

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kriteria Desain

Kriteria desain bertujuan untuk meningkatkan sistem kelistrikan pada *plant* dan dikembangkan untuk memenuhi persyaratan keandalan sistem tenaga dan fleksibilitas operasional yang memungkinkan untuk meminimalkan potensi resiko kehilangan beban selama pemeliharaan atau gangguan (Fernandez, 2001).

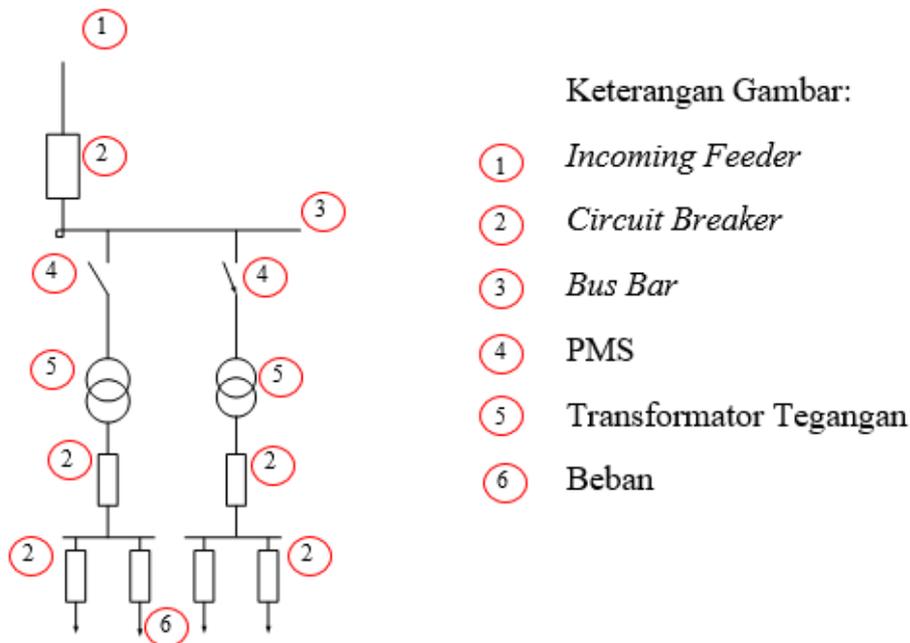
Salah satu kriteria desain yang utama dari sistem kelistrikan adalah penyediaan beban proses *plant* yang baru pada kondisi operasi yang normal. Ketersediaan sumber pada *plant* disesuaikan pada kebutuhan proses *plant* itu sendiri (Selahattin, 2017).

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Kilang Perminyakan

Terdapat 3 jenis sistem distribusi tenaga listrik di kilang peminyakan yaitu: *simple radial*, *primary selective radial system*, *secondary selective radial system*. Faktor-faktor yang meliputi pengaturan ini adalah layanan kontinuitas, fleksibilitas, efisiensi, pengoperasian biaya, keandalan sumber tenaga (API 540, 2004).

