

# Analisis Aliran Daya Dan Hubung Singkat Modifikasi Sistem 30 Bus IEEE Menggunakan Metode *Fast Decoupled*

Andi Muhammad Syafi'i<sup>1</sup>, Irfan Pradikatama<sup>2</sup>, Muhammad Ikbal Nur<sup>3</sup>, Rifqi Rizqullah<sup>4</sup>  
<sup>1234</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mulawarman  
 irfanpradikatama7@gmail.com

**Abstrak-** Aliran daya merupakan proses analisa dimana analisa tersebut menyajikan sebuah sistem tenaga listrik yang mengoperasikan sistem daya yang berupa daya nyata dan daya reaktif dalam kondisi beroperasi dan normal. Data yang dibutuhkan pada simulasi merupakan data beban dari setiap bus dan saluran pada sistem. Modifikasi sistem dilakukan pada bus beban dengan menambahkan nilai daya nyata/aktif dan daya reaktif sebesar 2 MW dan 1 MVAR. Simulasi aliran daya menggunakan bantuan software MATLAB R2018a. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui aliran daya pada bus, rugi daya, drop tegangan, sistem yang mengalami *undervoltage* atau *overvoltage*, serta nilai arus tegangan dan hubung singkat. Dengan menggunakan metode *Fast Decoupled*.

**Kata kunci:** Aliran daya, rugi-rugi daya, MATLAB R2018a, metode *fast decoupled*

## I. PENDAHULUAN

Analisis aliran energi dalam suatu sistem energi listrik adalah suatu proses analisis yang menggambarkan kinerja sistem sistem energi listrik dan aliran energi (nyata dan reaktif) dalam keadaan tertentu pada saat suatu sistem beroperasi. Hasil dari analisis aliran energi sebagai data untuk menentukan tingkat rugi-rugi (rugi daya dan tegangan), penentuan tempat yang sesuai dalam daya reaktif dan kemampuan suatu sistem untuk mengatasi pertumbuhan beban dalam pengoperasian [7]. Pada sistem tenaga listrik terdapat banyak jenis Gangguan yang tidak dapat dihindarkan, gangguan yang biasa terjadi pada saluran transmisi yaitu adanya hubung singkat, gangguan pada saluran atau lainnya [1].

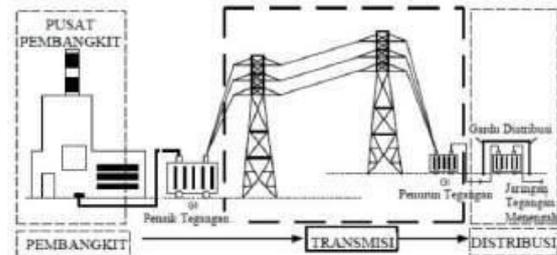
Sistem energi listrik harus sangat andal, karena aliran arus yang tidak stabil pada saluran transmisi menyebabkan kegagalan total pada saluran tersebut. (Pemadaman) dan jika tidak segera ditangani. Proses CA dapat dibalik. Lakukan ini jika ada masalah dengan catu daya untuk memastikan keamanan semaksimal mungkin dan untuk mengidentifikasi masalah daya aktif dan daya reaktif dalam sistem daya dan aliran listrik. Metode *Fast Decoupled* merupakan salah satu metode untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya. Metode ini merupakan metode solusi yang sangat sederhana, praktis dan cepat dengan hasil perhitungan yang dapat menjadi solusi. Metode ini merupakan hasil dari penyederhanaan dan pengembangan lebih lanjut dari metode Newton-Raphson sesuai dengan prinsip *decoupled*, yaitu terdapat korelasi yang

kuat antara daya aktif dan sudut fasa tegangan dan korelasi yang kuat antara daya reaktif dengan besarnya tegangan.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem energi listrik yaitu sebuah sistem bidang listrik yang menyalurkan daya listrik berdasarkan pembangkit listrik ke kosumen. Daya listrik yang disalurkan melalui sebuah jaringan yang diklaim jaringan transmisi & distribusi. Melalui jaringan ini daya listrik bisa dimanfaatkan konsumen. Dalam penyalurannya beberapa komponen yang tidak dipisahkan satu dengan yang lainnya. Sehingga secara generik sistem energi listrik dibagi atas tiga bagian pokok, yaitu: pembangkit, transmisi dan distribusi [6].



