

ANALISA PENGARUH KOORDINASI PERALATAN PROTEKSI TERHADAP KARAKTERISTIK VOLTAGE SAG DI PT. PUPUK KALTIM (PKT) BONTANG

Arif Rakhman Prayuga, IGN Satriyadi Hernanda, dan Margo Pujiantara
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
didit@ee.its.ac.id

Abstrak—Program paket merupakan software simulasi transien pada sistem tenaga yang digunakan untuk menganalisa pengujian jaringan listrik di industri pada kondisi saat gangguan. Untuk meneliti karakteristik *voltage sag* pada sistem jaringan listrik di industri dalam kondisi saat gangguan, digunakan dua metode untuk koordinasi peralatan proteksi. Keluaran dari hasil simulasi berupa kurva transien tegangan terhadap durasi waktu gangguan yang merupakan karakteristik *voltage sag*. Kurva hasil simulasi ini dievaluasi dengan kurva standar CBEMA, ITIC, dan SEMI yang telah distandarkan untuk performa jaringan. Hasil simulasi hubungan singkat 3 fasa di titik *Fault 2* menyebabkan tegangan sisa sebesar 88,4 % di tiap fasa, hubungan singkat 1 fasa ke tanah sebesar 81,4 % di fasa A, 98,6 % di fasa B, dan 96,2 % di fasa C, hubungan singkat antar fasa sebesar 92,6 % di fasa A, 105,9 % di fasa B, 87,6 % di fasa C. Metode kedua yaitu dengan CB atau pemutus dari hasil evaluasi simulasi didapatkan durasi gangguan yang lebih kecil dari metode pertama yaitu tanpa peralatan proteksi.

Kata kunci: koordinasi peralatan proteksi, kurva standar, program paket, *voltage sag*.

I. PENDAHULUAN

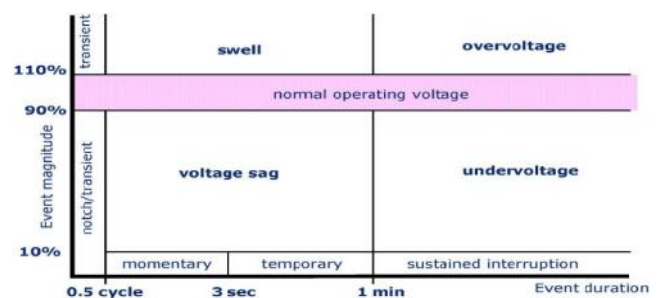
Seiring berkembangnya teknologi dalam sistem tenaga listrik, maka kualitas daya menjadi perhatian yang utama pada sistem kelistrikan khususnya di industri. Pada kenyataannya, banyak permasalahan yang dihadapi suatu sistem kelistrikan di industri dalam menjaga kualitas daya. Hal ini dikarenakan semakin besar suatu sistem, maka semakin besar kemungkinan terjadi gangguan pada sistem, dan semakin besar kerugian yang dapat terjadi. Permasalahan kualitas daya umumnya merupakan dampak dari penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan atau kesalahan operasi pada peralatan industri. Penyimpangan ini dapat disebabkan oleh gangguan di jaringan, baik hubungan singkat pada sistem, kenaikan arus dan beban secara mendadak, maupun kegagalan kerja peralatan industri. Variasi amplitudo tegangan dan frekuensi bisa menyebabkan kegagalan pada peralatan industri, yang berpengaruh pada kerugian waktu dan kerugian ekonomis. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah *voltage sag* atau dip tegangan. Gangguan ini merupakan gangguan transien yang berupa penurunan tegangan sementara dalam waktu relatif singkat, yang dapat disebabkan karena hubungan singkat pada distribusi tenaga listrik.

Voltage sag yang terjadi di jaringan tergantung pada besarnya gangguan dan durasi yang dibahas dalam artikel ini dengan menggunakan program paket. Karakteristik *voltage sag* pada beban disimulasikan sebagai efek dari titik dan jarak gangguan terhadap beban ditegangan rendah dan koordinasi peralatan proteksi dalam mengatasi gangguan di jaringan tegangan menengah.

II. VOLTAGE SAG

A. Pengertian Voltage Sag

Mengacu pada IEEE Standard 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, *voltage sag* atau dip tegangan didefinisikan sebagai penurunan tegangan rms sebesar 10% hingga 90% untuk nilai amplitudo selama 0,5 cycle hingga kurang dari satu menit [1].