2.2.1 Simple Radial System

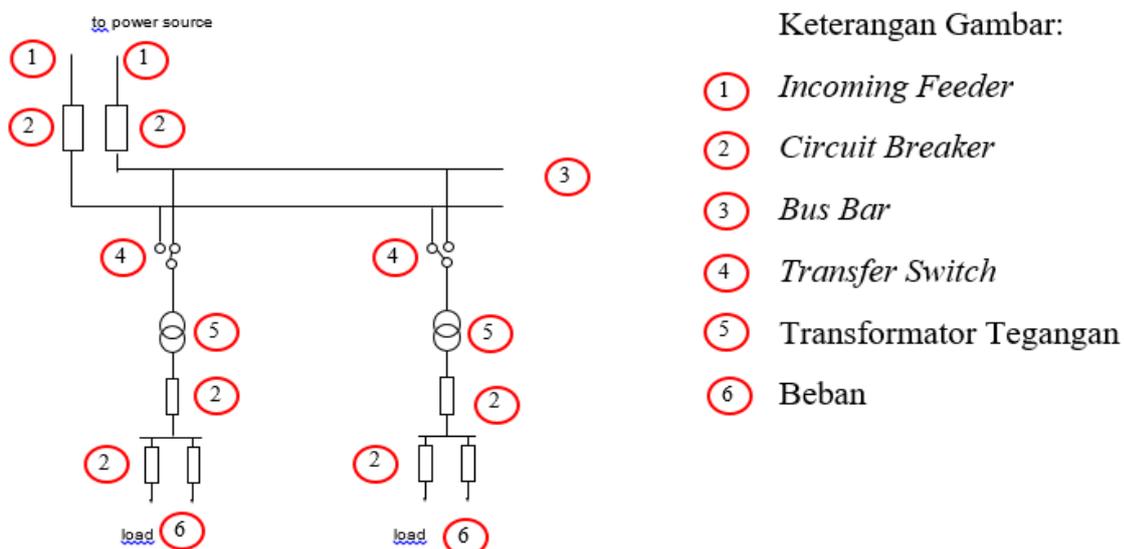
Simple radial system merupakan sistem distribusi yang paling sederhana yang hanya mempunyai satu *incoming feeder*, sehingga terjadinya gangguan pada *feeder* tersebut akan menyebabkan interupsi aliran daya pada beban-beban listrik sampai gangguan tersebut diatasi. Gambar 2.1 menunjukkan diagram satu garis *simple radial system*.



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis *Simple Radial System*
 Sumber: API 540 (2004,p.31).

2.2.2 *Primary Selective Radial System*

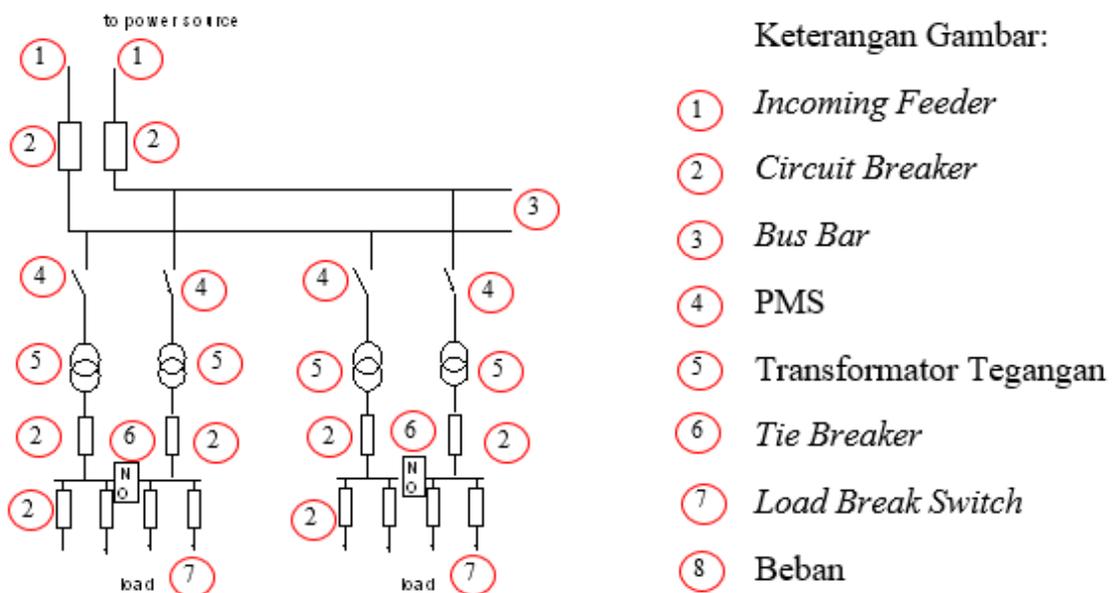
Sistem ini mempunyai dua *incoming feeder*, namun hanya satu *feeder* saja yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik. Apabila terjadi gangguan pada salah satu *feeder*, maka dengan mengubah posisi *transfer switch* ke posisi lainnya, kebutuhan daya pada beban masih dapat dilayani. Akan tetapi, bila gangguan terjadi pada daerah yang terletak setelah *transfer switch*, maka unit beban tersebut tidak akan mendapatkan daya sebelum gangguan dapat teratasi. Gambar 2.2 menunjukkan diagram satu garis *primary selective radial system*.



