

STUDY ON SHORT CIRCUIT ELECTRICAL SYSTEM PT. PLN (Persero) SULSELBAR

¹ Muhammad Rais, ² Astuty

Fakultas Teknik & Informatika, Universitas Patria Artha
muh.raisazisnawawi@gmail.com ,
astutymahyuddin@yahoo.co.id

Abstract

Abstract- In the electric power system, the short-circuit study is essential for planning, designing and extending the electrical system. The data obtained from this calculation will be used to determine busbar tuning and power breaker capacity. The circuit breaker selection for the electrical power system depends not only on the current flowing in the circuit breaker in a normal working state but also on the maximum current that may flow over time and on the current which may have to be decided at the channel voltage where the breaker is located. Disturbance to the electrical system causes the operation of relays and power breakers to decide which parts are experiencing interference. The three phase short circuit is considered to be the interference with the largest disturbance current compared to other interference. While the one-phase short circuit to the ground is a common disorder, especially in the airways. The objective of this research is to analyze the short circuit current of power system of South and West Sulawesi with the condition of the system working at peak load and condition when all the system generator operate. The rail impedance matrix method is used in the calculation of the noise current with the matlab computation tool. Compared with the three-phase interference, the larger one-phase current to the ground is 1.065 times three phase short circuit for maximum peak load state, and 1,233 times three phase short circuit for all active generators.

Keywords: short circuit three phase, short circuit one phase to ground and matlab

PENDAHULUAN

Perusahaan energi listrik merupakan perusahaan jasa pengadaan energi listrik yang dituntut untuk memberikan kualitas pelayanan yang terbaik kepada konsumen. Kualitas pelayanan tersebut antara lain meliputi kualitas energi listrik yang dihasilkan, kontinuitas pelayanan, keandalan sistem, dan harga yang dapat dijangkau oleh konsumen (Abdul Kadir, 1995). Oleh karena itu, perusahaan energi listrik harus berupaya meningkatkan efisiensi operasi pembangkitnya dengan mengoptimalkan biaya operasi sistem tenaga listrik tanpa mengabaikan kualitas energi listrik yang dihasilkan, sehingga dapat untung dan harga jualnya dapat dijangkau oleh konsumen. Masalah pemeliharaan dan keamanan sistem yang disebut sebagai

pengamanan sistem (*system security*), juga perlu diperhatikan agar keandalan sistem dan kontinuitas pelayanan tetap terpenuhi, lebih-lebih jika sistem tersebut melayani beban dalam jumlah besar.

Sistem yang beroperasi melayani beban dapat terganggu bahkan terhenti apabila terjadi gangguan hubung singkat pada sistem[1]. Magnitudo arus listrik meningkat drastis dibandingkan magnitudo arus pada keadaan normal dan mengalir menuju titik tertentu. Sebaliknya, tegangan pada titik tertentu mengalami penurunan hingga mendekati nol.

Peristiwa *black out* pernah terjadi pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat. Kejadian tersebut diawali dengan lepasnya salah satu pembangkit akibat terjadinya hubung singkat satu fasa

ke tanah. Kegagalan *main protection* menyebabkan Pemutus pada sisi 150 bekerja. Selanjutnya terjadi pelepasan berantai pada sistem yang akhirnya menyebabkan pemadaman total. Perhitungan arus hubung singkat pada sistem adalah kegiatan yang sangat penting dilakukan. Besar magnitudo arus gangguan menentukan kapasitas sistem proteksi sistem [2].

Analisis hubung singkat ini pernah dilakukan oleh Nurlina pada tahun 2002. Penelitian tersebut dilakukan pada sistem yang lebih sederhana [3]. Gangguan hubung singkat dengan menggunakan PSCAD/EMTDC telah dilakukan oleh M. Saini dkk [4]. Penelitian tersebut menguji perubahan besar arus gangguan dengan atau tanpa impedansi gangguan.

Selain bertujuan mengetahui magnitudo arus gangguan hubung singkat tiga fase dan hubung singkat satu fase ke tanah, penelitian ini sekaligus menginformasikan letak gangguan pada sistem yang menimbulkan arus gangguan terbesar.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Kelistrikan