Gambar 1. Definisi Peristiwa Tegangan Berdasarkan IEEE 1159-1995[1]

B. Sumber Voltage Sag

Voltage sag umumnya disebabkan oleh gangguan hubungan singkat (*short circuit*) pada jaringan sistem tenaga dan proses *switching*, baik dari peralatan pengaman, maupun *starting* beban berdaya besar. Gangguan lain dapat disebabkan oleh hewan pada jaringan, pohon jatuh yang mengenai tiang listrik, atau petir yang menyambar kawat. Pada kasus manapun, konsumen akan tetap mengalami *voltage sag* selama periode tersebut [2].

C. Pengaruh Voltage Sag

Voltage sag memiliki pengaruh yang besar terhadap beban listrik konsumen terutama peralatan elektronik yang sensitif terhadap perubahan tegangan. Pengaruh *voltage sag* akibat gangguan hubungan singkat adalah sebagai berikut [3]:

- Komputer dan jenis lain dari komputasi elektronik dapat kehilangan memori dan *restart* membutuhkan waktu yang lama, jika *voltage sag* mencapai kurang dari 50 %.
- Pada industri, proses produksi akan berhenti untuk *voltage sag* sampai dengan 65 % dan penerangan akan berkedip.

Karakteristik operasi beberapa peralatan listrik terhadap variasi tegangan adalah sebagai berikut [4]:

- Rangkaian *relay* dan kontaktor akan trip pada tegangan dibawah 70 % dari tegangan nominal.
- Lampu *fluorescent* dan lampu *discharge* intensitas tinggi (HID) akan padam pada tegangan dibawah 80 % dalam waktu beberapa *cycle*, sedangkan waktu penyalaan kembali akan memerlukan waktu yang cukup lama terutama HID.

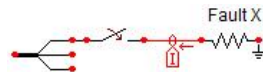
III. PEMODELAN SISTEM

A. Penentuan Parameter Simulasi Sistem

Parameter yang digunakan pada simulasi yaitu sebagai berikut [5]:

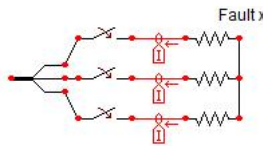
- a. Lokasi Gangguan
Gangguan dapat terjadi dititik manapun pada jaringan distribusi. Dengan panjang penghantar dan kondisi beban sepanjang jaringan maka lokasi gangguan berupa hubung singkat pada simulasi digunakan 3 titik gangguan yaitu *Fault1*, *Fault2*, dan *Fault3*.
- b. Resistansi Gangguan
Resistansi gangguan tergantung pada lokasi gangguan. Pada artikel ini, resistansi gangguan dipilih dengan nilai normal resistansi jaringan distribusi sekitar 5 ohm dan standar deviasi 1.
- c. Waktu Mulai Gangguan
Sama dengan lokasi gangguan, waktu gangguan dapat terjadi kapan saja. Pada artikel ini dipilih dengan nilai yang sama yaitu 0,05 detik.
- d. Durasi Gangguan
Berdasarkan studi *voltage sag* pada jaringan distribusi, 3 durasi gangguan digunakan untuk simulasi, yaitu 200 ms, 600 ms, dan 1 s.
- e. Tipe Gangguan
Tiga tipe gangguan yang digunakan untuk simulasi sistem :

1. Gangguan 1 Fasa ke Tanah



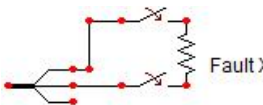
Gambar 2. Gangguan 1 Fasa ke Tanah

2. Gangguan 3 Fasa



Gambar 3. Gangguan 3 Fasa

3. Gangguan Antar Fasa



Gambar 4. Gangguan Antar Fasa

B. Pemodelan Parameter Simulasi Sistem

1. Sumber Tegangan

Sumber tegangan AC yang akan dimodelkan adalah sumber tegangan dari daya yang masuk ke *feeder* di jaringan listrik PT. Pupuk Kaltim (PKT) Bontang khususnya Kaltim 1A, Kaltim 1B, Kaltim 2, dan Kaltim 3.

2. Transformator

Dengan mengambil transformator T 1513-2 sebagai contoh penghitungan, selanjutnya akan diketahui seluruh nilai pada transformator. Transformator T 1513-2 memiliki kapasitas daya 1000 kVA, tegangan primer 6,6 kV, tegangan sekunder 0,38kV, dengan data impedansi transformator distribusi sebesar 5 %, dapat di peroleh nilai R dan L pada sisi sekunder transformator.

