min}} \text{ 4 cycle bus SG - 2F6}}{I_{set}} = 45.67$$

$$t_s \leq T \times \left[\frac{k}{I - I_{set}} \right]$$

$$0.15 \leq T \times \left[\frac{0.14}{1.08 - 1} \right]$$

$$T \geq 0.086$$

$$T_{set} = 0.2$$

Current setting High Set (I_{>>})

$$I_{ps} \leq \frac{0.8 I_{sc \text{ min SG2}}}{nCT}$$

$$I_{ps} \leq 13.99$$

Tap current setting = 4 A

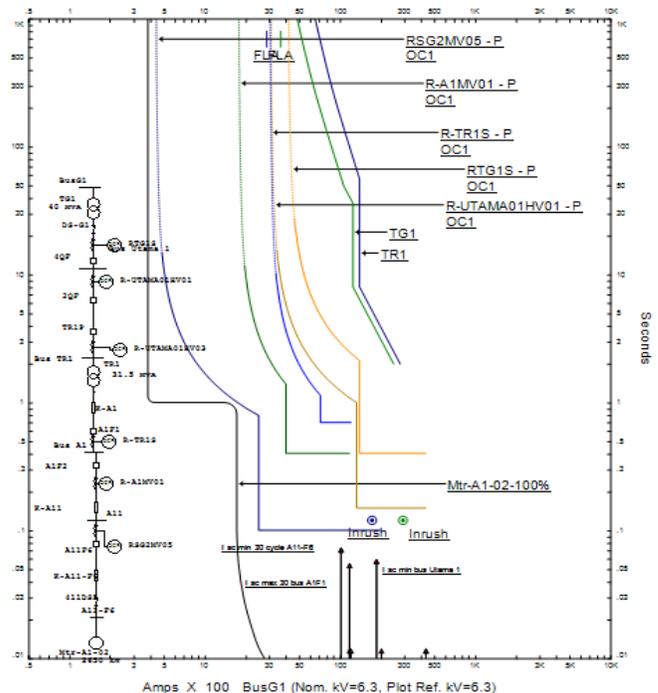
setting waktu (t_{>>}) = 0.15

Rele ini digunakan untuk mengamankan motor Mtr-A1-02 terhadap kemungkinan terjadinya arus hubung singkat di bus A11-F6. Untuk setting lowsetnya menggunakan FLA dari motor dan untuk setting highsetnya menggunakan arus hubung singkat minimum pada bus A11- F6 menggunakan kurva inverse dengan grading waktu 0.15 s.

Dengan perhitungan yang sama didapatkan setting untuk masing-masing rele pada tipikal 1 adalah sebagai berikut[6]:

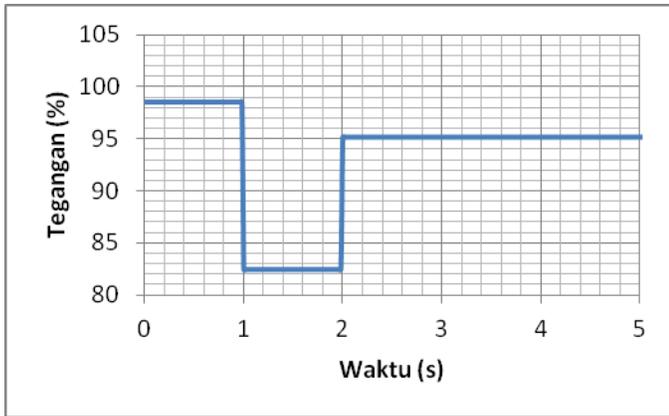
Tabel 6.
Setting Rele Arus Lebih Tipikal 1

Rele	CT ratio	Curve	Tap	Time Dial	Ins.	t _{>>}
RSG2MV05	630/1	SI	0.7	0.2	4	0.1
R-A1MV01	2000/1	SI	0.9	0.16	2	0.4
R-TR1S	3600/1	SI	0.85	0.14	2	0.7
RUTAMA01HV01	400/1	SI	0.7	0.21	3	0.15
RTGIS	630/1	SI	0.6	0.37	2	0.4