Gambar 2.2 Diagram Satu Garis *Primary Selective Radial System*
 Sumber: API 540 (2004,p.31).

2.2.3 *Secondary Selective Radial System*

Sistem ini memiliki dua buah *incoming feeder*. Kedua *feeder* ini dioperasikan bersama-sama untuk melayani dua unit beban yang dipisahkan oleh sebuah *breaker* dalam kondisi *normally-open*. Apabila salah satu *feeder* tidak mengalirkan daya listrik, baik yang dikarenakan oleh adanya perawatan maupun akibat gangguan, maka beban yang harus dilayani oleh *feeder* lain dengan cara menutup *tie breaker* (breaker penghubung). Sistem distribusi ini yang ada di kilang PT PERTAMINA RU-VI Balongan menggunakan sistem ini. Gambar 2.3 menunjukkan diagram satu garis *secondary selective radial system*



Gambar 2.3 Diagram Satu Garis *Secondary Selective Radial System*
 Sumber: API 540 (2004,p.31).

2.3 Sistem Per Unit (pu)

Perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal adalah definisi nilai per unit untuk suatu kuantitas. Perbandingan (*ratio*) dalam persen adalah 100 kali nilai dalam perunit. Kedua metode perhitungan tersebut, baik dengan persen maupun dengan per unit, lebih sederhana daripada menggunakan langsung nilai-nilai ampere, ohm, dan volt yang sebenarnya. Metode per unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persen, karena hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam per unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas

yang dinyatakan dalam persen masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persen.

Tegangan, arus, kilovolt ampere dan impedansi mempunyai hubungan sedemikian rupa sehingga pemilihan nilai dasar untuk dua besaran diantaranya akan menentukan dua nilai dasar untuk besaran-besaran yang lain. Jika nilai dasar dari arus dan tegangan sudah ditentukan maka, nilai dasar dari impedansi dan kilovoltampere dapat ditentukan. Impedansi dasar adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangan (*drop voltage*) yang sama dengan tegangan dasarnya apabila arus yang mengalir dalam impedansi itu sama dengan nilai arus dasarnya. Kilovoltampere dasar pada sistem fasa tunggal adalah hasil perkalian dari tegangan dasar dalam kilovolt dan arus dasar dalam ampere. Biasanya megavoltampere dasar dan tegangan dasar dalam kilovolt merupakan besaran-besaran yang dipilih sebagai dasar atau referensi. Untuk sistem fasa tunggal, atau sistem tiga fasa dimana istilah arus berhubungan dengan arus saluran, dimana istilah tegangan berarti tegangan netral dan dimana istilah kilovoltampere berarti kilovoltampere per fasa, rumus-rumus berikut memberikan hubungan-hubungan untuk berbagai besaran (Grainger & Stevenson, 1994: 45):

$$\text{Arus dasar, } A = \frac{\text{dasar kVA}_{1\phi}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, kV}_{LN}} \dots\dots\dots (0-1)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{Tegangan dasar, } V_{LN}}{\text{Arus dasar, } A} \dots\dots\dots (0-2)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, } V_{LN})^2 \times 1000}{\text{dasar, kVA}_{1\phi}} \dots\dots\dots (0-3)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{LN})^2}{\text{dasar, MVA}_{1\phi}} \dots\dots\dots (0-4)$$

Daya dasar, kW = dasar kVA

Daya dasar, MW = dasar MVA

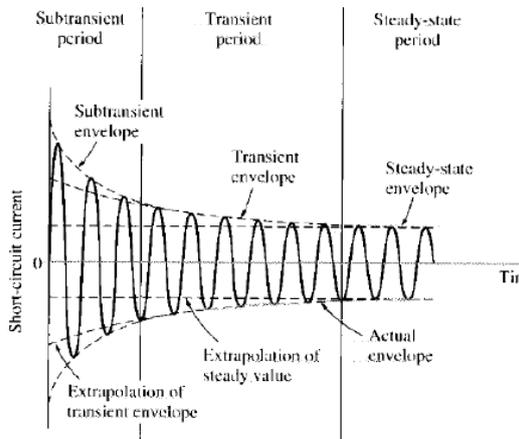
$$\text{Impedansi per unit (pu)} = \frac{\text{impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{impedansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots (0-5)$$