Gambar 1. Sistem tenaga listrik

### B. Aliran Listrik

Aliran daya adalah operasi hitung untuk mencari suatu nilai arus, tegangan, daya reaktif, daya aktif dan faktor daya pada suatu jaringan sistem energi listrik dalam kondisi beroperasi baik serta yang akan datang. Analisa aliran daya bisa dihitung dengan manual maupun menggunakan aplikasi pada komputer. Adapun tujuan dari studi aliran daya, yaitu:

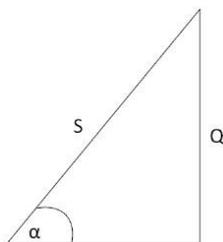
1. Untuk melihat dan mengecek alat-alat pada jaringan pada sistem.penyaluran.
2. Untuk melihat dan mengecek besaran tegangan bus (*rel*) di penyaluran.
3. Untuk menganalisa dan melakukan perhitungan aliran daya nyata/aktif atau daya reaktif di penyaluran tenaga listrik.
4. Untuk mengecek dan mengontrol rugi pada sistem penyalurn listrik

Aliran daya secara umum dapat diklasifikasikan dengan berbagai bus, yaitu:

1. Referensi bus (*swing bus / slack bus*), berguna untuk mencatu kerugian daya nyata dan daya reaktif di jaringan. Karena itu bus yang biasa digunakan adalah bus yang berdaya besar, dimana tegangan dan sudut fasanya diketahui.
  - a. Tersambung dengan generator.
  - b. Sudut fasa dan V pada generator diketahui dan bernilai sama.
  - c. P dan Q dapat dinilai.
2. Generator bus (*bus pembangkitan*) atau (P-V bus), Generator bus atau *voltage generator bus* berfungsi tidak hanya untuk pengontrol tegangan akan tetapi juga dapat menambah daya dalam sistem karena bus ini paling kurang terkoneksi dengan 1 buah generator.
  - a. Tersambung pada generator.
  - b. V dan P yang ada pada generator diketahui dan sama.
  - c. Q dan sudut fasa dari daya reaktif generator dapat dinilai.
3. Bus pembebanan atau P-Q bus. Bus pembebanan atau juga disebut sebagai *load bus* adalah bus yang memiliki besaran nilai daya nyata (P) dan daya reaktif (Q) yang diketahui. Pada bus ini tidak ada generator yang terkoneksi, melainkan hanya terkoneksi dengan beban saja.
  - a. Tersambung dengan generator.
  - b. V dan P yang ada pada generator diketahui dan sama.
  - c. V dan sudut fasa tegangan di hitung. [4]

C. Konsep Aliran Daya

Pada perhitungan dan persamaan aliran daya, hal utama yang harus dimengerti adalah mengenai perhitungan operasi segitiga daya. Gambar 2 menunjukkan segitiga daya disertai penjelasan perhitungannya.



Gambar 2. Segitiga daya

Keterangan:

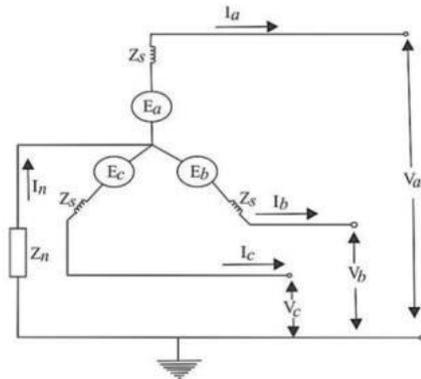
- P : Daya nyata
- Q : Daya reaktif
- S : Daya semu
- cos φ : Faktor daya

Dalam sistem tenaga listrik ada tiga jenis daya, yaitu daya nyata (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) [6].

D. Gangguan Hubung Singkat

Studi mengenai gangguan adalah bagian yang penting berdasarkan analisa sistem energi listrik, berdasarkan

penentuan tegangan & arus dalam bus saluran listrik dengan banyak sekali jenis kekurangan. Kekurangan dalam sistem energi ada 2, adalah kesalahan yang seimbang pada 3 fasa atau simetris dan kesalahan yang tidak seimbang atau asimetris. Analisa gangguan dipakai buat menentukan dan mengatur waktu fasa dan mengerti spesifikasi pada ground relay. Studi gangguan juga bias dipakai untuk menerima nilai kegunaan pengamanan dalam *switchgear*.