$$Z_{base} = \frac{V^2}{S} \tag{1}$$

$$Z = 5\% \times Z_{base} \tag{2}$$

$$\mu = \tan^{-1} \times X/R \tag{3}$$

$$R_s = Z \times \cos \mu \tag{4}$$

$$X_L = Z \times \sin \mu \tag{5}$$

Dengan menggunakan 50 Hz sebagai nilai frekuensi yang digunakan sistem, maka dapat dicari nilai L_s dengan rumus :

$$L_s = \frac{X_L}{2ff_L} \tag{6}$$

Dengan tegangan pada sisi primer adalah 6,6 kV, maka tegangan puncak sisi primer adalah :

$$V_{rp} = 6,6 \times \sqrt{2} = 9,33kV \tag{7}$$

Tegangan sisi sekunder adalah 380 V *line to line*, maka tegangan puncak sisi sekunder adalah :

$$V_{rs} = 380 \times \sqrt{2/3} = 0,31kV \tag{8}$$

3. Kawat Saluran

Contoh perhitungan pada kawat *Cable46* yang menghubungkan transformator T67 di Kaltim 1A yang berjarak 900 meter, resistivitas kawat dengan inti tembaga memiliki $\rho = 1,724 \times 10^{-8}$, diameter penampang kawat adalah 240mm², dan jari-jari kawat $r = 0,001125$ meter. Dari data dapat diketahui nilai R dan L kawat dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \tag{9}$$

$$L = 0,2l \left\{ \ln \frac{2l}{r} - 1 \right\} \tag{10}$$

4. Beban

Besarnya beban *LUMP* 41250 kVA (83,33 kVA per fasa), dengan *power faktor* 0,8. Untuk permodelan digunakan data per fasa untuk tiap beban pada transformator distribusi. Dibutuhkan nilai resistansi dan induktansi yang dapat diketahui dengan mencari nilai P dan Q terlebih dahulu, sebagai berikut :

$$P_{1fasa} = S \times \cos \mu \tag{11}$$

$$Q = P \times \tan(\cos^{-1} \mu) \tag{12}$$

Dari nilai P dan Q per fasa dapat diketahui nilai resistansi dan induktansi beban dengan persamaan :

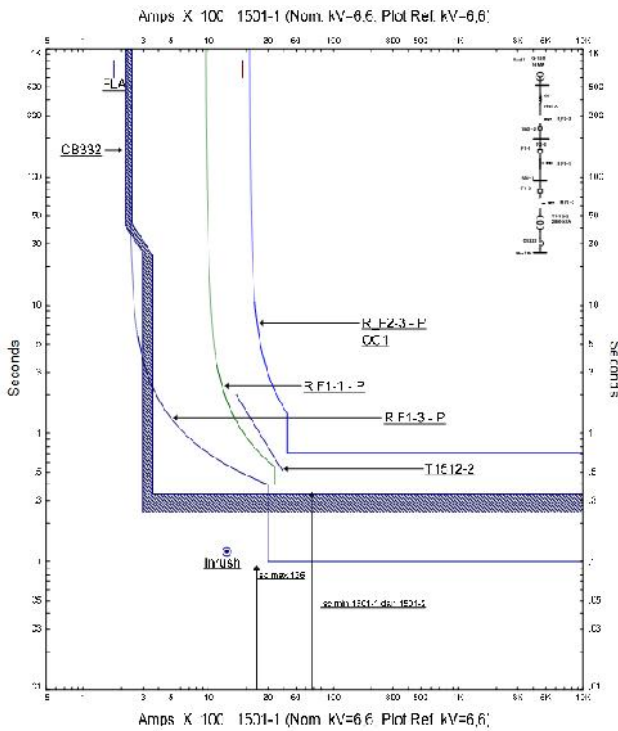
$$X_L = \frac{V^2}{Q} \tag{13}$$

Maka didapat nilai L dengan rumus :

$$L = \frac{X_L}{2ff_L} \tag{14}$$

$$R = \frac{V^2}{P} \tag{15}$$

Simulasi dilakukan dengan melihat kondisi beban di jaringan listrik PT. Pupuk Kaltim (PKT) Bontang khususnya Kaltim 1A, Kaltim 1B, Kaltim 2, dan Kaltim 3, akibat gangguan dan respon proteksi pada jaringan sistem itu sendiri. Metode koordinasi peralatan proteksi digunakan untuk mengurangi durasi gangguan yang dirasakan beban lain yang tidak terkena gangguan. Gambar 5 menunjukkan kurva karakteristik arus terhadap waktu dari peralatan proteksi CB 332 di Kaltim 1A yang digunakan pada simulasi.



Gambar 5. Kurva Karakteristik Arus-Waktu CB 332 di Kaltim 1A

Untuk meneliti karakteristik *voltage sag* di jaringan saat kondisi gangguan digunakan 2 metode koordinasi peralatan proteksi untuk simulasi, yaitu :

1. Simulasi tanpa peralatan proteksi
2. Simulasi hanya dengan pemutus atau CB

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Simulasi Sistem Tanpa Gangguan

Dengan memasang *probe* tegangan di 2 titik sepanjang *feeder* Kaltim 1A, 3 titik di sepanjang *feeder* Kaltim 1B, dan 1 titik di sepanjang *feeder* Kaltim 2, dan Kaltim 3, kemudian nilai tegangan keluarannya akan dibandingkan dengan titik sumber tegangan, maka dapat dilihat dan diketahui nilai *drop* tegangan dari sumber hingga ujung beban.

