PROTEKSI MOTOR AC DI EKSPLORASI MINYAK BUMI P.T PERTAMINA SUNGAI LILIN

Choirul Rizal[1], Baderiansyah[2]
[1] Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang
e-mail : choirulrizal1962@gmail.com
[2] Mahasiswa Prodi Teknik Elektro Universitas Palembang

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu komponen vital dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan. Oleh karena itu, kontinuitas dan keandalan penyaluran energi listrik harus senantiasa terjaga agar kebutuhan daya dapat terpenuhi secara berkesinambungan. Untuk mendukung hal tersebut, setiap komponen dalam sistem tenaga listrik, khususnya generator, harus dilengkapi dengan sistem proteksi yang mampu mengantisipasi dan mengamankan peralatan dari berbagai jenis gangguan yang berpotensi terjadi.

Dalam upaya mencegah kerusakan pada motor listrik yang digunakan dalam proses pengeboran, diperlukan suatu kajian mengenai sistem proteksi motor terhadap gangguan hubung singkat. Penelitian ini difokuskan pada evaluasi kondisi dan tingkat keandalan sistem proteksi motor, serta analisis dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya gangguan hubung singkat dengan memanfaatkan rele proteksi sebagai perangkat pengaman.

Analisis gangguan hubung singkat tiga fasa dilakukan melalui pendekatan perhitungan menggunakan metode komponen simetris. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada motor di PT Pertamina Sungai Lilin sebesar 560,75 A, dengan waktu operasi rele proteksi selama 0,91 detik.

Kata Kunci : Transformator, Saluran, Arus Lebih, Relay

AC MOTOR PROTECTION IN PETROLEUM EXPLORATION AT PT PERTAMINA SUNGAI LILIN

ABSTRACT

Electric power systems are one of the vital components supporting various aspects of human activities. Therefore, the continuity and reliability of electrical energy distribution must be maintained to ensure that power requirements can be fulfilled sustainably. To achieve this objective, every component of an electric power system, particularly generators, must be equipped with a protection system capable of detecting and isolating various potential faults to prevent equipment damage.

To prevent damage to electric motors used in drilling operations, an assessment of the motor protection system against short-circuit faults is necessary. This study focuses on evaluating the condition and reliability of the motor protection system, as well as analyzing the impacts of short-circuit faults by utilizing protective relays as safety devices.

The three-phase short-circuit fault analysis was conducted through mathematical calculations using the symmetrical components method. Based on the calculation results, the three-phase short-circuit fault current in the motor at PT Pertamina Sungai Lilin was determined to be 560.75 A, with a protective relay operating time of 0.91 seconds.

Keywords: *Transformer, Transmission Line, Overcurrent, Relay.*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan, sehingga ketersediaan dan kualitas penyalurannya harus senantiasa terjaga secara berkesinambungan (kontinu). Dalam proses penyaluran energi listrik, diperlukan sistem pengamanan yang memiliki tingkat keandalan tinggi untuk menjamin kontinuitas pelayanan serta mencegah terjadinya gangguan yang dapat memengaruhi kinerja sistem. Oleh sebab itu, penerapan sistem proteksi perlu dilakukan pada seluruh bagian instalasi tenaga listrik, meliputi generator, transformator, saluran transmisi, jaringan distribusi, serta beban dinamis seperti motor listrik dan berbagai peralatan pendukung lainnya. Keberadaan sistem proteksi tersebut memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan operasional sistem tenaga listrik sekaligus memastikan kebutuhan energi listrik konsumen dapat terpenuhi dengan baik.

Perlindungan motor listrik terhadap gangguan hubung singkat perlu mempertimbangkan kondisi operasional serta tingkat keandalan perangkat proteksi yang digunakan. Gangguan pada motor dapat disebabkan oleh berbagai kondisi abnormal, seperti arus beban lebih (overload), ketidakseimbangan beban (unbalance load), terputusnya salah satu penghantar atau fasa, maupun gangguan kelistrikan lainnya. Sebagai salah satu komponen beban dalam sistem tenaga listrik, motor memerlukan perlindungan yang memadai agar terhindar dari kerusakan akibat gangguan tersebut. Hal ini menjadi sangat penting, khususnya pada instalasi motor yang digunakan dalam kegiatan pengeboran, mengingat kerusakan motor dapat menghambat bahkan menghentikan proses operasional sistem pengeboran.