Untuk mengubah dari impedansi per-unit menurut suatu dasar yang diberikan menjadi impedansi per-unit menurut suatu dasar yang baru, dapat dipakai persamaan berikut (Grainger & Stevenson, 1994: 49):

$$Z_{baru}(pu) = Z_{diberikan}(pu) \left(\frac{\text{kV}_{diberikan \text{ dasar}}}{\text{kV}_{baru \text{ dasar}}} \right)^2 \times \left(\frac{\text{kVA}_{baru \text{ dasar}}}{\text{kVA}_{diberikan \text{ dasar}}} \right) \dots\dots (0-6)$$

2.4 Arus Hubung Singkat

Pada saat terjadi hubung singkat, arus akan mengalir dari sumber yang sangat besar dari sumber ke titik gangguan. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh reaktansi masing-masing komponen yang dilewati arus tersebut, mulai dari komponen sumber, trafo maupun kabel penghantar.

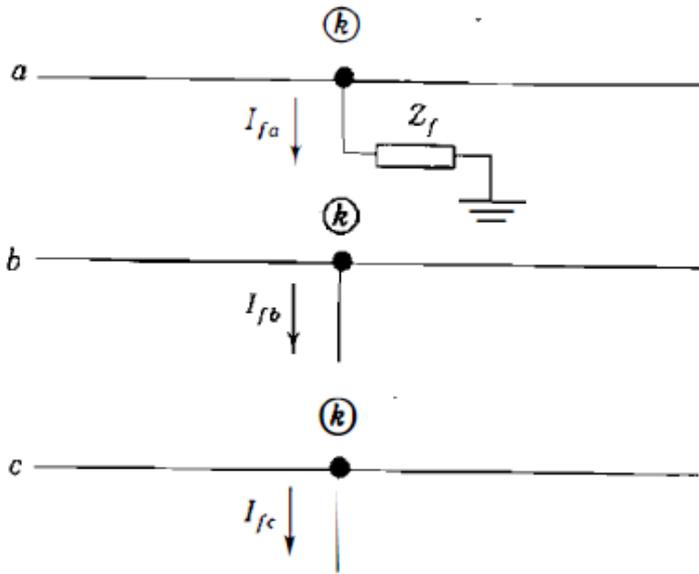


Gambar 2.4 Gelombang arus hubung singkat
Sumber: Suyono (2008,p.6).

Pada hubung singkat nilai reaktansi dibagi menjadi tiga bagian, reaktansi selama *cycle* pertama setelah terjadinya gangguan dalam waktu 0.05-0.1 detik disebut reaktansi sub-peralihan (X''_d) besarnya reaktansi tersebut sangat kecil sehingga mengakibatkan arus yang mengalir menjadi sangat besar. Untuk *cycle* selanjutnya yang terjadi dalam waktu 0.2-2 detik disebut reaktansi peralihan (X'_d) dan besarnya arus cenderung menurun karena nilai reaktansi yang meningkat. Setelah mencapai keadaan *steady state* reaktansinya disebut reaktansi sinkron (X_d) untuk menentukan arus gangguan yang terjadi.

2.4.1 Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dianggap fasa *a* mengalami gangguan. Gangguan ini dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini:



Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
 Sumber: Grainger & Stevenson (1994,p.483).