Tabel 1.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 6,6 kV Kaltim 1A

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
1.	9333,8	9333,8	0	0
2.	9333,8	9308	25,8	0,3

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

Tabel 2.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 6,6 kV Kaltim 1B

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
1.	9333,8	9333,8	0	0
2.	9333,8	9308	25,8	0,3
3.	9333,8	9304,8	29	0,3

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

Tabel 3.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 11 kV Kaltim 2

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
1.	15556,3	15556,3	0	0

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

Tabel 4.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 11 kV Kaltim 3

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
1.	15556,3	15556,3	0	0

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

Pada jaringan tegangan rendah *probe* tegangan dipasang di sisi sekunder trafo distribusi untuk beberapa titik beban. Dipasang *probe* tegangan di 3 titik beban jaringan Kaltim 1A, di 4 titik beban jaringan Kaltim 1B, dan di 3 titik beban jaringan Kaltim 3 dengan asumsi *level* tegangan padabeban.

Tabel 5.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 0,38 kV Kaltim 1A

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
Load9	537,4	535,54	1,86	0,3
Load5	537,4	534,59	2,81	0,5
Load1	537,4	533,82	3,58	0,6

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

Tabel 6.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 0,38 kV Kaltim 1B

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
Load7	537,4	536,15	1,25	0,2
LUMP41	537,4	534,51	2,89	0,5
LUMP42	537,4	533,65	3,75	0,7
LUMP48	537,4	533,38	4,02	0,7

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

Tabel 7.
Nilai *Drop* Tegangan Jaringan 0,525 kV Kaltim 3

No. Titik	Kondisi Normal (Vpeak I-I)	Tegangan (Vpeak I-I)	Selisih Tegangan (V)	% Drop Tegangan
LUMP32	742,46	740,82	1,64	0,22
LUMP36	742,46	740,42	2,04	0,27
LUMP38	742,46	740,42	2,04	0,27

$(V_{peak} = V_{rms} \times \sqrt{2})$

B. Simulasi Sistem Dengan Gangguan

1. Metode Pertama Simulasi Tanpa Peralatan Proteksi

Metode pertama bertujuan untuk menunjukkan perilaku sistem tenaga dan respon peralatan sensitif terhadap *voltage sag* ketika tidak ada peralatan proteksi yang terpasang. Pada metode ini dapat dilihat bentuk gelombang dan nilai tegangan hasil simulasi pada 3 titik gangguan di jaringan.

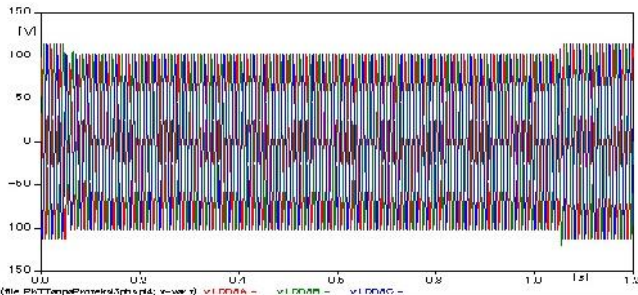
- Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa

Pada titik ini nilai penurunan tegangan pada tiap fasa yaitu fasa A, fasa B dan fasa C sama.

Tabel 8.
Voltage Sag Dirasakan Beban Akibat Gangguan 3Fasa

Titik Fault	Teg. Normal (V)	<i>Voltage Sag</i> (V)	Teg. Sisa (%)
1	537,4	139,87	26
2	114,5	101,2	88,4
3	742,4	670,65	90,3

(Ket: Kondisi normal tegangan $(V_{peak}) = V_{rms} \times \sqrt{2}$)



Gambar 6. Gelombang Voltage Sag di Fault 2 Durasi 1 s Hubung Singkat 3 Fasa

Pada titik ini nilai penurunan tegangan pada tiap fasa yaitu fasa A, fasa B dan fasa C sama, sebesar $114,5 - 101,2 = 13,3$ V atau sebesar 11,6 % sehingga tegangan sisa pada beban Load6 di Kaltim 1A sebesar 88,4 %. Untuk durasi gangguan 200 ms dan 600 ms nilai penurunan tegangannya sama dengan durasi 1 s, yang berbeda adalah lama waktu gangguan yang dirasakan oleh beban Load6.

- Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Tipe hubung singkat ini merupakan tipe hubung singkat tidak simetri dimana besar tegangan dan arus akibat hubung singkat pada satu fasa menyebabkan perubahan nilai tegangan pada fasa lainnya.