Dalam beberapa tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan telah memunculkan multi implikasi yang sangat kompleks di berbagai aspek kehidupan, antara lain : keuangan, ekonomi, sosial, budaya, politik, dan lain-lain. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Oleh karenanya tak berlebihan bahwa listrik bisa dikatakan sebagai salah satu kebutuhan utama bagi penunjang dan pemenuhan kebutuhan hidup umat manusia. Beberapa tantangan besar yang dihadapi dunia pada masa kini, antara lain, bagaimana menemukan sumber energi baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi di mana saja diperlukan, dan mengubah energi dari satu ke lain bentuk, serta memanfaatkannya tanpa menimbulkan pencemaran yang dapat merusak

lingkungan hidup kita. Dibanding dengan bentuk energi yang lain, listrik merupakan salah satu bentuk energi yang praktis dan sederhana. Di samping itu listrik juga mudah disalurkan dari dan pada jarak yang berjauhan, mudah didistribusikan untuk area yang luas, mudah diubah ke dalam bentuk energi lain, dan bersih (ramah lingkungan). Oleh karena itu, manfaat listrik telah dirasakan oleh masyarakat, baik pada kelompok perumahan, sosial, bisnis atau perdagangan, industri dan publik. Tenaga listrik sebagai bagian dari bentuk energi dan cabang produksi yang penting bagi negara sangat menunjang upaya dalam memajukan dan mencerdaskan bangsa. Sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam yang menguasai hajat hidup orang banyak, tenaga listrik perlu dipergunakan untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah satu kesatuan yang terinterkoneksi. (suhadi tri wrahatnolo, 2008)

Elemen-elemen utama dari sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi, beban, dan peralatan kontrol serta proteksi. Elemen-elemen ini saling terinterkoneksi satu sama lain sehingga memungkinkan pembangkitan tenaga listrik pada lokasi yang paling tepat, dan dengan jumlah yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pelanggan, menyalurkannya ke pusat-pusat beban dan mendistribusikan daya listrik dengan kualitas yang bagus dengan harga yang bersaing.

Jaringan tenaga listrik dibagi dalam empat bagian, yaitu: pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban. Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat tenaga listrik (PTL), yang antara lain: tenaga air (PLTA), tenaga gas (PLTG), tenaga uap (PLTU), tenaga panas bumi (PLTP), tenaga diesel (PLTD), tenaga nuklir (PLTN), dan lain sebagainya. Pusat-pusat listrik tenaga, terutama yang menggunakan tenaga air (PLTA), umumnya terletak jauh dari tempat-

tempat di mana tenaga listrik itu digunakan atau pusat-pusat beban (*load centres*). Karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi. Tegangan yang dibangkitkan generator pada umumnya tegangan menengah (TM), antara 6 KV sampai 24 KV, maka tegangan ini dinaikkan melalui transformator penaik tegangan (*step up transformer*) ke tingkat tegangan transmisi yang tergolong tegangan tinggi (TT) atau tegangan extra tinggi (TET), antara 30 KV sampai 500 KV. Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini dimaksudkan untuk memperbesar daya hantar dari saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, dan untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan pada gardu induk (GI), yaitu tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah, misalnya dari 500 KV menjadi 150 KV atau dari 150 KV ke 70 KV melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*). Kemudian penurunan kedua dilakukan pada gardu induk distribusi dari 150 KV ke 20 KV, atau dari 70 KV ke 20 KV. Tegangan 20 KV ini disebut tegangan distribusi primer. Pada bagian distribusi, daya listrik selanjutnya akan disalurkan ke pemakai untuk berbagai kebutuhan.

Penurunan tegangan dari tingkat transmisi pertama-tama terjadi pada gardu induk bertenaga besar, di mana tegangan diturunkan ke daerah antara 70 kV dan 150 kV, sesuai dengan tegangan saluran transmisinya. Beberapa pelanggan yang memakai tenaga untuk keperluan industri sudah dapat dicatu dengan tegangan ini. Penurunan tegangan berikutnya terjadi pada gardu distribusi primer, di mana tegangan diturunkan lagi menjadi 1 sampai 30 kV. Tegangan yang lazim digunakan pada gardu-distribusi adalah 20.000 V antar-fasa atau 11.500 V antara fasa ke tanah. Tegangan ini biasanya dinyatakan sebagai 20.000 V/11.500 V. Sebagian besar beban untuk industri dicatu dengan sistem distribusi primer, yang mencatu transformator distribusi. Transformator-transformator ini menyediakan tegangan sekunder pada