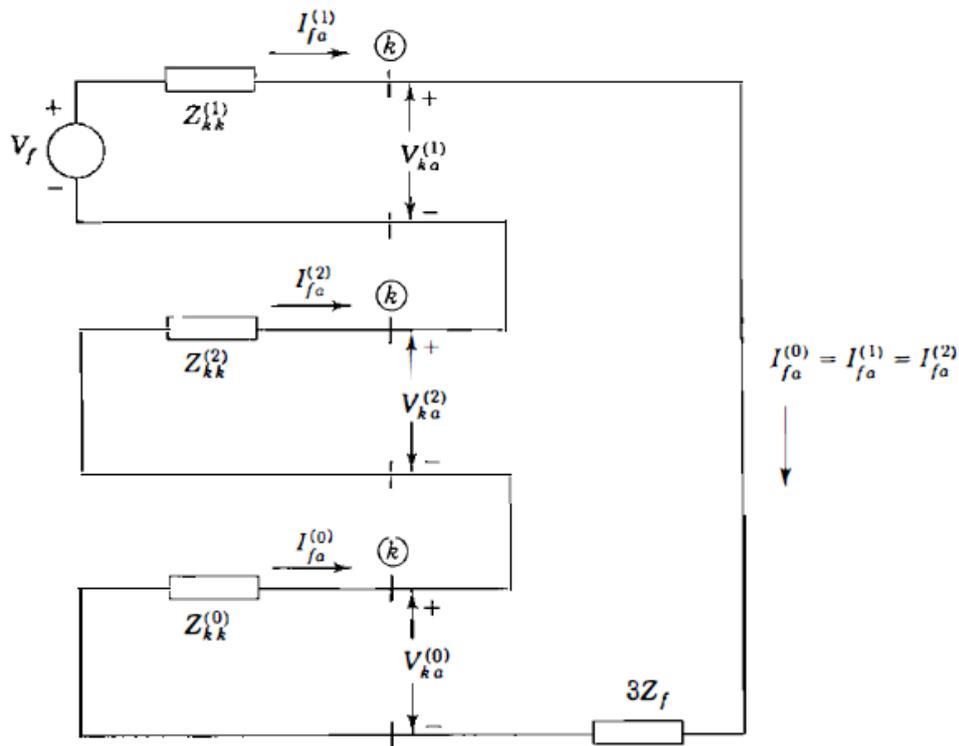
Kondisi terminalnya sebagai berikut:

Dengan $I_{fb} = 0$; $I_{fc} = 0$; $V_a = 0$

$$\begin{bmatrix} I_{fa0} \\ I_{fa1} \\ I_{fa2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Diperoleh $I_{fa0} = I_{fa1} = I_{fa2} = 1/3 I_{fa}$

Hubungan jala-jala urutan gangguan satu fasa ke tanah ditunjukkan oleh gambar 2.6:



Gambar 2.6 Hubungan jala-jala urutan gangguan satu fasa ke tanah
 Sumber: Grainger & Stevenson (1994,p.484).

Dari gambar diatas maka dapat diperoleh arus hubung singkat satu fasa ke tanah:

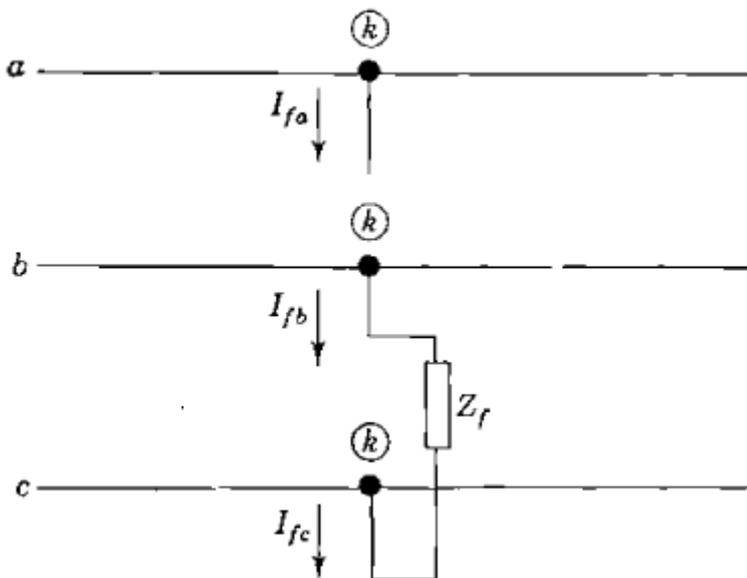
$$I_{hs} = I_{fa0} = I_{fa1} = I_{fa2} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

$$I_{fa} = 3I_{fa0} = 3 \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

- keterangan: I_{hs} = arus hubung singkat (A)
 V_f = tegangan sebelum gangguan (V)
 Z_1 = impedansi urutan positif (Ω)
 Z_2 = impedansi urutan negatif (Ω)
 Z_0 = impedansi urutan nol (Ω)
 Z_f = impedansi gangguan (Ω)

2.4.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Untuk gangguan hubung singkat antar fasa terjadi pada fasa *b* dan *c* seperti terlihat pada gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 Gangguan hubung singkat antar fasa
 Sumber: Grainger & Stevenson (1994,p.488).