Gambar 3. Hubungan singkat 3 fasa

Tegangan internal tiga fasa dapat dibangkitkan dengan mesin sinkron dan dapat diaplikasikan untuk fasor urutan (+) berikut:

$$E_{abc} = \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} E_a \tag{1}$$

$$a = 1\angle 120^\circ = e^{j120^\circ} \text{ dan } a^2 = 1\angle 240^\circ = e^{j240^\circ} \tag{2}$$

Mesin bisa memberi beban yang seimbang 3 fasa, dengan menerapkan hukum Kirchoff untuk tegangan di setiap fasa menghasilkan:

$$\begin{aligned} V_a &= E_a - Z_s I_a - Z_n I_n \\ V_b &= E_b - Z_s I_b - Z_n I_n \\ V_c &= E_c - Z_s I_c - Z_n I_n \end{aligned} \tag{3}$$

Substitusi pada  $I_n = I_a + I_b + I_c$  dan untuk Persamaan (4) dalam bentuk matriks adalah:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_a \\ E_b \\ E_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_s + Z_n & Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_s + Z_n & Z_n \\ Z_n & Z_n & Z_s + Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} V_{a0} &= 0 - Z_0 I_{a0} \\ V_{a1} &= 0 - Z_1 I_{a1} \\ V_{a2} &= 0 - Z_2 I_{a2} \end{aligned} \tag{4}$$

Maka arus saluran:

$$I_a = \frac{E_a}{Z_n} \tag{5}$$

E. Fast Decoupled

Teori *Fast Decoupled* digunakan di sistem listrik dengan keadaan tunak. Daya aktif dan tegangan bus merupakan factor pendukung pada teori *Fast Decoupled*. Perhitungan daya terdapat beberapa keadaan sistem dengan cara menurunkan serta menaikkan pemakaian pada seluruh bus dan X serta R

merupakan pengaruh terhadap sudut fasa. Pencarian nilai yang menggunakan metode *Fast Decoupled* ini dapat dimulai dari perhitungan impedansi pada jaringan ( $Z_{ij}$ ) di persamaan berikut:

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} \tag{6}$$

Keterangan:

$Z_{ij}$  = Impedansi di bus  $i$  dan bus  $j$  (Ohm)

$R_{ij}$  = Resistansi di bus  $i$  dan bus  $j$  (Ohm)

$X_{ij}$  = Reaktansi di bus  $i$  dan bus  $j$  (Ohm) [11]

### III. METODE PENELITIAN

Metodelogi adalah teknik persentasi suatu analisa atau perhitungan untuk mencapai tujuan dalam penlitian. Berikut diagram alir:



Gambar 4. Flowchart alur analisa aliran daya dan hubung singkat

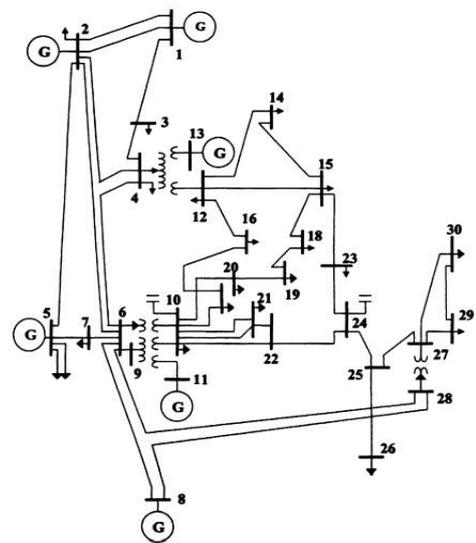
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Simulasi aliran daya dan hubung singkat IEEE 30 bus modifikasi

Sistem dalam simulasi ini yaitu sistem distribusi IEEE 30 bus yang dimodifikasi. Data yang dibutuhkan meliputi beban untuk setiap bus dan saluran untuk setiap bus. Jika nilai daya aktif dan reaktif 2 MW dan 1 MVAR ditambahkan, sistem dimodifikasi untuk memuat bus. Menggunakan perangkat lunak MATLAB R2018a untuk simulasi aliran daya. Hasil dari program MATLAB adalah menganalisis aliran energi dari setiap aliran energi, rugi-rugi energi untuk setiap saluran, tegangan jatuh, sistem dengan tegangan kurang atau lebih, serta nilai tegangan dan arus hubung singkat. situasi berikut:

- Kasus 1 yang digunakan aliran daya pasif
- Kasus 2 yang digunakan hubung singkat pada bus [11]

Standar IEEE yang digunakan adalah sistem distribusi. Simulasi yang digunakan adalah sistem penyaluran bus radial IEEE 30 yang dimodifikasi [8]. Diasumsikan bahwa tegangan awal adalah 1.060 PU dan angka *degree* awal adalah nol. Berikut merupakan nilai asumsi unit beban adalah MW dan MVAR pada saluran.