jaringan tegangan rendah tiga-fasa empat-kawat untuk pemakaian di rumah-rumah tempat tinggal. Standar tegangan rendah yang digunakan adalah 380 V antara antar fasa dan 220V di antara masing-masing fasa dengan tanah, yang dinyatakan dengan 220/380 V. 1-6 Regulasi Sektor Ketenagalistrikan Dalam rangka meningkatkan pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan di sektor ketenagalistrikan, diperlukan upaya untuk secara optimal dan efisien memanfaatkan sumber energi domestik serta energi yang bersih dan ramah lingkungan, dan teknologi yang efisien guna menghasilkan nilai tambah untuk pembangkitan tenaga listrik sehingga menjamin tersedianya tenaga listrik yang diperlukan. Demikian juga dalam upaya memenuhi kebutuhan tenaga listrik lebih merata, adil, dan untuk lebih meningkatkan kemampuan negara dalam hal penyediaan listrik, dapat diberikan kesempatan yang seluas-luasnya kepada semua pihak, baik Badan Usaha Milik Negara, Badan Usaha Milik Daerah, Koperasi atau Swasta untuk menyediakan tenaga listrik. Kompetisi usaha penyediaan tenaga listrik dalam tahap awal diterapkan pada sisi pembangkitan dan di kemudian hari sesuai dengan kesiapan perangkat keras dan perangkat lunaknya akan diterapkan di sisi penjualan. Hal ini dimaksudkan agar konsumen listrik memiliki pilihan dalam menentukan pasokan tenaga listriknya yang menawarkan harga paling bersaing dengan mutu dan pelayanan lebih baik. Demikian juga kewajiban pengusaha dan masyarakat yang menggunakan tenaga listrik, juga diatur sanksi terhadap tindak pidana yang menyangkut ketenagalistrikan mengingat sifat bahaya dari tenaga listrik dan akibat yang ditimbulkannya. Di samping itu, untuk menjamin keselamatan manusia di sekitar instalasi, keselamatan pekerja, keamanan instalansi dan kelestarian fungsi lingkungan, usaha penyediaan tenaga listrik dan pemanfaatan tenaga listrik harus memenuhi ketentuan mengenai keselamatan ketenagalistrikan. Beberapa permasalahan di bidang ketenagalistrikan bila dilihat dari sisi pemanfaatan listrik

juga banyak ditemukan instalasi tenaga listrik yang digunakan masih banyak yang belum memenuhi standar dan peralatan listrik yang beredar di masyarakat banyak yang sub-standar. Di sisi lainnya, perancangan, pembangunan, pemasangan, pengujian, pengoperasian dan pemeliharaan instalasi tenaga listrik dilakukan oleh tenaga teknik yang belum bersertifikat. Oleh karena itu, kebijakan-kebijakan menyangkut sektor ketenagalistrikan (restrukturisasi) seharusnya menjadi perhatian dan memperoleh dukungan semua pihak baik pemerintah maupun masyarakat. Agar sektor ketenagalistrikan dapat menyediakan tenaga listrik yang andal, aman, memperhatikan lingkungan, efisien dan tetap menjaga nilai aset milik negara, maka dilakukan regulasi.

B. Studi Hubung Singkat

Pada saat sistem mengalami kondisi yang tidak diharapkan yang cenderung memperburuk kualitas, keandalan, dan kontinuitas pelayanan serta keamanan peralatan sistem itu sendiri. Kondisi yang tidak diharapkan yang dimaksud adalah lepasnya generator atau saluran transmisi (Grainger dan Stevenson, 1994). Sementara waktu spesifik pada awal kejadian yang disebabkan oleh kegagalan peralatan tidak dapat diramalkan, sehingga sistem harus beroperasi pada semua waktu (*real time*) sekalipun kondisinya berbahaya (Rao, 1978). Untuk itu, peralatan sistem tenaga harus didesain sedemikian rupa agar dapat beroperasi tanpa batas tertentu. Disamping itu, untuk mencegah rusaknya peralatan-peralatan yang ada, maka peralatan-peralatan tersebut harus diproteksi oleh peralatan otomatis yang dapat menyebabkan peralatan melepaskan diri dari sistem jika batas kemampuannya dilewati. Namun demikian, jika sistem tidak dirancang dengan baik dan terjadi keadaan yang tidak diinginkan pada suatu peralatan, maka peralatan tersebut akan melepaskan diri dari sistem, dan kejadian ini mungkin diikuti oleh tindakan-tindakan pelepasan diri secara beruntun. Jika proses ini berlanjut, maka kemungkinan

besar akan terjadi pemadaman total (*black out*). Sebagai contoh, sebuah saluran mengalami kegagalan isolasi, maka rele proteksi akan melepaskan saluran tersebut dari sistem dan beban yang dipikulnya dialihkan ke saluran lain. Jika sebuah saluran sekarang dibebani terlalu berat, maka rele akan melepaskannya juga dari sistem, sehingga bebannya pun dialihkan lagi pada saluran yang lain. Proses ini sering diakhiri dengan sebuah rentetan kegagalan (*cascading failure*) dan diikuti dengan rentetan pelepasan (*cascading outage*) saluran oleh aksi rele.

Pengamanan sistem erat hubungannya dengan studi hubung singkat, karena dari hasil ini dapat ditentukan langkah-langkah antisipatif atau pengamanan terhadap sistem yang mengalami gangguan, sehingga tetap diharapkan beroperasi dalam keadaan aman, kontinu, dan terhindar dari kondisi yang tidak diharapkan (Grainger dan Stevenson, 1996).

Studi hubung singkat adalah studi yang dilakukan untuk menentukan besarnya arus yang mengalir melewati sistem tenaga listrik pada berbagai jarak waktu setelah gangguan terjadi. Besarnya arus yang mengalir melewati sistem tenaga listrik setelah gangguan berubah menurut waktu sampai mencapai kondisi tetap. Selama kondisi gangguan, sistem proteksi diperlukan untuk mendeteksi, menghilangkan dan mengisolasi gangguan tersebut. Hal ini dapat dilakukan pada bermacam-macam gangguan (tiga fasa simetris, fasa ke fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah) pada lokasi yang berbeda dari keseluruhan sistem.

Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal disebut gangguan. Sebagian besar dari gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran transmisi tegangan 115 KV atau lebih disebabkan oleh petir yang mengakibatkan terjadinya percikan bunga api (*flashover*) pada isolator. Tegangan tinggi yang ada di antara penghantar dan menara atau tiang penyangga yang diketanahkan (*grounded*) menyebabkan terjadinya ionisasi. Ini memberikan jalan

bagi muatan listrik yang diinduksi (diimbab) oleh petir untuk mengalir ke tanah. Dengan terbentuknya jalur ionisasi ini, impedansi ke tanah menjadi rendah. Ini memungkinkan mengalirnya arus fasa dari penghantar ke tanah dan melalui tanah menuju “netralnya” transformator atau generator yang diketanahkan sehingga terjadilah rangkaian tertutup. Oleh karena letaknya yang tersebar di berbagai daerah maka saluran transmisi mengalami gangguan-gangguan baik yang disebabkan oleh alam maupun oleh sebab-sebab lain. Pada saluran transmisi diatas 187 KV jumlah gangguannya adalah 1.1 per 100 Km per tahun, pada 110 - 154 KV adalah 2.4 per 100 Km pertahun, pada 44 - 77 KV adalah 5.8 per 100 Km pertahun sedangkan pada saluran 33 KV ke bawah adalah 1.0 per 100 km per tahun. Hampir semua gangguan pada saluran 187 KV ke atas disebabkan oleh petir dan lebih dari 70% dari semua gangguan pada saluran 110 - 154 kV disebabkan karena gejala-gejala alamiah seperti petir, salju, es, angin, banjir, gempa. Gejala-gejala alamiah lain yang terjadi pada saluran 60 kV adalah gangguan oleh binatang seperti burung. Dari jenis-jenis gangguan yang terjadi, yang paling besar jumlahnya adalah hubung singkat satu fasa dengan tanah. Alat yang paling banyak menderita kerusakan adalah isolator.

Jenis gangguan dibagi menjadi dua kategori yaitu:

- a. Gangguan simetris
- b. Gangguan tak simetris

Salah satu contoh gangguan simetris adalah gangguan tiga fasa simetris yang mana terjadi pada saat ketiga fasanya terhubung singkat melalui atau tanpa impedansi. Gangguan tak simetris terdiri dari gangguan hubung singkat tak simetris, gangguan tak simetris melalui impedansi dan penghantar terbuka. Gangguan hubung singkat tak simetris terjadi sebagai gangguan tunggal saluran ke tanah, gangguan antar saluran, serta gangguan ganda ke tanah.

Bila hubungsingkat dibiarkan berlangsung agak lama pada suatu sistem tenaga listrik maka pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan dapat terjadi :

- a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk suatu sistem tenaga listrik
- b. Rusaknya peralatan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus yang besar, arus yang tidak seimbang atau tegangan-tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubungsingkat.
- c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya hubung singkat dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan-peralatan lain.
- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem tenaga listrik itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda.

Tindakan pengamanan yang dapat diambil dalam melindungi sistem tenaga listrik adalah dengan jalan pemisahan (*isolation*) bagian yang terkena gangguan. Dalam sistem-sistem tenaga listrik yang modern, proses meniadakan hubung singkat ini dilaksanakan secara otomatis tanpa adanya campur tangan manusia. Peralatan yang melakukan pekerjaan ini secara kolektif dikenal sebagai sistem perlindungan (*Protection System*).

C. Gangguan Hubung Singkat

Pada umumnya ada 4 macam gangguan hubung singkat yang ada pada sistem tenaga yaitu: 1)gangguan tiga fasa simetris; 2)gangguan tidak simetris satu fasa ke tanah, 3)gangguan tidak simetris dua fasa ke tanah dan; 4)gangguan tidak simetris antar fasa. Apabila gangguan ini sering terjadi dan tidak cepat diatasi maka akan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tegangan seperti transformator, generator dan sebagainya.