Dengan $V_b = V_c$; $I_c = -I_b$; $I_a = 0$

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

Diperoleh $V_{a1} = V_{a2}$, maka:

$$\begin{bmatrix} I_{fa0} \\ I_{fa1} \\ I_{fa2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ -I_{fb} \end{bmatrix}$$

Dari persamaan di atas, didapatkan bahwa:

$$I_{fa0} = 0$$

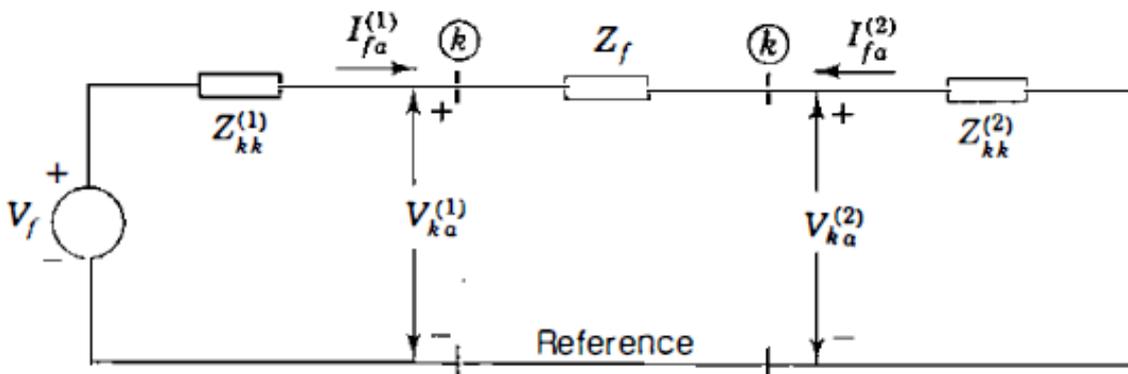
$$I_{fa1} = \frac{1}{3} (a - a^2) I_{fb} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

$$I_{fa2} = \frac{1}{3} (a^2 - a) I_{fb} \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

Sehingga:

$$I_{fa1} = -I_{fa2}$$

Hubungan jala-jala urutan gangguan antar fasa ditunjukkan oleh gambar 2.8 dibawah ini:



Gambar 2.8 Hubungan jala-jala urutan gangguan antar fasa
 Sumber: Grainger & Stevenson (1994,p.489).

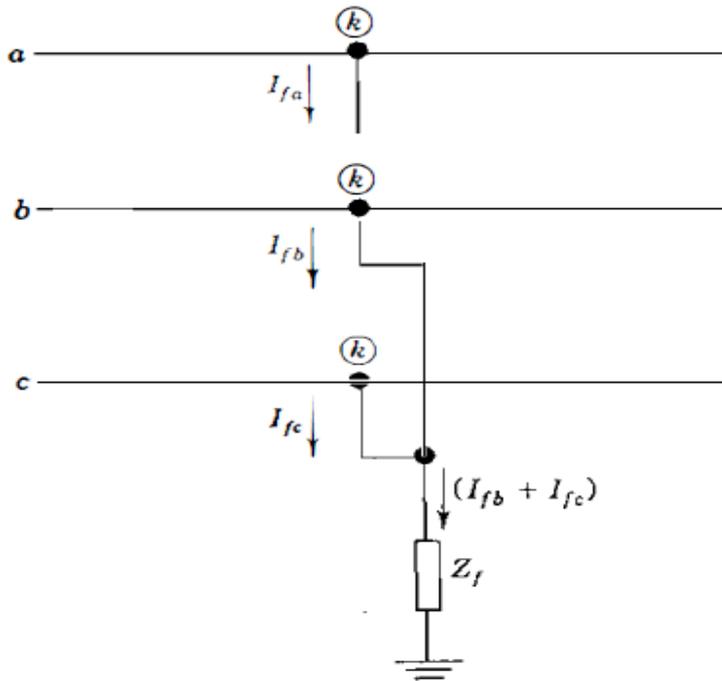
$$I_{fa1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

$$I_{fb} = -I_{fc} = a^2 I_{fa1} + a I_{fa2} + I_{fa0} \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