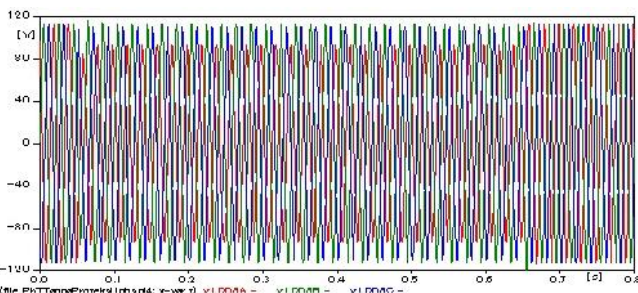
Tabel 9.

Voltage Sag Dirasakan Beban Akibat Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Titik Fault	Voltage Sag (V)			Teg. Sisa (%)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C	Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	139,81	386,46	287,73	26	72	54
2	93,22	112,88	110,19	81,4	98,6	96,2
3	650,55	712,71	710,91	87,6	96,1	95,7

(Ket: Kondisi normal tegangan (V_{peak}) = $V_{rms} \times \sqrt{2}$)

Dari Tabel 9 untuk tegangan normal pada titik Fault 1 sebesar 537,4 V, pada titik Fault 2 sebesar 114,5 V, dan pada titik Fault 3 sebesar 742,4 V.



Gambar 7. Gelombang Voltage Sag di Fault 2 Durasi 600 ms Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Pada simulasi ini fasa yang disimulasikan hubung singkat adalah fasa A pada jaringan. Pada titik ini nilai penurunan tegangan pada tiap fasa yang dirasakan oleh beban Load6 di Kaltim 1A akibat hubung singkat difasa A yaitu fasa A sebesar $114,5 - 93,22 = 21,28$ V atau 18,6 % sehingga tegangan sisa fasa A sebesar 81,4 %, fasa B sebesar $114,5 - 112,88 = 1,62$ V atau 1,4 % sehingga tegangan sisa fasa B sebesar 98,6 %, dan fasa C sebesar $114,5 - 110,19 = 4,31$ V atau 3,8 % sehingga tegangan sisa fasa C sebesar 96,2 %.

- Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa

Pada tipe gangguan ini pada jaringan tiga fasa disimulasikan dengan fasa A dan fasa C yang terhubung singkat.

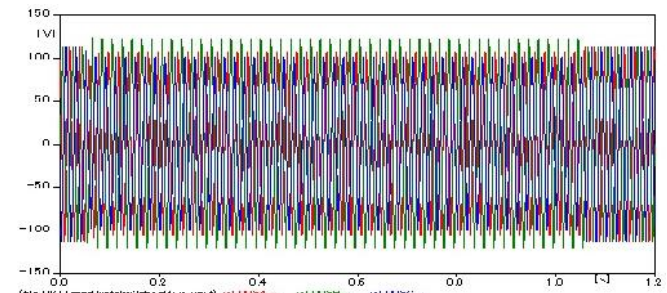
Tabel 10.

Voltage Sag Dirasakan Beban Akibat Gangguan Antar Fasa

Titik Fault	Voltage Sag (V)			Teg. Sisa (%)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C	Fasa A	Fasa B	Fasa C
1	367,86	530,84	305,76	68,5	98,8	56,9
2	106,1	121,33	100,28	92,6	105,9	87,6
3	686,9	755,87	690,66	92,5	101,8	93

(Ket: Kondisi normal tegangan (V_{peak}) = $V_{rms} \times \sqrt{2}$)

Dari Tabel 10 untuk tegangan normal pada titik Fault 1 sebesar 537,4 V, pada titik Fault 2 sebesar 114,5 V, dan pada titik Fault 3 sebesar 742,4 V.



Gambar 8. Gelombang Voltage Sag di Fault 2 Durasi 1 s Hubung Singkat Antar Fasa

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa gangguan hubung singkat adalah fasa A dan C menyebabkan turun tegangan atau voltage sag di jaringan, sedangkan pada fasa B menyebabkan kenaikan nilai tegangan atau voltage swell. Magnitudo voltage sag pada fasa A sebesar $114,5 - 106,1 = 8,4$ V atau 7,4 % sehingga tegangan sisa fasa A pada beban Load6 di Kaltim 1A sebesar 92,6 %, pada fasa C sebesar $114,5 - 100,28 = 14,22$ V atau 12,4 % sehingga tegangan sisa fasa C pada beban Load6 di Kaltim 1A sebesar 87,6 %, dan fasa B naik sebesar $114,5 - 121,33 = 6,8$ V atau 5,9 % sehingga tegangan sisa fasa B pada beban Load6 di Kaltim 1A sebesar 105,9 %.