Untuk mencegah terjadinya kerusakan serius pada komponen-komponen sistem tenaga listrik akibat berbagai gangguan, diperlukan mekanisme pengamanan yang mampu mendeteksi dan mengisolasi bagian sistem yang mengalami gangguan. Salah satu tindakan pengamanan yang dilakukan adalah dengan mengoperasikan pemutus tenaga (Circuit Breaker/CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) untuk memutus aliran listrik pada bagian yang terganggu. Dengan demikian, bagian instalasi yang mengalami gangguan dapat dipisahkan dari sistem utama sehingga dampak gangguan tidak meluas dan kontinuitas penyaluran energi listrik pada bagian sistem lainnya tetap dapat dipertahankan.[2,4]

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. SISTEM KOMPONEN SIMETRIS

Pada umumnya, sistem tenaga listrik melayani beban dengan kondisi yang tidak seimbang. Hal tersebut disebabkan oleh sulitnya memperoleh pembagian beban yang benar-benar merata pada setiap fasanya. Untuk menganalisis kondisi ketidakseimbangan maupun gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik, salah satu metode yang digunakan adalah metode komponen simetris. Metode ini diterapkan dengan menguraikan besaran fasor yang tidak seimbang menjadi beberapa komponen fasor seimbang sehingga proses perhitungan dan analisis gangguan dapat dilakukan secara lebih sistematis.

Terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan perubahan sudut fasa pada besaran fasor yang sebelumnya berada dalam kondisi seimbang. Untuk menganalisis perubahan tersebut, digunakan konsep komponen simetris yang melibatkan operator simetris sebagai alat bantu dalam perhitungan matematis. Pada sistem tenaga listrik tiga fasa, masing-masing fasa memiliki perbedaan sudut sebesar 120° listrik. Perbedaan sudut fasa tersebut dinyatakan menggunakan suatu operator matematis yang dilambangkan dengan huruf a, yang dikenal sebagai operator sudut atau operator rotasi fasor.[1,3]

$a = 1 \angle 120^o$

$= \text{Cos } 120^o + j \text{ Sin } 120^o$

$a = 1 \angle 240^o$

$= 1 \angle 240^o + j \text{ Sin } 240^o$

2.2.Impedansi Urutan Per – Unit

Impedansi urutan merupakan besaran impedansi yang dialami oleh arus pada masing-masing komponen urutan ketika tegangan dengan urutan yang bersesuaian diberikan pada suatu peralatan listrik maupun sistem tenaga listrik. Berdasarkan pembagian komponen simetris, impedansi urutan dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang berkaitan dengan komponen arus dan tegangan urutan positif.
2. Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang berkaitan dengan komponen arus dan tegangan urutan negatif.
3. Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang berkaitan dengan komponen arus dan tegangan urutan nol.

Impedansi sumber merupakan parameter kelistrikan yang nilainya dapat diperoleh secara langsung dari data pembangkit atau melalui proses perhitungan berdasarkan karakteristik sistem tenaga listrik. Impedansi tersebut tersusun atas komponen resistansi, reaktansi induktif, dan reaktansi kapasitif. Namun, karena nilai resistansi pada sumber umumnya relatif kecil dibandingkan dengan komponen reaktansinya, pengaruh resistansi tersebut dapat diabaikan dalam perhitungan tertentu.

Besaran impedansi sumber yang dinyatakan dalam satuan ohm per fasa selanjutnya dapat dikonversikan ke dalam bentuk per-unit (pu) dengan mengacu pada nilai daya dasar (kVA) dan tegangan dasar yang telah ditentukan. Setelah nilai daya dasar dan tegangan dasar ditetapkan, besarnya reaktansi sumber dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:[4,5]

$$\text{Reaktansi induktif} = \frac{X''}{100} \quad \text{.....(1)}$$

Apabila digunakan nilai daya dasar, tegangan dasar, dan rating sumber yang berbeda, besarnya reaktansi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$X'' \text{ (pu)} = X'' (\%) \left[\frac{kV_{rating}}{kV_{dasar}}\right]^2 \left[\frac{MVA_{dasar}}{MVA_{rating}}\right] \quad \text{.....(2)}$$

Keterangan:

X (pu) : merupakan nilai reaktansi sistem yang dinyatakan dalam satuan per-unit berdasarkan nilai dasar (base value).

X (%) : merupakan nilai reaktansi sistem yang dinyatakan dalam bentuk persentase berdasarkan parameter sistem itu sendir

Pada kondisi hubung singkat, resistansi sumber diasumsikan bernilai nol atau dapat diabaikan. Dengan demikian, impedansi sumber hanya dipengaruhi oleh komponen reaktansi induktif yang dimiliki oleh sumber tersebut.