2.4.3 Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Berdasarkan gambar 2.9 diasumsikan bahwa fasa yang mengalami hubung singkat adalah fasa *b* dan *c*, sehingga terdapat hubungan-hubungan berikut ini:

$$V_b = V_c = 0 ; I_{fa} = 0$$



Gambar 2.9 Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah
 Sumber: Grainger & Stevenson (1994,p.494).

Sedangkan besar arus urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol nya adalah sebagai berikut (Grainger & Stevenson, 1994: 495):

$$I_{fa1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots\dots\dots (0-13)$$

$$I_{fa2} = -I_{fa1} \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (0-14)$$

$$I_{fa0} = -I_{fa1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (0-15)$$

Dan untuk arus pada masing-masing fasa yang terkena gangguan yaitu fasa *b* dan *c* adalah :

$$I_{fb} = I_{fa0} + a^2 I_{fa1} + a I_{fa2} \dots\dots\dots (0-16)$$

$$I_{fc} = I_{fa0} + a I_{fa1} + a^2 I_{fa2} \dots\dots\dots (0-17)$$

2.4.4 Hubung Singkat Tiga Fasa

Untuk gangguan hubung singkat tiga fasa dengan memperhatikan gambar 2.10, maka dapat diketahui kondisi sebagai berikut:

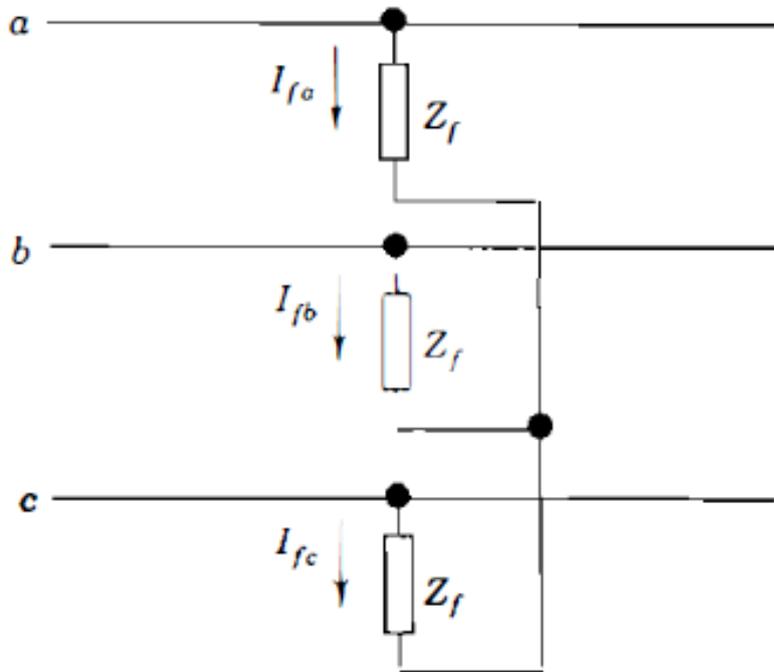
$$I_{fa} + I_{fb} + I_{fc} = 0 ; I_{fa} = 0 ; E = E_b = E_c$$

$$I_{fa0} = 0 ;$$

$$I_{fa2} = 0 ;$$

$$I_{fa1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$I_{fa} = I_{fa1} ; I_{fb} = a^2 I_{fa1} ; I_{fc} = a I_{fa1}$$



Gambar 2.10 Gangguan hubung singkat tiga fasa
 Sumber: Grainger & Stevenson (1994,p.478).