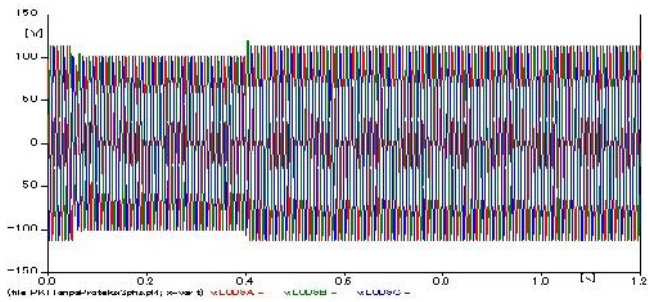
2. Metode Kedua Simulasi Hanya dengan Pemutus atau CB

Pada metode ini digunakan CB sebagai satu-satunya peralatan proteksi di jaringan yang dipasang di feeder pada Kaltim 1A, Kaltim 1B, dan Kaltim 3. Setting arus dan waktu CB trip saat ada gangguan dititik jaringan pada simulasi menggunakan kurva karakteristik arus-waktu CB 332 di Kaltim 1A pada Gambar 5. Arus gangguan yang dirasakan CB dan waktu CB trip bervariasi seiring dengan titik gangguan dan tipe gangguan yang terjadi di jaringan. Pada durasi 200 ms gangguan yang terjadi pada 3 titik di jaringan Kaltim 1A, Kaltim 1B, dan Kaltim 3 serta untuk semua tipe hubung singkat, gangguan tidak direspon trip oleh CB karena durasinya lebih kecil dari $T_{setting}$ CB sebagai contoh berdasarkan kurva karakteristik arus-waktu CB 332 di Kaltim 1A pada Gambar 5. Pada durasi 600 ms dan 1 s, gangguan direspon oleh CB dan waktu CB trip sesuai dengan besar arus gangguan yang terjadi pada masing-masing titik gangguan dan tipe gangguan hubung singkat.

- Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa

Pada kondisi dengan metode ini, pada titik gangguan di Fault 2 semua beban yang ada di jaringan Kaltim 1A

merasakan efek yang sama dengan *Load6* karena tripnya CB 332 dibus 126. Magnitudo *voltage sag* di *Load6* akibat titik gangguan di *Fault 2* sama nilainya dengan metode pertama,

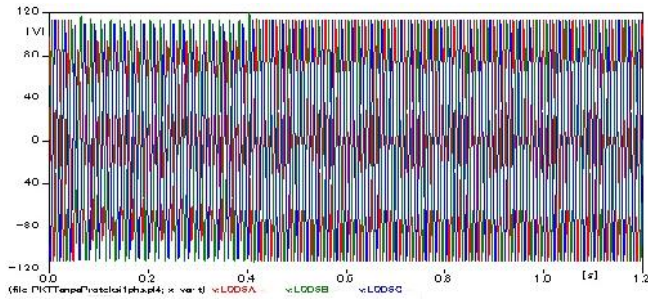


Gambar 9. Gelombang *Voltage Sag* di *Fault 2* Durasi 600 ms dan 1 s Hubung Singkat 3 Fasa

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa *Load6* dan beban lainnya di jaringan Kaltim1A merasakan *voltage sag* dan trip yang sama akibat respon CB 332 di jaringan Kaltim 1A dengan durasi 600 ms dan 1 s. Magnitude arus yang dirasakan oleh CB 332 adalah 2303,5 A sehingga CB akan trip saat 0,4 s.

• Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

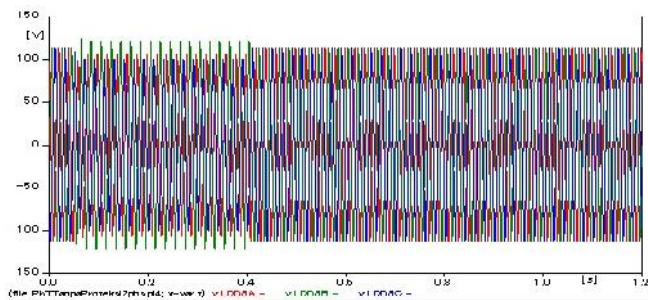
Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa *Load6* dan beban lainnya di jaringan Kaltim1A merasakan *voltage sag* dan trip yang sama akibat respon CB 332 di jaringan Kaltim 1A dengan durasi 600 ms dan 1 s. Magnitude arus yang dirasakan oleh CB 332 adalah 1994 A sehingga CB akan trip saat 0,4 s.



Gambar 10. Gelombang *Voltage Sag* di *Fault 2* Durasi 600 ms dan 1 s Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

• Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa *Load6* dan beban lainnya di jaringan Kaltim1A merasakan *voltage sag* dan trip yang sama akibat respon CB 332 di jaringan Kaltim 1A dengan durasi 600 ms dan 1 s. Magnitude arus yang dirasakan oleh CB 332 adalah 2281,8 A sehingga CB akan trip saat 0,4 s.