Gambar. 5. Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

C. Kedip Tegangan Karena Pengasutan Motor



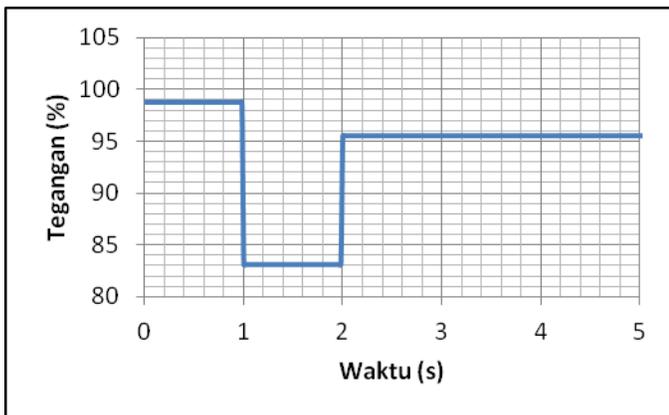
Gambar. 6. Kedip Tegangan pada Bus A11-F6 Tanpa Penambahan Generator Cadangan

Gambar 6 menunjukkan besarnya kedip tegangan yang terjadi pada bus A11-F6 tapi pada kondisi tipikal 1 saat motor starting tanpa menambahkan generator cadangan ke dalam sistem. Besarnya nilai tegangan pada bus A11-F6 yaitu sebesar 82.5% dari rating tegangannya dan durasi 0.98 detik.

Tabel 7.

Kedip Tegangan Tipikal 1 Tanpa Penambahan Generator Cadangan

No.	Bus	Kedip Tegangan (%)	Durasi (s)
1	A11-F6	17.5	0.98
2	A11	17.5	0.98



Gambar. 7. Kedip Tegangan pada Bus A11-F6 Dengan Penambahan Generator Cadangan

Gambar 7 menunjukkan besarnya kedip tegangan yang terjadi pada bus A11-F6 saat motor starting dengan menambahkan generator cadangan ke dalam sistem. Besarnya nilai tegangan pada bus A11-F6 sedikit berbeda dengan sebelum ditambahkan generator cadangan yaitu sebesar 83% dari rating tegangannya dan durasi 0.98 detik.

Tabel 7.

Kedip Tegangan Tipikal 1 Dengan Penambahan Generator Cadangan

No.	Bus	Kedip Tegangan (%)	Durasi (s)
1	A11-F6	17	0.98
2	A11	16.9	0.98

Dari dua kondisi tersebut maka didapat setting rele undervoltage untuk tipikal 1 saat pengasutan motor adalah[7]:

Tabel 8.

Setting Rele Undervoltage Karena Pengasutan Motor Untuk Tipikal 1

No.	Bus	Pick Up (%)	Waktu (s)
1	A11-F6	80	1.3
2	A11	80	1.7

V. KESIMPULAN

Dalam analisa kedip tegangan, hal yang perlu diperhatikan yaitu setting pick-up rele undervoltage harus lebih kecil dari nilai rating tegangan pada bus saat terjadi kedip tegangan.

Saat starting motor Mtr-A1-02 tanpa penambahan generator cadangan, terjadi kedip tegangan pada bus A11-F6 sebesar 17.5% dengan durasi 0.98 detik. Sehingga setting pick-up rele undervoltage pada bus A11-F6 saat motor starting yaitu 80% dengan kelambatan waktu 1.3 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi Pawawoi, "Analisis Kedip Tegangan (voltage sags) akibat pengasutan motor induksi dengan berbagai metode pengasutan studi di PT. Abasiat Raya," *Teknika Unand*, Vol. 32, No. 1 (2009) 49-56.
- [2] R Wahyudi, Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik, Surabaya: ITS (2008).
- [3] Ontoseno Penangsang, Diktat kuliah Analisa Sistem Tenaga, Surabaya: ITS (2008).
- [4] Donald Reimert, "Protective Relaying for Power Generation System", USA: CRC Press (2006).
- [5] Irwin Lazar, *Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants*, USA: McGraw-Hill Book Company (1980).
- [6] Abdoel Rosyid, "Studi Koordinasi Pengaman Rele Arus Lebih Akibat Adanya Proses Integrasi Sistem Kelistrikan Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java desa Mudi-Tuban," Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2011).
- [7] Cristophe Preve, *Protecton of Electrical Network*, USA: ISTE Ltd. (2006).