Untuk transformator, dikarenakan besarnya arus yang lewat maka akan timbul rugi daya yang besar dan dirubah menjadi panas sehingga dapat merusak isolasi pada transformator tersebut, sehingga akan terjadi kecenderungan

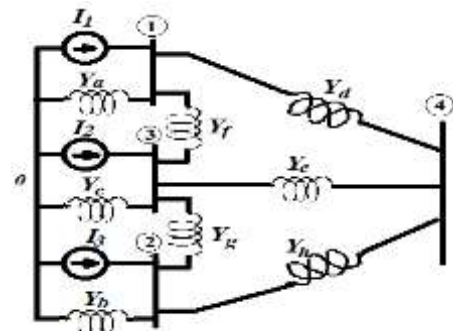
flash over (bunga api) pada kumparan transformator pada generator. Saat sekarang ini, studi hubung singkat pada sistem yang besar, saling terinterkoneksi akan melibatkan perhitungan-perhitungan yang kompleks dan membutuhkan tingkat kecermatan yang tinggi. Oleh karenanya telah banyak *software* yang diciptakan untuk membantu dalam analisis seperti ini. Salah satu *software* yang mudah digunakan adalah MATLAB. *Software* MATLAB adalah sebuah *software* yang digunakan untuk keperluan simulasi suatu jaringan tenaga listrik. Salah satu kemampuan *software* MATLAB adalah mensimulasikan aliran beban, arus suatu jaringan listrik. Maka dalam studi arus hubung singkat ini sebagai alat bantu dalam perhitungan digunakan *software* MATLAB.

Gangguan yang dalam Bahasa Inggris disebut *fault* pada operasi sistem tenaga listrik adalah kejadian yang menyebabkan bekerjanya relay dan mengoperasikan pemutus tenaga di luar kehendak operator, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya yang melalui PMT tersebut [1]. Bagian yang paling sering terkena gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah kawat transmisi (kira-kira 70 % sampai 80 % dari seluruh gangguan). Hal ini disebabkan luas dan panjangnya yang terbentang dan yang beroperasi pada kondisi udara yang berbeda-beda. Beberapa faktor yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi yaitu terjadinya surja petir atau surja hubung, burung atau daun-daun, polusi, ohon yang tumbuh di dekat saluran transmisi, dan retak-retak pada isolator [5].

B. Matriks Impedansi Rel Dalam Perhitungan Gangguan

Mempelajari beberapa ciri persamaan simpul, harus dimulai dengan diagram segaris suatu sistem sederhana. Generator dihubungkan pada rel-rel tegangan tinggi 1 dan 3 melalui transformator dan mencatu suatu beban motor serempak pada rel 2. Untuk keperluan analisis, semua mesin pada setiap rel diperlakukan sebagai satu mesin saja dan dilukis sebagai satu emf dan reaktansi seri. Rangkaian pada Gambar 1 menggambarkan dengan

emf dan impedansi seri yang menghubungkannya ke simpul-simpul besar digantikan dengan sumber arus ekuivalen dan admitansi shunt ekuivalen [6].



Gambar 1. Diagram admitansi sistem

Dengan menerapkan hukum arus kirchhoff pada simpul 1, yaitu menyamakan arus dari sumber yang menuju simpul tersebut dan arus yang meninggalkannya, didapat

$$I_1 = V_1 Y_a + (V_1 - V_3) Y_f + (V_1 - V_4) Y_d \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$I_2 = V_2 Y_b + (V_2 - V_3) Y_g + (V_2 - V_4) Y_h \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$I_3 = (V_3 - V_1) Y_f + (V_3 - V_2) Y_g + (V_3 - V_4) Y_e \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I_4 = (V_4 - V_1) Y_d + (V_4 - V_2) Y_h + (V_4 - V_3) Y_e \quad \dots\dots\dots (4)$$

Bentuk standar untuk keempat persamaan yang berdiri bebas itu dalam matriks ditunjukkan pada persamaan (5).

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = j \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan untuk arus sumber yang mengalir menuju simpul k suatu jaringan yang mengandung N buah rel selain netral adalah

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n$$

C. Gangguan 3 Fase

Hubung singkat 3 fase pada sistem daya disebut hubung singkat simetris, hal itu karena pada gangguan ini, tegangan pada titik gangguan dan arus yang mengalir pada tiap fasenya adalah sama besar.

Impedansi dalam sistem tiga fasa dikenal dengan impedansi urutan positif (Z_1), urutan negatif (Z_2) dan urutan nol (Z_0). Karena arus gangguan yang mengalir pada sistem saat terjadi hubung singkat 3 fasa hanya arus urutan positif, maka untuk perhitungan arus gangguan hubung singkatn tiga fasa berlaku persamaan sebagai berikut

$$I_{3fasa} = \frac{E_{fasa}}{Z_1}$$

..... (6)

arus gangguan pada masing-masing saluran ketika terjadi gangguan, maka berlaku

$$I_{(n-m)} = \frac{V_n - V_m}{z_{(n-m)}} \quad \text{..... (7)}$$

Subskrip n dan m adalah nomor rel. Kedua subskrip yang berbeda ini dipakai untuk membedakan nomor rel dimana saluran itu melekat. Dan z adalah impedansi primitif [8].