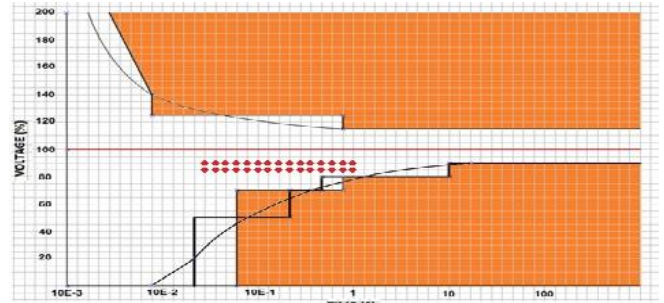


Gambar 11. Gelombang *Voltage Sag* di *Fault 2* Durasi 600 ms dan 1 s Hubung Singkat Antar Fasa

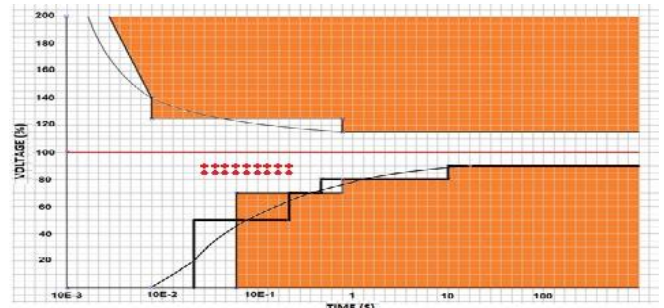
C. Plot Karakteristik *Voltage Sag* pada Kurva CBEMA, ITIC dan SEMI

Durasi dan magnitudo *voltage sag* yang dihasilkan dari simulasi diplot pada kurva standar performa jaringan yaitu CBEMA, ITIC dan SEMI untuk mengetahui perubahan nilai tegangan dan toleransi kondisi *voltage sag* terhadap durasi waktu gangguan akibat gangguan hubung singkat di jaringan.

• Simulasi Hubung Singkat 3 Fasa

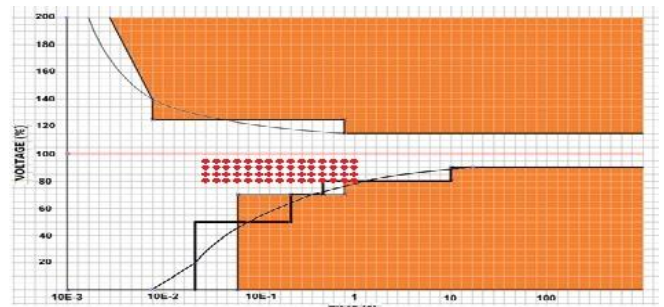


Gambar 12. Plot Kurva Hubung Singkat 3 Fasa di *Fault 2* dan *Fault 3* dengan Metode 1 Durasi 200 ms, 600 ms, dan 1 s pada Kaltim 1A dan Kaltim 3

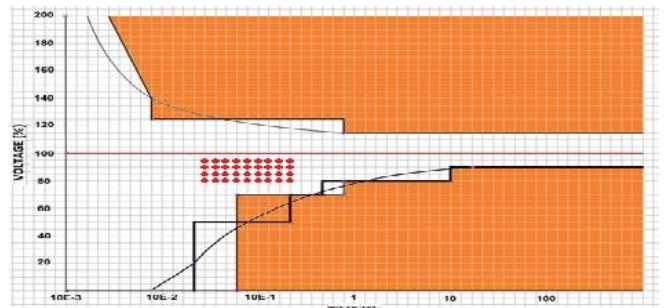


Gambar 13. Plot Kurva Hubung Singkat 3 Fasa di *Fault 2* dan *Fault 3* dengan Metode 2 pada Kaltim 1A dan Kaltim 3

• Simulasi Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

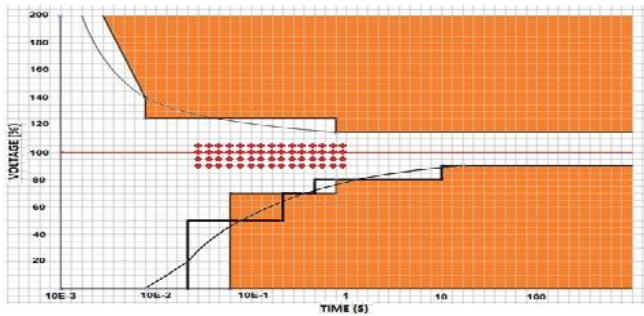


Gambar 14. Plot Kurva Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah di *Fault 2* dan *Fault 3* dengan Metode 1 Durasi 200 ms, 600 ms, dan 1 s pada Kaltim 1A dan Kaltim 3