Gambar 5. Diagram satu garis IEEE 30 bus system

TABEL 1  
DATA BEBAN IEEE 30 BUS MODIFIKASI

Bus No.	Load		Bus No.	Load	
	P(MW)	Q(MVar)		P(MW)	Q(MVar)
1	0.00	0.0	16	5.5	2.8
2	21.7	12.7	17	11.0	6.8
3	4.4	2.2	18	5.2	1.9
4	9.6	2.6	19	11.5	4.4
5	94.2	19	20	4.2	1.7
6	2.0	1.0	21	19.5	12.2
7	24.8	11.9	22	2.0	1.0
8	30	30	23	5.2	2.6
9	2.0	1.0	24	16.7	7.7
10	7.8	3.0	25	2.0	1.0
11	0.0	0.0	26	5.5	3.3
12	13.2	8.5	27	2.0	1.0
13	0.0	0.0	28	2.0	1.0
14	2.2	2.6	29	4.4	1.9
15	10.2	3.5	30	12.6	2.9

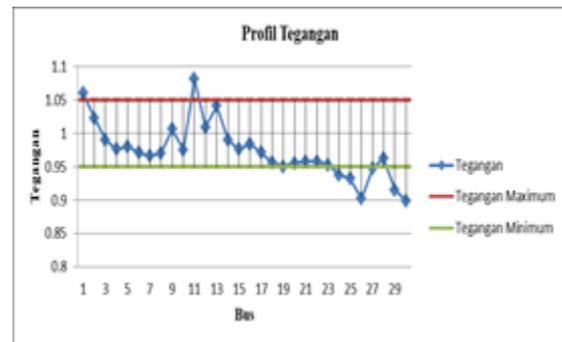
TABEL 2  
DATA SALURAN 14 BUS SETELAH MODIFIKASI

From Bus	To Bus	Seri Impedansi (p.u)		Half Line Charging Susceptance (p.u)
		R	X	
1	2	0.01920	0.05750	0.02640
1	3	0.04520	0.18520	0.02040
2	4	0.05700	0.17370	0.01840
3	4	0.01320	0.03790	0.00420
2	5	0.04720	0.19830	0.02090
2	6	0.05810	0.17630	0.01870
4	6	0.01190	0.04140	0.00450
5	7	0.04600	0.11600	0.01020
6	7	0.02670	0.08200	0.00850
6	8	0.01200	0.04200	0.00450
6	9	0.00000	0.20800	0.00000
6	10	0.00000	0.55600	0.00000
9	11	0.00000	0.20800	0.00000
9	10	0.00000	0.11000	0.00000
4	12	0.00000	0.25600	0.00000
12	13	0.00000	0.14000	0.00000
12	14	0.12310	0.25590	0.00000
12	15	0.06620	0.13040	0.00000
12	16	0.09450	0.19870	0.00000
14	15	0.22100	0.19970	0.00000
16	17	0.08240	0.19320	0.00000
15	18	0.10700	0.21850	0.00000
18	19	0.06390	0.12920	0.00000
19	20	0.03400	0.06800	0.00000
10	20	0.09360	0.20900	0.00000
10	17	0.03240	0.08450	0.00000
10	21	0.03480	0.07490	0.00000
10	22	0.07270	0.14990	0.00000
21	22	0.01160	0.02360	0.00000
15	23	0.10000	0.20200	0.00000
22	24	0.11500	0.17900	0.00000
23	24	0.13200	0.27000	0.00000
24	25	0.18850	0.32920	0.00000
25	26	0.25440	0.38000	0.00000
25	27	0.10930	0.20870	0.00000
28	27	0.00000	0.36900	0.00000
27	29	0.21980	0.41530	0.00000
27	30	0.32020	0.60270	0.00000
29	30	0.23990	0.45330	0.00000
8	28	0.06360	0.20000	0.02140
6	28	0.01690	0.05990	0.00650