Arus hubung singkat tiga fasa:

$$I_{hs} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \dots\dots\dots (2-19)$$

Bila sistem tenaga listrik suatu fasilitas dirancang sehingga perlu peralatan yang sesuai untuk digunakan, sehingga pertimbangan kesalahan berikut harus dipertimbangkan adalah (API 540, 2004):

1. Kemungkinan tempat terjadinya kesalahan/ gangguan.
2. Besarnya gangguan yang dapat mengganggu sebuah sistem.
3. Kemungkinan kerusakan yang terjadi dari suatu sistem.

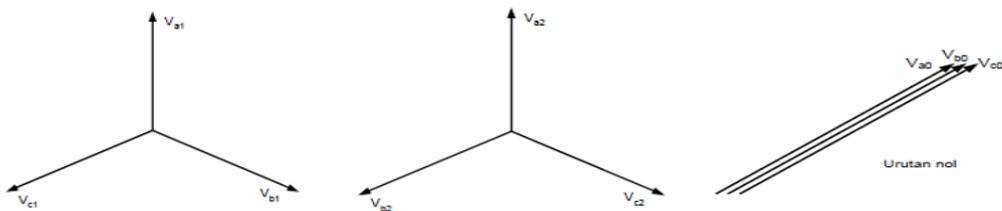
2.5 Komponen Simetris

Menurut teorema Fortescue, tiga fasa tidak seimbang pada suatu sistem tiga fasa dapat diturunkan menjadi tiga fasor yang seimbang yaitu:

- a. Komponen-komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan lainnya dalam fasa sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.

- b. Komponen-komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan lainnya dalam fasa sebesar 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
- c. Komponen-komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara yang satu dengan yang lainnya.

Dalam penyelesaian suatu persoalan dengan menggunakan komponen-komponen simetris bahwa tiga fasa dalam sistem dinyatakan sebagai a, b, dan c sehingga urutan fasa arus dan tegangan dalam sistem adalah abc. Maka urutan fasa dari komponen-komponen urutan positif dari fasor-fasor tak seimbang itu adalah abc, sedangkan untuk komponen-komponen urutan negatif adalah acb. Jika fasor aslinya adalah tegangan, tegangan tersebut dapat dinyatakan dengan V_a, V_b, V_c . Ketiga himpunan komponen-komponen simetris dinyatakan dengan subskrip tambahan 1 untuk komponen-komponen urutan positif, 2 untuk komponen-komponen urutan negatif, dan 0 untuk komponen-komponen urutan nol. Komponen-komponen urutan positif dari V_a, V_b, V_c adalah V_{a1}, V_{b1}, V_{c1} . Demikian pula, komponen-komponen urutan negatif adalah V_{a2}, V_{b2}, V_{c2} , sedangkan komponen-komponen urutan nol adalah V_{a0}, V_{b0}, V_{c0} .



Gambar 2.11 Komponen simetris tiga fasa untuk tegangan
 Sumber: Suyono (2008,p.8).

Karena setiap fasor yang tidak seimbang merupakan jumlah komponen-komponen, maka fasor-fasor aslinya dapat dituliskan sebagai berikut (Grainger & Stevenson, 1994: 418):

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \dots\dots\dots (0-20)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \dots\dots\dots (0-21)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \dots\dots\dots (0-22)$$

2.6 Analisis Starting Motor

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi dampak langsung *starting* motor besar untuk dipasang di unit proses baru pada *plant*. Pada kondisi operasional mencakup semua kondisi yang mungkin terjadi pada sistem tenaga listrik meliputi tegangan dan frekuensi.

2.6.1 Tegangan Jatuh

Jatuh tegangan merupakan besarnya penurunan tegangan pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen (%) atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Kementerian ESDM (2007:7) menyatakan bahwa fluktuasi tegangan sebesar +5% dan -10% pada level tegangan 20 kV.

2.6.2 Frekuensi

Menurut Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Kementerian ESDM (2007:7) menyatakan bahwa frekuensi nominal 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih rendah dari 49,5 Hz. atau lebih tinggi dari 50,5 Hz, dan selama waktu keadaan darurat (*emergency*) dan gangguan, frekuensi Sistem diizinkan turun hingga 47.5 Hz atau naik hingga 52.0 Hz.