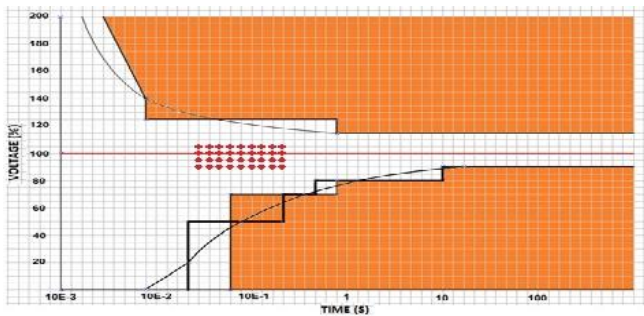


Gambar 15. Plot Kurva Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah di *Fault 2* dan *Fault 3* dengan Metode 2 pada Kaltim 1A dan Kaltim 3

• Simulasi Hubung Singkat Antar Fasa



Gambar16. Plot Kurva Hubung Singkat Antar Fasa di *Fault 2* dan *Fault 3* dengan Metode 1 Durasi 200 ms, 600 ms, dan 1 s pada Kaltim 1A dan Kaltim 3



Gambar17. Plot Kurva Hubung Singkat Antar Fasa di *Fault 2* dan *Fault 3* dengan Metode 2 pada Kaltim 1A dan Kaltim 3

Dari gambar plot kurva standar jaringan dengan menggunakan metode kedua yaitu dengan menggunakan CB didapatkan durasi gangguan *voltage sag* yang kecil dibandingkan dengan metode pertama.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada artikel ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi koordinasi dan respon peralatan proteksi di jaringan tegangan menengah dengan program paket pada Kaltim 1A, Kaltim 1B, dan Kaltim 3 menunjukkan efek perubahan terhadap karakteristik dan durasi *voltage sag* yang dirasakan oleh beban di tegangan rendah.
2. Plot kurva karakteristik *voltage sag* pada kurva CBEMA, ITIC dan SEMI menunjukkan bahwa metode kedua menggunakan pemutus atau *circuit breaker* membatasi durasi *voltage sag* yang dirasakan beban dengan waktu trip untuk masing-masing *fault* sekitar 0,4 s.
3. Tipe gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 1 fasa ke tanah dan hubung singkat antar fasa dari simulasi menunjukkan perbedaan perubahan nilai tegangan sisa yang dirasakan beban, dikarenakan magnitudo arus hubung singkat yang berbeda pada tiap tipe gangguan hubung singkat tersebut.
4. *Drop* tegangan terbesar ditengahan menengah sebesar 0,3 % atau selisih tegangan sebesar 29 V di Kaltim 1B sedangkan *drop* tegangan terbesar di tegangan rendah pada beban sebesar 0,7 % atau selisih tegangan sebesar 4,02 V di Kaltim 1B.
5. Dari simulasi hubung singkat pada jaringan tegangan menengah, titik *Fault 1* menyebabkan efek *voltage sag* terbesar terhadap *LUMP41* yaitu beban di Kaltim 1B dimana hubung singkat 3 fasa menyebabkan tegangan sisa pada *LUMP41* sebesar 26 % di tiap fasa, hubung singkat 1 fasa ke tanah menyebabkan tegangan sisa

pada *LUMP41* sebesar 26 % di fasa A, 72 % di fasa B, dan 54 % di fasa C dan hubung singkat antar fasa menyebabkan tegangan sisa pada *LUMP41* sebesar 68,5 % di fasa A, 98,8 % di fasa B, 56,9 % di fasa C. Hal ini dikarenakan lokasi gangguan hubung singkat terletak dekat dengan beban yang akan dilihat karakteristik *voltage sag*-nya.

UCAPAN TERIMA KASIH

“Arif Rakhman Prayugamengucapkan terima kasih kepada PT. Pupuk Kaltim (PKT) Bontang yang telah memberikan dukungan berupa data peralatan yang digunakan untuk menyelesaikan artikel ini”.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE 1159-1995, “*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*”, (1995), 1159-1995.
- [2] Makaliki R., “*Voltage Sag Source Location in Power Systems*”, Sweden, December, (2006).
- [3] RC. Dugan, McGraw-Hill, “*Electrical Power System Quality*”, New York, (1996).
- [4] Dave M, Mark McGranaghan, “*Effect of Voltage Sags in Process Industry Application*”, (2005, Juni).
- [5] Sedighnejad H., Alireza J., “*Effect Of Protection Device Coordination On Voltage Sag Characteristics Of Distribution Networks*”, Tehran, (2009, May).