TABEL 3  
HASIL TEGANGAN ALIRAN DAYA IEEE 30 BUS MODIFIKASI

No. Bus	Voltage Magnitude	Angle Degree
1	1.060	0.000
11	1.082	-18.927
24	0.938	-21.958
25	0.932	-21.856
26	0.902	-22.708
27	0.947	-21.088
29	0.915	-23.012
30	0.899	-24.117

Pada simulasi aliran daya bus IEEE 30 yang dimodifikasi menggunakan metode *Fast Decoupled*, batasan yang harus diperhatikan adalah batas tegangan tidak kurang dari atau lebih besar dari 5 % dari tegangan yang telah ditentukan untuk meminimalkan rugi atau kehilangan daya pada jaringan. sistem. Batas tegangan minimum pada bus yang digunakan adalah 0,95 pu. Sedangkan batas tegangan maksimum adalah 1,05 pu.[6] Diagram profil tegangan menunjukkan kondisi tegangan pada setiap bus. Pada Bus 1 dan Bus 11, sistem mengalami *overvoltage* karena melebihi dari batas tegangan maksimum sebesar 1.060 dan 1.082 pu. Sistem mengalami *undervoltage* jika nilai tegangan berada dibawah 0.95 pu. Berdasarkan hasil simulasi MATLAB, bus yang mengalami *undervoltage* adalah bus 24, 25, 26, 27, 29 dan 30 dikarenakan memiliki nilai tegangan di bawah 0.95 pu. Sedangkan untuk bus lainnya masih dalam kondisi normal.



Gambar 6. Grafik profil tegangan

**B. Analisis Aliran Daya Pasif**

Bagian ini membahas kasus dasar, aliran energi pasif. Suatu sistem kelistrikan dikatakan pasif apabila tidak ada sumber daya lain untuk memenuhi kebutuhan listrik. Aliran daya didapatkan hasil dengan menggunakan metode *Fast Decoupled*. Iterasi yang diperlukan sebesar 30x ketidaksesuaian kinerja maksimum 8.27968e-05. Tabel 3 menunjukkan sudut tegangan dan level tegangan setelah aliran muatan. Tabel menunjukkan jika tegangan yang ada di bus 1 (*Bus lepas*) pada 1.060 pu dan juga sudut tegangan 0. Bus 30 dan 26 memiliki tegangan tertinggi dengan tegangan 0,899 pu dan 0,902 pu [3].

Pada Tabel 4 memperlihatkan nilai aliran daya pada kasus 1. Tabel tersebut menunjukkan bahwa total daya aktif yang disediakan oleh jaringan adalah 311.253 MW dan total daya reaktif adalah 27.708. Aliran daya aktif saluran bus 9 ke 11 dan saluran bus 12 ke 13 memiliki nilai daya aktif sebesar 0 MW hal ini terjadi karena pada bus 11 dan 13 tidak memiliki beban aktif. Setiap jalur dapat menyambungkan bus satu dengan bus yang lain yang bisa menyebabkan jalur tersebut terputus. Rugi saluran ditunjukkan sebagai jatuh tegangan dan rugi daya [10]. Tabel 4 menunjukkan nilai rugi pada sistem distribusi bus modifikasi IEEE 30. Berdasarkan hasil simulasi dapat dicek pada tabel tersebut. Menunjukkan hasil rugi sebesar 11.891 MW dan 30.298 MVAR. Aliran daya menunjukkan rugi terbesar berada di titik awal pembagian sistem. Bus 2 dan 3 adalah titik awal percabangan sistem sehingga nilai rugi daya pada saluran tersebut bernilai paling besar dibanding dengan saluran lain. Saluran yang menghubungkan bus 9 – 11 dan bus

12 - 13 bernilai 0, karena bus 11 dan 13 tidak bermuatan. Jumlah keseluruhan rugi daya sebesar 25.853 MW, dan 64.181 MVAR.