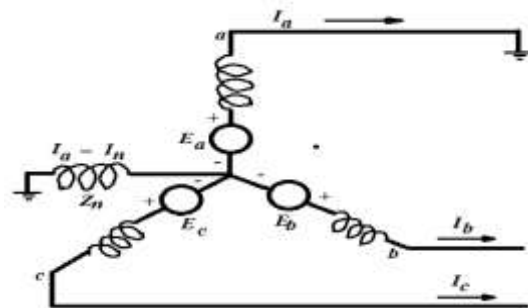
Menghitung arus gangguan subtransien untuk hubung singkat tiga fasa pada suatu sistem tenaga, kita membuat asumsi sebagai berikut :

- Transformator direpresentasikan oleh reaktansi bocor. Resistansi kumparan, admitansi shunt dan beda fase Δ -Y diabaikan.
- Saluran transmisi direpresentasikan dengan reaktansi seri ekivalennya. Reaktansi seri dan admitansi shunt diabaikan.
- Mesin sinkron direpresentasikan dengan sumber tegangan konstan dibelakang reaktansi subtransien. Resistansi armatur, *salient* dan saturasi diabaikan.
- Beban impedansi non-rotasi diabaikan
- Motor induksi juga diabaikan (khususnya untuk motor kecil yang ratingnya lebih kecil dari pada 50 hp) atau direpresentasikan dengan cara yang sama dengan mesin sinkron [7].

D. Gangguan satu fase ke tanah

Diagram rangkaian untuk gangguan satu fase ke tanah pada generator terhubung Y yang tidak dibebani dengan netralnya ditanahkan melalui reaktansi diperlihatkan pada Gambar 2, di mana fase a adalah tempat terjadinya gangguan. Untuk gangguan tunggal dari saluran tunggal ke tanah, batang hipotesis pada ketiga saluran adalah

$$I_b = 0, \quad I_c = 0, \quad V_a = 0$$



Gambar 2. Diagram rangkaian untuk gangguan satu fase ke tanah pada fase a pada terminal generator yang tidak dibebani

diketahui $I_b = 0$ dan $I_c = 0$, maka komponen simetris arus diberikan oleh

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sehingga I_{a0} , I_{a1} , dan I_{a2} masing-masing sama dengan $I_a/3$ dan

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

Persamaan khusus untuk gangguan satu fase ke tanah pada generator yang tidak dibebani.

$$I_{a0} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

..... (8)

Diketahui $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$, maka arus gangguan sebesar $3I_{a0}$

Sedangkan untuk gangguan satu fase ke tanah pada suatu sistem daya yang dibebani maka E_a diganti dengan V_f , yang merupakan tegangan pragangguan ke netral pada titik terjadinya gangguan. Sehingga membentuk persamaan (9)

$$I_{a0} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

..... (9)

METODOLOGI PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah menggambarkan dan menjelaskan keadaan sistem Sulawesi Selatan dan Barat ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fase dan satu fase ke tanah pada saluran transmisi 30 kV, 70 kV dan 150 kV. Total bus pada sistem sebanyak 43 bus yang terdiri dari bus generator dan beban seperti pada Gambar 6. Analisis dilakukan pada keadaan beban puncak maksimum dan kondisi dengan asumsi semua generator aktif menyuplai beban. Gangguan hubung singkat yang terjadi tanpa impedansi gangguan (Z_f). Beban pada sistem secara keseluruhan dianggap sebagai beban penerangan. Gambar 3 menunjukkan alur analisis data yang dilakukan.



Gambar 3. Flow Chart analisis data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis perhitungan arus hubung singkat dengan menggunakan metode matriks impedansi rel. Analisis ini memanfaatkan bahasa pemrograman Matlab Versi sebagai alat bantu komputasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gangguan pada keadaan beban puncak
Sampai saat ini sistem kelistrikan SULSELBAR telah mempunyai saluran transmisi interkoneksi. Tegangan dasar transmisi 150 dan 70 kV dengan jumlah gardu induk yang terinterkoneksi sebanyak 60 buah termasuk dua pelanggan industri besar yaitu Semen Bosowa dan Semen Tonasa. Sistem kelistrikan Sulawesi Selatan (tegangan tinggi) meliputi:

1. Sistem Pembangkitan

Sistem interkoneksi SULSELBAR mempunyai beberapa pembangkit. Pusat pembangkit yang besar antara lain :

1. PLTA Bakar, yang terdiri dari dua unit generator
2. Pusat pembangkit Tello di Makassar:
 - a) PLTU, terdiri dari 2 unit generator.
 - b) PLTG, terdiri dari 5 unit generator.
 - c) PLTD, terdiri dari 4 unit generator.
3. PLTGU Sengkang yang terdiri dari 3 unit generator.
4. PLTD Suppa yang terdiri dari 6 unit generator.
5. PLTA Bili-bili yang terdiri 2 unit generator.

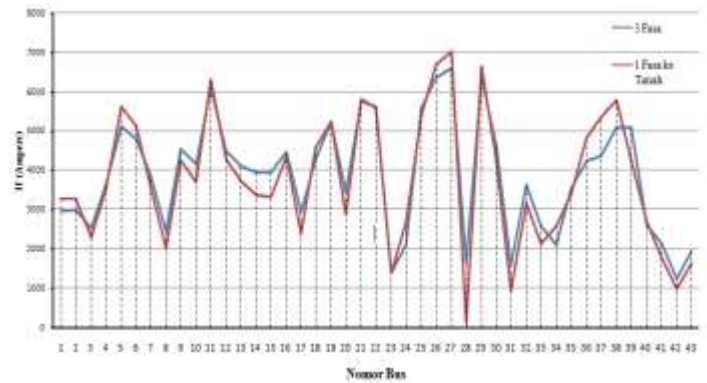
Selain pembangkit-pembangkit di atas terdapat juga pembangkit kecil yang tersebar di berbagai daerah, di antaranya PLTA Sawitto, PLTD Palopo, PLTD Makale, PLTD Masamba, dan PLTD Mamuju.

Sistem Transmisi

Sistem kelistrikan Sulawesi Selatan mempunyai saluran transmisi pada dasar tegangan 70 kV dan 150 kV. Saluran transmisi sistem kelistrikan SULSELBAR menghubungkan beberapa pusat pembangkit yang besar yaitu PLTA Bakar,

PLTGU Sengkang dan PLTD Suppa di daerah utara ke daerah beban terbesar di selatan olehnya itu untuk menjamin kontinuitas pelayanan kepada pelanggan, maka posisi saluran transmisi menduduki peringkat tertinggi untuk diperhatikan.

Susut transmisi Sistem SULSELBAR banyak dipengaruhi panjang transmisi saluran . Bila diinginkan susut yang lebih kecil, maka pemasangan kompesator jaringan transmisi sangat diperlukan ini disebabkan jarak yang jauh antara pusat beban di Makassar dengan pusat pembangkit di Bakaru dan Sengkang yang berkisar 200 km.



Gambar 4. perbandingan arus gangguan pada keadaan beban puncak maksimum

Beban Sistem

Pelanggan listrik di Sulawesi Selatan didominasi oleh rumah tangga. Dengan besarnya kelompok rumah tangga, maka pemakaian listrik yang menghasilkan beban puncak terjadi pada malam hari. Industri yang besar dan tersambung pada level tegangan tinggi ada dua yaitu Semen Tonasa (42 MW) dan Semen Bosowa (27 MW). Kedua industri ini sangat mempengaruhi nilai beban sistem karena beban yang cukup besar,. Dua pelanggan industri besar lainnya yaitu Indofood (10 MW), Barawaja (5 MW). Dua pusat industri ini berada disekitar Makassar yang jaraknya sangat jauh dari pusat pembangkit.

Berdasarkan data beban puncak pada tanggal 16 November 2012, tidak semua generator beroperasi untuk menanggung beban puncak. Untuk perhitungan besar arus gangguan keadaan puncak maksimum, generator yang tidak aktif diabaikan. Hubung singkat yang terjadi tidak menggunakan impedansi gangguan atau $Z_f=0$

Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan perbandingan antara besar arus gangguan tiga fasa dan gangguan satu fasa ke tanah. Arus gangguan terbesar pada gangguan satu fasa ke tanah lebih tinggi dibandingkan arus gangguan terbesar pada gangguan tiga fasa. Grafik tersebut sekaligus menunjukkan arus gangguan terbesar terjadi ketika gangguan hubung singkat pada bus 21. Besar arus gangguan atau *momentary current* dituliskan pada table 1-2.

Bus 27 Tallasa terhubung dengan beberapa generator yang terhubung paralel yang berada pada pembangkit Tallasa. Hubungan paralel generator ini menyebabkan arus gangguan yang terkontribusi dari generator ini semakin besar. Saluran dari bus 26 menyalurkan arus gangguan lebih besar dari pada saluran dari bus 29. Hal ini karena panjang saluran dari bus 26 yang lebih pendek dari pada panjang saluran dari bus 29.

Tabel 1. Arus gangguan hubung singkat 3 fase Bus 21

Dari Bus	Ke Bus	Arus Gangguan	
		I_f (p.u)	I_f (Ampere)
26	27	6.5861	2535
29	27	6.4518	2483
28	27	0.0000	0
G	27	4.0939	1576

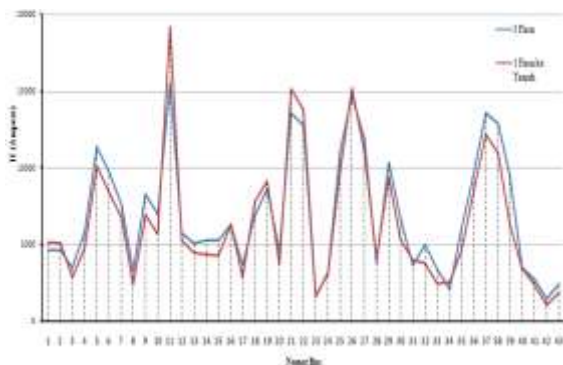
Table 2. Arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah Bus 21

Dari Bus	Ke Bus	Arus Gangguan	
		I_f (p.u)	I_f (Ampere)
26	27	6.8316	2630
29	27	6.6987	2578
28	27	0.0000	0
G	27	4.7097	1813

B. Gangguan pada keadaan seluruh generator beroperasi

Perhitungan arus gangguan pada kondisi semua generator aktif dilakukan dengan memasukkan generator yang sedang mengalami gangguan, yang belum beroperasi dan generator yang aktif tetapi tidak beroperasi pada keadaan beban puncak. Hal ini untuk memperoleh arus hubung singkat maksimum. Pada keadaan ini semua generator dianggap sedang beroperasi pada tegangan nominalnya.

Grafik pada Gambar 5 memperlihatkan perbandingan antara besar arus gangguan pada keadaan semua generator beroperasi. Besar arus hubung singkat tertinggi satu fasa ke tanah lebih besar dari pada arus gangguan hubung singkat tiga fasa tertinggi. Terlihat pula bahwa gangguan hubung singkat tiga fasa pada keadaan semua generator aktif yang terjadi di bus 11 Tello menimbulkan arus gangguan yang paling besar. Magnitudo arus gangguan pada bus 11 dan arus gangguan pada saluran ditunjukkan pada Table 3-4.



Gambar 5. perbandingan arus gangguan pada keadaan seluruh generator beroperasi

Tabel 3. Arus gangguan hubung singkat 3 fase Bus 11

Dari Bus	Ke Bus	Arus Gangguan	
		I_f (p.u)	I_f (Amper e)
9	11	2.6299	1012
10	11	2.1037	810
16	11	1.1121	428
19	11	0.6610	254
22	11	0.0000	0
26	11	14.2688	5492
G	11	19.6727	7574

Table 4. Arus gangguan hubung singkat 1 fase ke tanah Bus 11

Dari Bus	Ke Bus	Arus Gangguan	
		I_f (p.u)	I_f (Amper e)
9	11	2.4888	958
10	11	1.9596	754
16	11	1.1466	441
19	11	0.6967	268
22	11	0.0000	0
26	11	13.5460	5214
G	11	29.992	11547

Besar arus hubung singkat tertinggi satu fasa ke tanah lebih besar dari pada arus gangguan hubung singkat tiga fasa tertinggi. Hal ini karena pada umumnya, generator yang ada pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat menggunakan sistem pembumian langsung atau pembumian titik netral tanpa menggunakan impedansi atau NGR (*Neutral Grounding Reaktor*). Selain itu, besar arus hubung singkat satu fasa dipengaruhi oleh hubungan belitan transformator. Seperti pada transformator *step up* GI Bakar yang terhubung $\Delta - Y$, mengakibatkan arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada bus Bakar lebih besar dibanding dengan arus hubung singkat tiga fasanya.

Gangguan hubung singkat pada keadaan semua generator aktif menimbulkan arus

hubung singkat yang lebih besar dibanding pada keadaan beban puncak maksimum. Hal ini menjelaskan bahwa semakin banyak generator yang beroperasi semakin besar pula arus gangguan yang timbul. Selain itu kapasitas daya dari generator dan konfigurasi jaringan juga memiliki pengaruh ketika terjadi gangguan.

KESIMPULAN

Dibandingkan dengan gangguan tiga fasa, besar arus gangguan satu fasa ke tanah lebih besar yakni 1,065 kali gangguan hubung singkat tiga fasa untuk keadaan beban puncak maksimum, dan 1,233 kali gangguan hubung singkat tiga fasa untuk keadaan semua generator aktif. Dari hasil perhitungan arus gangguan, diketahui bahwa besar arus hubung singkat dipengaruhi oleh impedansi total saluran yang berujung pada bus, kapasitas generator, konfigurasi sistem, hubungan belitan transformator dan pembumian sistem.

REFERENSI

- [1] Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- [2] Indar Chaerah Gunadin. 2008. Study Kasus *Blackout* 30 September 2007 Sistem Suseltrabar. *Media Elektrik*, Vol. 3 No. 1
- [3] Nurlina, 2002. Analisis Gangguan Tiga Fase pada Bus Pare- pare. Universitas Negeri Makassar
- [4]. M. Saini, dkk. 2012. *Fault Analysis Using PSCAD/EMTDC for 150 kV South Sulawesi Transmission System*. IEEE ISIEA. Bandung
- [5] Hutauruk. 1999. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga
- [6] Stevenson, William D. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi keempat*. Jakarta : Penerbit Erlangga.\
- [7] Glover, Duncan, dkk. 2008. *Power System Analysis and Design*. USA : Thomson Learning
- [8] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. Singapore : McGraw-Hill Book Co