2.3. Setting Rele Proteksi

Rele arus lebih merupakan perangkat proteksi yang dilengkapi dengan elemen pendeteksi arus dan pengatur waktu kerja yang dapat beroperasi secara independen. Selain itu, rele ini juga memiliki elemen arus instan yang memungkinkan pemutusan gangguan berlangsung tanpa penundaan waktu. Oleh karena itu, pengaturan rele arus lebih harus mencakup penentuan nilai arus operasi serta waktu kerja rele agar sistem proteksi dapat berfungsi secara optimal. [2,3,5].

Penyetelan rela arus

$$I_s = \frac{K_{Fk}}{K_d} \; x \; I_{max} \quad \text{.....(3)}$$

Dimana :

I_s = Penyetelan arus

K_{Fk} = Faktor kemanan 1,1 – 1,2

K_d = Faktor arus kembali

Arus nominal rele

In_{rele} = I_s x CT .....(4)

Arus setting

$$I_{setting} = \frac{In_{rele}}{Sek_{rele}} \quad \text{.....(5)}$$

Setting waktu

t = I_{max} x CT

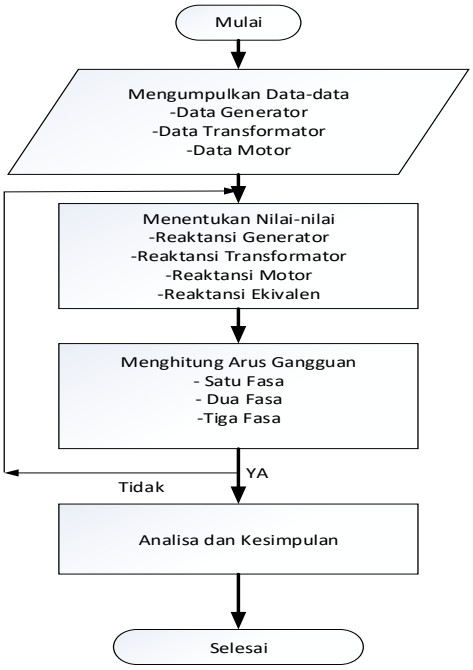
$$t_{sett} = \frac{t}{I_{setting}} \quad \text{.....(6)}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini diawali dengan pelaksanaan survei lapangan serta pengumpulan data teknis yang meliputi data generator, transformator, dan motor. Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah untuk menentukan besarnya arus hubung singkat yang berpotensi terjadi pada motor. Tahapan perhitungan dilakukan dengan menentukan reaktansi gangguan, yang mencakup reaktansi ekivalen urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol. Selanjutnya, dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat pada motor untuk berbagai kondisi gangguan, yaitu gangguan satu fasa, dua fasa, dan tiga fasa.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, tahap berikutnya adalah menentukan penyetelan rele proteksi serta melakukan analisis terhadap hasil pengolahan data guna memperoleh kesimpulan penelitian. Dalam proses penyelesaian penelitian ini, digunakan teori dan persamaan yang berkaitan dengan analisis gangguan sistem simetris dengan menerapkan metode perhitungan dalam satuan per unit (pu). Penggunaan metode tersebut bertujuan untuk menyederhanakan proses perhitungan dan mempermudah analisis. Seluruh hasil pengolahan data kemudian dievaluasi untuk memperoleh hasil dan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.1. DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

4.1. Umum

Sistem penyediaan energi listrik di PT Pertamina Sungai Lilin didukung oleh dua unit pembangkit listrik dengan kapasitas masing-masing sebesar 1.000 kVA dan 500 kVA pada tegangan 2,4 kV. Energi listrik yang dihasilkan kemudian didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan operasional beberapa stasiun kilang, di antaranya WTP Sungai Lilin dan WTP ABAB Camp, serta menyuplai motor listrik dengan kapasitas 200 kVA pada tegangan kerja 480 volt.

Dalam proses pembangkitan energi listrik, generator harus beroperasi secara optimal dan memiliki sistem proteksi yang andal. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem kelistrikan sehingga peralatan instalasi maupun beban yang terhubung dapat terlindungi dari kerusakan. Penelitian ini difokuskan pada analisis perhitungan arus gangguan hubung singkat tiga fasa serta penentuan pengaturan (setting) rele proteksi pada motor berkapasitas 200 kVA dengan tegangan 480 volt.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat pada motor di PT Pertamina Sungai Lilin dalam penelitian ini dibatasi pada kondisi gangguan hubung singkat tiga fasa sebagai objek analisis.

4.2. Data-data Generator Power Stasiun di PT. Pertamina Sungai Lilin

Pada Power Stasiun ini terdapat tiga jenis generator yang berbeda yaitu :

Pembangkit 1 :

Generator : GT 1

Daya Dasar : 1000 KVA

Faktor Kerja : 0,8

Tegangan Dasar : 2,4 KV

Frekuensi : 60 Hz

Putaran : 1200 rpm

Reaktansi : 0,284 *pu*

Pembangkit 2 :

Generator : GT 2

Daya Dasar : 500 KVA

Faktor Kerja : 0,8

Tegangan Dasar : 2,4 KV

Frekuensi : 60 Hz

Putaran : 1200 rpm

Reaktansi : 0,284 *pu*

Data Transfornator :

Transformator 1

Jumlah Fasa : 3 fasa

Tegangan : 2,4 / 13,8 KV

Daya Nominal : 1 MVA

Frekuensi : 60 Hz

Reaktansi : 0,075 *pu*

CT : 5/1200

Transformator 2

Tegangan : 13,8 KV / 480 V

Jumlah Fasa : 3 fasa

Daya Nominal : 0,25 MVA

Frekuensi : 60 Hz

Reaktansi : 0,075 *pu*

CT : 5/1200

Motor

Tegangan : 480 Volt

Daya : 0,2 MVA

Frekuensi : 60 Hz

Reaktansi : 12,5 %

4.3. Per-Unit

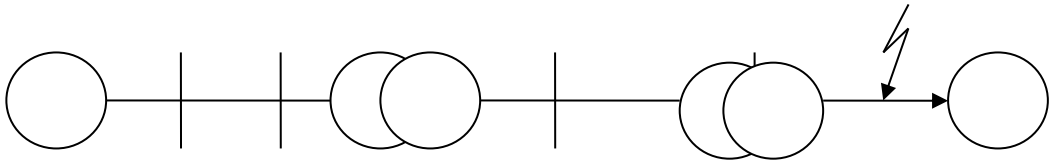
Berdasarkan data reaktansi generator, transformator, saluran, dan beban motor pada sistem kelistrikan pembangkit 1 yang dinyatakan dalam bentuk persentase, nilai reaktansi dalam satuan per unit (pu) dapat dihitung melalui konversi sesuai dengan parameter dasar yang digunakan. Dengan mengacu pada data tersebut, besarnya reaktansi subtransien sistem dapat ditentukan sebagai berikut:

$$X''_{\text{Generator}} = \frac{X''(\%)}{100} = \frac{28{,}4}{100} = 0{,}284\ pu$$

$$X''_{Trafo} = \frac{X''(\%)}{100} = \frac{7{,}5}{100} = 0{,}075\ pu$$

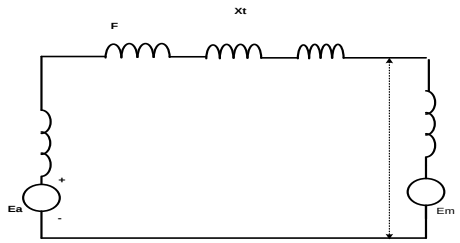
4.4. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

4.4.1. Perhitungan Hubung Singkat Pada Motor



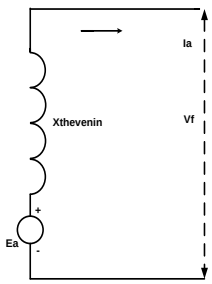
Gambar 2. Diagram Satu Garis Sistem Kelistrikan pada Unit Pembangkit 1

Berdasarkan diagram satu garis tersebut, sistem kelistrikan selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk diagram reaktansi seperti ditunjukkan berikut ini:



Gbr. 3. Diagram Rektansi Pada Saat Gangguan

- Pergitungan Hubung Singkat



Gbr. 4. Diagram Reaktansi Thevenin

Dengan mengambil dasar 1 MVA, 2,4 K V, dapat dihitung impedansi saluran :

$$Z_{base} = \frac{(kVA_{base})^2}{MVA_{base}} = \frac{(13{,}8kV)^2}{1MVA} = 190{,}44 \text{ Ohm}$$

$$\text{Z saluran} = \frac{135}{190{,}44} = 0{,}7089 \text{ pu}$$

Arus Dasar

$$I_{dasar} = \frac{MVA_{Base}}{\sqrt{3}\ kVA_{Base}} = \frac{1MVA}{\sqrt{3}.2{,}4\ kV} = 240{,}56\ Amper$$

Implementasi urutan positif

Sesuai dengan data yang ada maka berdasarkan persamaan (3-37) nilai reaktansi sub-peralihan sumber adalah :

$$X\text{''} \text{ (pu)} = X''(\%)\left[\frac{kV_{rating}}{kV_{dasar}}\right]^2 \left[\frac{MVA_{dasar}}{MVA_{rating}}\right]$$

$$X_{Generator} = j\ 0{,}284 \text{ pu x } \left[\frac{2{,}4\,KV}{2{,}4\,KV}\right]^2 \left[\frac{1MVA}{1MVA}\right] = j\ 0{,}284\ pu$$

$$X_{Trafo1} = j\ 0{,}075\ pu \text{ x } \left[\frac{13{,}8\,KV}{13{,}8\,KV}\right]^2 \left[\frac{1MVA}{1MVA}\right] = j\ 0{,}075\ pu$$

$$X_{Trafo2} = j\ 0{,}075\ pu \text{ x } \left[\frac{480V}{480V}\right]^2 \left[\frac{1MVA}{0{,}25MVA}\right] = j\ 0{,}3\ pu$$

$$X_{Motor} = j\ 0{,}125\ pu \text{ x } \left[\frac{480V}{480V}\right]^2 \left[\frac{1MVA}{0{,}2MVA}\right] = \text{j } 0{,}625 \text{ pu}$$

$$X_{Ekivalen} = \frac{X_{Motor.}\ X_{Seri}}{X_{Motor\ +}\ X_{Seri}}$$

$$= \frac{j\,0{,}625\ x\ j\ 1{,}3679}{j\,0{,}625 +\ j\ 1{,}3679} = \text{J } 0{,}4290 \text{ pu}$$

dari nilai reaktansi sub perlihan per-unit diatas didapat impedansi urutan positif

$Z_1 = R + j\ X\ pu$

Karena Saluran yang panjang maka nilai resistansi sangat kecil maka dapat diabaikansaat (R = 0) maka :

$Z_1 = j\ 0{,}4290\ pu$

Arus hubung singkat tiga fasa

$$If_{3\Phi(pu)} = \frac{Ea}{Z_1} = \frac{1 + j\ 0}{j\ 0{,}4290} = 0 - j\ 2{,}3310\ pu = 2{,}3310 \angle 270^0\ pu$$

dalam satuan amper besar arus gangguan tiga fasa tersebut adalah :

$$If_{3\Phi(Amper)} = If_{3\Phi(pu)}\ x\ I_{dasar} = 2{,}3310\ pu \text{ x } 240{,}56\ Amper = 560{,}75\ Amper$$

4.5. Setting Rele Arus Lebih pada Motor

Penyetelan rele proteksi bertujuan untuk menentukan nilai ambang minimum parameter pengukuran yang diperlukan agar rele dapat beroperasi ketika terjadi gangguan. Pengaturan tersebut mencakup penentuan nilai arus pemicu dan waktu operasi rele, sehingga sistem proteksi dapat bekerja secara tepat sesuai karakteristik gangguan hubung singkat. Dengan demikian, peralatan listrik yang terhubung pada sistem dapat terlindungi dari risiko kerusakan akibat gangguan kelistrikan. **(1,2).**

4.5.1. Setting Rele pada Motor

Besarnya arus gangguan hubung singkat pada sisi sekuder trafo adalah :

$$I_s = \frac{1{,}1}{1}\ x\ 560{,}75\ Amper = 616{,}825\ Amper$$

dengan menggunakan CT 5/1200 maka didapat In_{rele}

$$In_{rele} = 616{,}825\ Amper\ x\ \frac{5}{1200} = 2{,}570\ Amper$$

Besarnya arus setting

$$I_{setting} = \frac{2{,}570}{5} = 0{,}514 \text{ Amper}$$

Setting waktu

$$t = 560{,}75 \text{ x } \frac{5}{1200} = 2{,}34\ detik$$

maka diperoleh setting waktu :

$$\frac{2{,}34}{2{,}57} = 0{,}91\ \text{det}\,ik$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, diperoleh nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada motor pengeboran di PT Pertamina Sungai Lilin sebesar 560,75 A. Sementara itu, waktu kerja rele proteksi tiga fasa pada pembangkit 1 ditetapkan sebesar 0,91 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaturan rele proteksi yang diterapkan telah bekerja dengan baik sesuai dengan parameter perhitungan yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Arismunandar, Teknik Tenaga Listrik Jilid 2 & 3, Jakarta: Pradnya Paramita, 1997.
[2] T. S. Hutauruk, Transmisi Daya Elektrik, Jakarta: Erlangga, 1985.
[3] J. W. Hodgkiss, *Overcurrent Protection*, New York, 1981.
[4] Sulasno, Analisa Sistem Tenaga Listrik, Semarang: Satya Wacana, 2001.
[5] R. Zoro, Proteksi Terhadap Arus Lebih, Bandung: ITB, 1987.
[6] W. D. Stevenson, Analisa Sistem Tenaga Listrik, Jakarta: Erlangga, 2002.