Menurut [5] hasil nilai tegangan bus dalam keadaan yang baik sesuai pada aturan PLN yaitu jatuh tegangan maksimum yang diijinkan maksimal 5 % dan minimal -10 %. Nilai drop tegangan diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\%Vd = (Vs - Vr) \times 100\% \quad (7)$$

Hasil analisis menunjukkan drop tegangan terbesar terdapat pada saluran bus 11 ke 9, yaitu 7.6% hal ini berarti melebihi batas standar PLN yaitu +5%. Selain pada saluran bus 11 ke 9 saluran yang mengalami drop tegangan melebihi batas standar maksimum adalah saluran bus 1 ke 3 yang memiliki nilai drop tegangan sebesar 7%. Drop tegangan terkecil berada pada saluran bus 9 ke 11 dengan nilai persentasi drop tegangan sebesar -7.6 %. Jika melihat dari batasan minimum drop tegangan hal ini masih dalam batas normal dikarenakan batas minimum drop tegangan yaitu -10%. Bus lain yang memiliki nilai drop tegangan dibawah +5% dan -10% masih dalam batas normal dikarenakan masih dalam batas standar PLN [5].

TABEL 4  
HASIL ALIRAN DAYA IEEE 30 BUS MODIFIKASI

From Bus	To Bus	Line Flow		Line Losses		
		P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	P(MVAr)	%Vd
1	2	211.029	6.276	7.624	17.104	3.7
1	3	100.224	21.432	4.267	13.194	7
2	1	-	10.828	7.624	17.104	-7
9	11	0.000	-36.544	0.000	2.742	-7.6
11	9	-0.000	39.286	0.000	2.742	7.6
21	12	-0.106	0.596	0.000	0.000	-5.1
27	30	9.066	3.019	0.326	0.613	4.8
29	27	-8.322	-2.480	0.198	0.374	-3.2
30	27	-8.740	-2.405	0.326	0.613	-4.8
Total Loss				25.853	64.181	89.3

C. Analisa Hubung Singkat

Analisa pada hubung singkat yaitu mengkaji nilai arus pada saat hubung singkat yang mengalir di sepanjang saluran sistem selama gangguan ini terjadi. Simulasi hubung singkat dilakukan dengan salah satu busbar radial modifikasi IEEE 30 menggunakan software MATLAB R2018a. Simulasi hubung singkat dilakukan pada bus 8 dipilih secara acak. Berikut adalah tabel data hubung singkat yang terjadi pada bus 8. Selama hubung singkat terjadi pada bus 8, nilai tegangan terbesar berada pada bus 1 yaitu 0.9908 pu. Sedangkan nilai tegangan terkecil berada pada bus yang mengalami gangguan. Arus hubung singkat terbesar pada saat bus 8 mengalami gangguan adalah berada pada saluran bus 8 dan yang terkecil berada pada

saluran bus 32 ke 29 hal ini disebabkan karena semakin jauh jarak dari power grid maka nilai gangguan akan semakin kecil.

TABEL 5  
TEGANGAN HUBUNG SINGKAT JIKA GANGGUAN PADA BUS 8

No. Bus	Voltage Magnitude	Angle Degree
1	0.9908	-0.2064
2	0.9337	-1.0041
8	0.0000	0.0000
11	0.9694	0.0963
13	0.9697	-0.0149

TABEL 6  
ARUS HUBUNG SINGKAT JIKA GANGGUAN TERJADI PADA BUS 8

From Bus	To Bus	Current Magnitude	Angle Degree
8	F	131.0093	-88.5496
28	8	1.6238	-72.1886
29	27	0.0517	-27.9472
30	27	0.0550	-27.8468
30	29	0.0236	-19.7626

D. Hasil Analisis Hubung Singkat Tiga Fasa IEEE 30 Bus Modifikasi

Sistem distribusi standar IEEE 30 bus modifikasi nilai arus bergantung pada tempat gangguan. Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat, nilai arus gangguan terendah akibat hubung singkat di bus 26 dan 30. Sedangkan arus gangguan akibat hubung singkat tertinggi pada bus 1 dan 8. Hasil yang diperoleh memiliki kesesuaian dengan teori penilaian arus yang menyatakan arus berdasarkan impedansi saluran. Impedansi saluran berbanding lurus dengan jarak bus dari power grid yang berarti semakin jauh jarak bus dengan power grid, maka impedansi yang ada pada saluran semakin besar. Semakin lebih besar impedansi saluran, maka semakin kecil arus hubung singkat. Solusi untuk mengatasi gangguan hubung singkat adalah dengan memasang alat pengaman. Untuk mengetahui kapasitas dari alat pengaman ini, maka butuh mengetahui arus di saluran transmisi. Berikut adalah tabel arus hubung singkat sistem IEEE 30 bus modifikasi [12].

TABEL 7  
ARUS HUBUNG SINGKAT KESELURUHAN SISTEM IEEE 30 BUS MODIFIKASI

No Bus	Arus Hubung Singkat (pu)
1	282.5709
6	40.8212
8	131.0094
26	1.3465
30	1.5269

## V. KESIMPULAN

Hasil analisa aliran daya dengan metode *Fast Decoupled* diperoleh total iterasi sebanyak 30 kali. Berdasarkan hasil simulasi, sistem yang mengalami *undervoltage* adalah bus 1 dan 11 sedangkan bus yang mengalami *overvoltage* adalah bus 24, 25, 26, 27, 29 dan 30. Total rugi daya saluran sebesar 11.891 MW dan 30.298 MVAR. *Drop* tegangan yang melebihi standar tegangan maksimum 5% dan minimum -10% berada pada saluran bus 1 ke 3 dan saluran bus 11 ke 9.

Berdasarkan hasil simulasi hubung singkat menggunakan MATLAB, apabila hubung singkat terjadi pada bus 8 maka tegangan bus 8 akan bernilai 0 sedangkan total arus hubung singkat bus 8 bernilai 131.0093 pu. Nilai arus hubung singkat terbesar di bus 26 dan 30. Sedangkan nilai arus hubung singkat terkecil berada pada bus 11 dan 8.

## REFERENSI

- [1] A. Rachman, “Analisis kontingensi pada sistem Jawa-Bali 500kV untuk mendesain keamanan operasi,” *Prosiding Seminar Tugas Akhir Jurnal Teknik Elektro FTI-ITS*, vol 1, pp.1-6, 2011
- [2] F. Arif and P. Julianto. “Analisa gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada jaringan distribusi 20 kV PT. PLN Tarakan,” *Jurnal Elektriika Borneo*, vol 4, hh 6-10, 2018.
- [3] H. Saadat. *Power System Analysis*. New York: McGraw- Hill Companies, 1999.
- [4] A. Hasibuan, M. Isa, M. I. Yusoff, and S. R. A. Rahim, “Analisa aliran daya pada sistem tenaga listrik dengan metode Fast Decoupled menggunakan software ETAP,” *Rekayasa Elektrikal dan Energi*, vol. 3 no. 1, 2020.
- [5] I. M. A. Mahardiananta , P. A. R. Arimbawa, and D. A. S. Santiar. “Perhitungan drop tegangan sistem distribusi menggunakan metode aliran daya,” *Jurnal Resistor*, vol 3 no. 1, 2020.
- [6] K. M. Pangloli, S. Thaha, and H. A. Gaffar, “Analisis aliran daya menggunakan metode Fast Decoupled pada sisi tegangan 6.3 kV PT. Semen Tonasa V,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*. Makassar, 2020.
- [7] A. G. Nigara and Y. Primadiyono, “Analisis aliran daya sistem tenaga listrik pada bagian texturizing di PT. Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan software ETAP Power Station 4.0,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7 no. 1, 2015.
- [8] I. Pondaag, G. M. Ch. Mangindaan, and L. S. Patras, “Studi aliran beban sistem 150 kV Wilayah Sulawesi Utara-Gorontalo,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9. No. 3, 2020.
- [9] F. A. Rafif, *Simulasi Aliran Daya Dan Gangguan Hubung Singkat Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (Pltmg) Badas Untuk Sistem Kelistrikan Sumbawa Besar Menggunakan Software ETAP 16*, Skripsi, Teknik Elektro. Universitas Teknologi Sumbawa, 2019.
- [10] S. Supianto, Analisa tegangan jatuh pada jaringan distribusi 20 kV PT. PLN Area Rantau Prapat Rauon Aek Kota Batu,” *Jurnal of Electrical Technology*, vol. 3 n0. 2, 2018.
- [11] R. S. Utama, *Analisis Kontingensi Sistem Tenaga 30 Bus IEEE Berbasis Metode Aliran Daya Fast Decoupled*, Skripsi, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta, 2018.
- [12] F. Widiyanto, *Analisis Gangguan Hubung Singkat Tiga Fase Pada Sistem Distribusi Standar IEEE 13 Bus Dengan Menggunakan Program Etap Power Station 7.0*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta..