
Pengenalan dan Implementasi Sistem Proteksi Motor Induksi pada Industri Pembangkit Listrik di Kota Cilegon

Rocky Alfanz*¹, Rozan Ariq Zhalifunnas¹, Ani Umyati², Lely Herlina², Rian Fahrizal¹

¹Program Studi Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*e-mail: rocky.alfanz@untirta.ac.id¹

Article history

Received: 25-01-2024

Accepted: 05-05-2024

Published: 15-05-2024

Abstrak

Industri pembangkit listrik memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Terutama dalam upaya pemenuhan kebutuhan terkait dengan energi untuk melakukan aktifitas sehari-hari. Dalam proses pembangkitan listrik melibatkan sekumpulan mesin dan peralatan yang digunakan untuk menghasilkan tegangan listrik melalui proses transformasi energi dari berbagai sumber. Pada dasarnya banyak pembangkit listrik menggunakan motor induksi tiga fasa adalah jenis motor listrik yang menggunakan tiga fase dari sistem daya listrik arus bolak-balik untuk menghasilkan gerakan mekanis. Ini adalah jenis motor yang paling umum digunakan di berbagai aplikasi industri dan komersial karena keandalannya, efisiensinya, dan biayanya yang relatif rendah. Pada pada kasus ini industri pembangkit di kota Cilegon dengan mengenalkan bagaimana sistem proteksi ini menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa motor dapat beroperasi dengan aman, terhindar dari kerusakan yang disebabkan oleh berbagai gangguan listrik yang mungkin terjadi selama proses penggerakan *boiler feed pump*. Melihat pentingnya sistem proteksi motor induksi ini, maka perlu dilakukan pengenalan serta implementasi sistem proteksi motor induksi sekaligus analisis fungsi-fungsi utamanya. Hasil pengujian sistem proteksi dengan cara *injection current* mensimulasikan berbagai gangguan menunjukkan bahwa *relay* tersebut dalam kondisi baik dan layak digunakan sehingga tidak diperlukan perbaikan penggantian yang signifikan.

Kata kunci: Motor Induksi Tiga Fasa; Sistem Proteksi; Relay

Abstract

The industry that produces energy is vital to human existence. Particularly in an attempt to meet demands for energy in order to do daily tasks. A variety of tools and machinery are utilized in the process of generating electricity in order to convert energy from different sources into electrical voltage. The majority of power plants use synchronous generators driven by prime movers, which generate energy from fuels or natural resources, and three-phase alternating current. An electric motor known as a three-phase induction motor generates mechanical movement by utilizing three phases of an alternating current electric power supply. Because of its dependability, effectiveness, and affordability, this is the most widely utilized kind of motor in a wide range of industrial and commercial applications. In order to ensure that the motor can run safely and prevent damage from various electrical disturbances that may occur during the process of driving the boiler feed pump, this protection system is crucial. Considering the important role of the induction motor protection system, an introduction and analysis of its primary functions are required. The protection system was tested using injection current to simulate different disturbances, and the findings showed that the relay is in good working order and does not require replacement or repair.

Keywords: Three Phase Induction Motor; Protection System; Relay

1. PENDAHULUAN

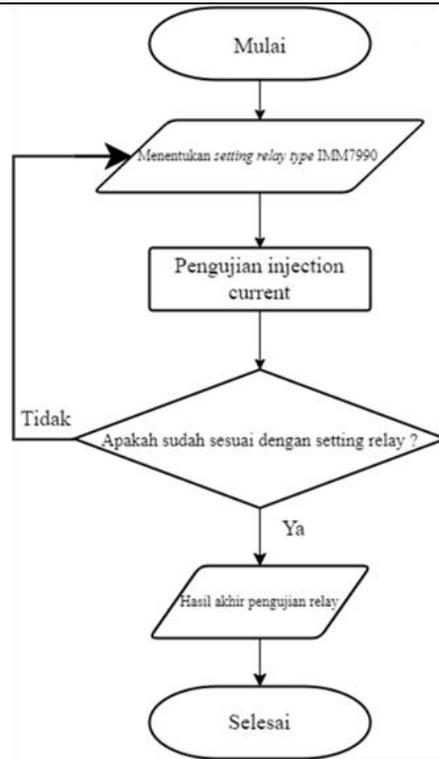
Listrik adalah bentuk energi yang sangat penting untuk mendukung berbagai kegiatan sehari-hari. Saat ini, masyarakat mengandalkan listrik dalam sebagian besar aktivitasnya. Fenomena ini menyebabkan permintaan akan energi listrik terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan populasi yang cepat [1]. Pembangkit energi listrik merupakan faktor penting untuk memenuhi permintaan akan energi listrik yang setiap hari semakin bertambah. Krisis energi listrik merupakan tantangan dimasa depan yang harus dihadapi bersama. Salah satu penyebab krisis energi ini adalah semakin meningkatnya jumlah industri di negara-negara maju dan berkembang yang mutlak harus menggunakan listrik sebagai sumber energi dalam pengoperasian industrinya upaya yang dilakukan untuk menambah pasokan listrik salah satunya dibangunlah pembangkit listrik yang mampu untuk secara terus menerus menghasilkan listrik dengan tenaga yang besar [2].

Pembangkitan energi listrik merupakan faktor penting untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat. Ada banyak jenis pembangkit listrik yang dikembangkan saat ini salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) [3]. Salah satu PLTU yang mampu menyalurkan listrik PT PLN Indonesia Power Suralaya PGU yang terletak di Desa Suralaya, Kecamatan Pulau Merak, Banten. PLTU ini memiliki 7 unit pembangkit yang menghasilkan daya sebesar 3400 MW. Salah satu komponen yang memiliki peran penting pada sistem pembangkit listrik yaitu *Boiler Feed Pump* (BFP) [4]. Merupakan salah satu komponen penting pada sistem pembangkitan listrik di PLTU. BFP merupakan salah satu aplikasi penggunaan pompa sentrifugal berukuran besar pada industri pembangkit listrik tenaga uap. Berfungsi sebagai pengontrol dan penyuplai air pada jumlah tertentu yang berasal dari tangki air *feed water tank* menuju *boiler* dengan tekanan tertentu untuk menggerakkan BFP ini digunakan motor 6 kV berdaya 6383 kW [5].

Peran motor ini sangat penting pada proses pembangkitan listrik. Motor listrik memiliki fungsi untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa putaran. Motor listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator bagian yang diam dan Rotor bagian berputar [6]. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan *transformator*. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri. Gangguan kelistrikan adalah kejadian yang tidak diinginkan dan mengganggu kerja alat listrik. Akibat gangguan, peralatan listrik tidak berfungsi dan sangat merugikan. Bahkan gangguan yang luas dapat mengganggu keseluruhan kerja sistem produksi dan akan merugikan perusahaan sekaligus pelanggan [7].

2. METODE

Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah berupa pelatihan/sosialisasi tentang analisis sistem proteksi motor induksi tiga fasa. Metodologi ini mencakup berbagai kegiatan, termasuk identifikasi kebutuhan data, penerapan teknik pengumpulan data, dan analisis informasi lebih mendalam terkait dengan sistem proteksi motor tersebut. Sebagai panduan, metodologi ini bertujuan untuk menghasilkan wawasan mendalam tentang pemeliharaan komponen tersebut. Sistem proteksi yang diterapkan pada motor ini akan dikaji secara rinci, dengan pengenalan aplikasi pada *relay type IMM 7990* yang digunakan untuk melindungi motor tersebut dari berbagai gangguan.



Gambar 1 Diagram Alir Pengujian *Relay Type IMM 7990*

Berdasarkan Gambar 1 berikut merupakan prosedur tahap pengujian *relay type IMM 7990* yaitu:

1. Menentukan *setting* setiap fungsi *relay* berdasarkan karakteristik motor yang digunakan.
2. Melakukan pengujian *relay* dengan cara *injection current* mensimulasikan berbagai gangguan yang terjadi pada motor.
3. Menganalisis hasil pengujian apakah sesuai dengan nilai *setting relay* dan membuat kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Spesifikasi Motor *Boiler Feed Pump*

Dalam ruang lingkup pembahasan ini, fokus utama tertuju pada analisis menyeluruh terkait sistem proteksi motor *Boiler Feed Pump* (BFP) pada pembangkit listrik yang berada di kota Cilegon yang menjadi pusat perhatian. Sebagai tambahan untuk pemahaman konseptual, bentuk asli dari motor BFP yang menjadi objek kajian dapat dijelaskan melalui Gambar 2 yang terlampir.



Gambar 2 Motor Induksi Tiga Fasa *Boiler Feed Pump*

Pada Gambar 2, merupakan motor yang menjadi fokus kajian ini adalah motor induksi tiga fasa dengan tegangan 6 kV, yang secara khusus digunakan untuk menggerakkan *boiler feed pump* yang diproduksi oleh Perusahaan Fuji Electric. Dapat dilakukan pengamatan yang cermat terhadap spesifikasi lengkap dari motor ini yang terdokumentasikan pada *name plate* secara rinci dalam Tabel 1.

Tabel 1 Speksifikasi *Motor Boiler Feed Pump*

Merk	Fuji Electric
Type	MTC3542T
Output	6338,5 kW
Voltage	6000 V
Current	706 A
Insul Class	F
Coolant Temp.	45 °C
Frequency	50 Hz
Poles	4
Speed	1485 rpm
Connection	Y
Rotor	<i>Cage</i>
Temp rise	75 °C

Berdasarkan Tabel 1 motor induksi ini, dengan merek Fuji Electric dan *type* MTC3542T, memiliki output daya sebesar 6338,5 kW, beroperasi pada tegangan 6 kV, dan mengonsumsi arus sebesar 706 A. Kelas insulasi F menunjukkan kemampuan motor untuk menangani suhu operasional tertentu, yang dalam hal ini mencapai 45 °C. Frekuensi operasional 50 Hz standar penggunaan di Indonesia, motor induksi tiga fasa ini memiliki 4 kutub dan berputar pada kecepatan 1485 rpm. Koneksi motor yang diwakili oleh konfigurasi Y memainkan peran kunci dalam distribusi listrik internal. Pembahasan menyoroti setiap parameter ini dengan tujuan memahami secara mendalam karakteristik teknis motor.

3.2. Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa 6 kV

Pada motor induksi tiga fasa dengan tegangan 6 kV, diperlukan suatu sistem proteksi yang canggih dan handal untuk menjaga keandalan serta kinerja optimal dalam berbagai kondisi operasional yang mungkin dihadapi oleh motor tersebut selama siklus operasionalnya. Sistem proteksi ini menjadi sangat penting untuk memastikan bahwa motor induksi dapat beroperasi dengan aman, terhindar dari kerusakan yang disebabkan oleh berbagai gangguan listrik yang mungkin terjadi selama proses penggerakkan *boiler feed pump*. Sistem proteksi motor induksi ini menggunakan *relay type* IMM 7990. Berikut ini memberikan gambaran visual yang lebih jelas, bentuk asli dari *relay* IMM 7990 dapat dilihat melalui Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Proteksi Relay IMM 7990

Pada Gambar 3, merupakan visual dari relay IMM 7990, relay ini suatu perangkat yang dihasilkan khusus untuk melindungi motor induksi dengan tegangan tinggi dan menengah, terutama pada motor induksi tiga fasa dengan daya tinggi pada tegangan rendah. Relay ini, yang termasuk dalam kategori relay digital berbasis mikroprosesor, memberikan keunggulan signifikan dalam pengaturan mudah dan sensitivitas yang tinggi.

Selain itu, keistimewaan dari proteksi relay IMM 7990 juga terletak pada konsep modular yang memungkinkan penggabungan berbagai fungsi pengamanan dalam satu kesatuan yang terintegrasi. Relay untuk sistem ini tidak hanya memberikan perlindungan terhadap satu aspek risiko, melainkan dapat menggabungkan sejumlah fungsi pengamanan yang berbeda secara bersamaan. Berikut ini adalah spesifikasi yang mendetail untuk relay type IMM 7990, perangkat yang memegang peranan kunci dalam sistem perlindungan motor. Relay ini telah dirancang dengan teliti untuk mendapatkan solusi perlindungan pada motor induksi tiga fasa dengan tegangan 6 kV tertera pada tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Relay IMM 7990

Merek	PROCOM
Type	IMM 7990
CT Ratio	800/5
Auxiliary Supply DC	125V
Arus Nominal	5A
Freakuensi	50 Hz
Transformers	On residual connections CT On core-balance CT

Sebagaimana tercantum dalam Tabel 2, memiliki spesifikasi yang penting untuk dipahami. Pertama, PROCOM menetapkan rasio transformator arus sebesar 800/5, yang mengindikasikan bahwa arus pada primer 800 diubah menjadi arus yang lebih kecil pada sekunder 5. Selanjutnya, peralatan ini memerlukan pasokan penunjang tambahan sumber tambahan listrik DC sebesar 125Vdc untuk mendukung operasionalnya peralatan. Ditambah arus listrik nominal sebesar 5A menunjukkan batas arus maksimum yang dapat ditangani tanpa menyebabkan kerusakan. Frekuensi operasional peralatan ini ditetapkan pada 50 Hz, yang sesuai dengan standar umum untuk sistem daya. Juga ada transformator (trafo) yang di gunakan juga memiliki operasi pada *on residual connections CT*, menjadikan dapat sebagai deteksi ketidakseimbangan arus residual dalam sistem, serta pada koneksi *on core-balance CT*, sebagai yang digunakan untuk mendeteksi *ground fault*.

3.3. Fungsi, Setting, dan Pengujian pada Sistem Proteksi Motor dengan Relay Type IMM 7990

Sistem proteksi motor induksi menggunakan relay type IMM 7990, perangkat ini memiliki fungsi, setting, dan proses pengujian yang krusial dalam menjaga kesehatan dan kinerja optimal motor induksi tiga fasa dengan tegangan 6 kV. Fungsi dari relay ini mencakup serangkaian perlindungan yang

dirancang secara canggih dan terintegrasi, seperti deteksi arus lebih dan identifikasi ketidakseimbangan arus. Setiap fungsi diatur oleh algoritma yang terperinci, untuk memastikan respons yang tepat dan efektif terhadap kondisi operasional yang berpotensi merugikan. Proses *setting* pada *relay type* IMM 7990 memegang peranan penting dalam menyesuaikan respons sistem sesuai dengan karakteristik motor dan kondisi operasionalnya. Pengaturan parameter seperti arus ambang batas, waktu respons, dan *level* sensitivitas diperlukan untuk memastikan *relay* bekerja sesuai dengan kebutuhan spesifik. Pemahaman mendalam terhadap kondisi operasional motor induksi tiga fasa menjadi landasan utama dalam merancang pengaturan yang optimal. Berikut ini merupakan *setting relay* yang bekerja pada motor BFP di PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Indonesia Power pada Tabel 3.

Tabel 3 *Setting Relay* pada Motor BFP

<i>Channel</i>	<i>Description</i>	<i>Setting</i>
0	<i>Thermal</i>	0,88
1	<i>Time Cons</i>	12
2	<i>Lock Rotor</i>	OFF
3	<i>Neg. Seq.</i>	0,5
4	<i>Ground fault</i>	0,3
5	<i>Time Cons</i>	6
6	<i>Long Start</i>	4

Berdasarkan Tabel 3 proses penyesuaian *setting* pada *relay* ini dilakukan berdasarkan *manual book* sebagai referensi yang telah disediakan, mengikuti besaran-besaran yang telah ditetapkan sesuai dengan karakteristik khusus, pengaturan *relay* ini dijalankan secara cermat dan akurat, dan mengacu pada nilai-nilai yang telah ditentukan sesuai dengan persyaratan dan spesifikasi teknis dari karakteristik *relay type* IMM 7990, dengan demikian, proses *setting relay* ini pendekatan sistematis yang dijalankan dengan keakuratan tinggi, memastikan *bahwa* respons dan perlindungan yang dihasilkan oleh *relay* ini sesuai dengan kebutuhan yang ada dalam menjaga integritas dan sistem kinerja motor.

Pada tahap pengujian, sistem proteksi menjalani serangkaian verifikasi yang melibatkan simulasi skenario operasional atau kondisi gangguan dengan cara *injection current*. Pengujian ini mencakup berbagai kondisi untuk memastikan bahwa *relay* merespons dengan tepat waktu dan akurat. Verifikasi pengaturan, kalibrasi sensor, dan integrasi dengan sistem kontrol lainnya juga dilakukan untuk memastikan keandalan sistem proteksi. Berikut ini adalah fungsi, *setting*, dan pengujian *relay* IMM 7990.

3.4. Fungsi, *Setting*, dan Pengujian *Thermal Overload*

Thermal Overload berfungsi untuk mendeteksi peningkatan arus yang melalui motor. Peningkatan ini terjadi akibat beban berlebih yang memaksa motor untuk membutuhkan arus yang besar guna mempertahankan putaran. Oleh karena itu, arus yang berlebihan dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada motor tersebut. *Transformer* yang berperan dalam proses ini beroperasi melalui *on residual connections CT*, *relay* ini memiliki karakteristik kurva *inverse*. Dalam situasi di mana arus melebihi ambang batas yang telah ditetapkan sebelumnya, *relay* ini secara otomatis memutuskan sirkuit, untuk menentukan *setting relay* ini membutuhkan rasio sisi primer antara motor dan CT menggunakan Persamaan (1).

$$K \times K1 = \frac{\text{Motor In}}{\text{CT In}} \quad (1)$$

Pada Persamaan (1) untuk menghitung nilai *K%* merupakan *coarse adjustment of base setting current* dan *K1* merupakan *fine adjustment of base setting current* yang di butuhkan motor *In* merupakan arus motor dalam kondisi stabil dengan arus nominal motor dengan nilai 706 dibagi dengan rasio CT dengan nilai 800 pada sisi primer. Maka mendapatkan nilai yang berfungsi untuk mengatur arus dasar setelah mendapatkan nilai rasio motor dan CT dengan nilai 0,88 dapat menentukan nilai arus *thermal (Ith)* untuk menentukan nilai *Ith* menggunakan Persamaan (2).

$$I_{th} = K \times K1 \times I_{n \text{ CT}} \quad (2)$$

Pada Persamaan (2) untuk menentukan nilai arus *thermal (Ith)* dengan cara nilai *K%* dan *K1* yang telah diketahui 0,88 dikali *In CT* merupakan rasio sisi sekunder CT dengan nilai 5 maka di dapatkan nilai *Ith* sebesar 4,4 A *Ith* merupakan saat motor bekerja secara ideal dengan nilai arus nominal 706 A

maka nilai arus pada sisi sekunder CT 4,4 A. *Setting relay ini* telah di atur *default* oleh pabrik dengan Persamaan (3).

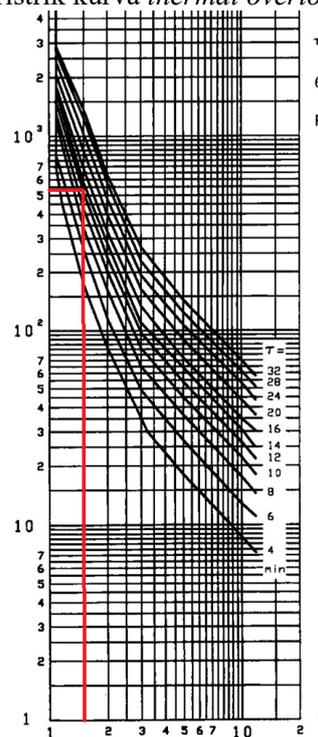
$$I_p = 1,07 \times I_{th} \quad (3)$$

Pada Persamaan (3) untuk menghitung nilai I_p merupakan arus *pick up*, arus *pick up* arus minimum yang dapat menyebabkan *relay* bekerja untuk menghitung arus *pick up* yaitu dengan cara 1,07 dikali arus *thermal* (I_{th}). *Setting* waktu operasi *relay* berdasarkan karakteristik motor. Berikut ini hasil pengujian *thermal over current* yang tercantum pada Tabel 4.3.

Tabel 4 Pengujian Thermal Over Current

Element	K%	K1	CALC. K%.K1.In
Setting	0,88		4,4 A
Injection Current	Test current		Operation time
	R	T	Curve
1,5 I _{th}	6,6 A	6,6 A	537,918 s

Berdasarkan Tabel 4 pengujian *relay* ini dilakukan dengan mensimulasikan gangguan *thermal overload*. Simulasi ini dilakukan dengan cara injection current sebesar 1,5 dikali I_{th} , dimana arus yang dimasukkan mencapai 6,6 A setiap fasa. Proses ini bertujuan untuk menguji respons *relay* terhadap kondisi *overload thermal*. Dalam pengujian ini, *relay* membutuhkan waktu tunda sebesar 537,918 s untuk memberikan respons atau pemutusan sirkuit. Hasil pengujian ini memberikan pemahaman mendalam tentang kemampuan *relay* dalam mendeteksi dan merespons kondisi *thermal overload* yang mungkin terjadi pada motor. Karakteristik kurva *thermal overload* tertera pada Gambar 4.3.



Gambar 4 Karakteristik Kurva Relay Termal Over Current Time Constants

Gambar 4 menampilkan kurva kerja dari *Thermal Over Current Time Constants* menggunakan karakteristik *inverse*. Garis merah merupakan titik pengujian dari *relay* ini. Nilai *setting* pada *channel 1* mencerminkan nilai *time constant* yang telah ditentukan sebesar 12, yang memberikan pemahaman mendalam tentang waktu yang dibutuhkan *relay* untuk beroperasi dalam situasi *overload*.

3.5. Fungsi, Setting, dan Pengujian *Short Circuit*

Short circuit berfungsi untuk mendeteksi gangguan hubung singkat yang terjadi antar fasa, yang umumnya disebabkan oleh kerusakan isolasi dan korosi pada terminal yang dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat. Fenomena ini terjadi ketika terjadi kontak langsung atau jalur pendek antara dua atau lebih fasa, menyebabkan arus listrik yang tidak terkendali. *Transformer* yang berperan dalam proses ini beroperasi melalui *on residual connections CT*, karakteristik kurva *relay* ini adalah *instantaneous relay*, yang berarti *relay* ini memberikan respons segera saat terdeteksi adanya gangguan. *Setting short circuit relay* selalu di atas dari *setting long start start*. Operasi arus *pick up (Ip)* *relay* ini diatur oleh pabrikan *relay* tersebut dengan Persamaan (5)

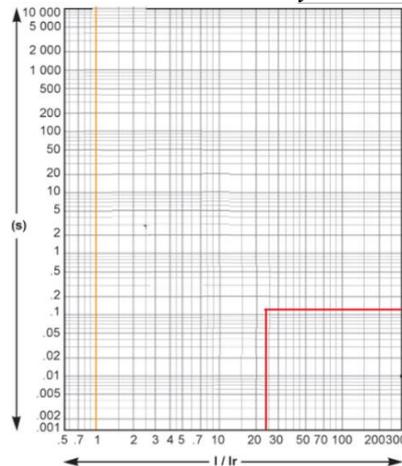
$$I_p = 1,4 \times I_d \quad (5)$$

Pada Persamaan (5) untuk menentukan arus *pick up (Ip)* dengan cara terdapat nilai 1,4 merupakan nilai *setting relay* dari pabrikan yang di dapatkan dari *manual book* dikali *Id* merupakan arus *start motor* maka setelah melakukan perhitungan didapatkan nilai arus *pick up relay* ini adalah 24,64 A, dan *setting waktu operasi relay* diatur *default* oleh pabrikan *relay* dengan nilai 0,08 s. *Setting* ini memastikan bahwa *relay* dapat dengan cepat dan efisien merespons gangguan hubung singkat untuk melindungi motor dan mencegah kerusakan lebih lanjut. Berikut ini merupakan hasil pengujian *relay short circuit* pada Tabel 6.

Tabel 5 Pengujian *Short Circuit Relay*

<i>Setting</i>	4
(1,4.Id)	24,64 A
<i>Injection Current</i>	Time
25 A	0,1491 s

Berdasarkan Tabel 6 ada pengujian *Short circuit* dengan cara *injection current* sebesar 25 A, *relay* menunjukkan performa yang handal dengan waktu operasi secepat 0,1491 s. Hasil pengujian ini memberikan keyakinan bahwa *relay* ini mampu memberikan respons yang cepat dan andal dalam mengatasi situasi hubung singkat. Karakteristik kurva *relay* ini tertera pada Gambar 6.

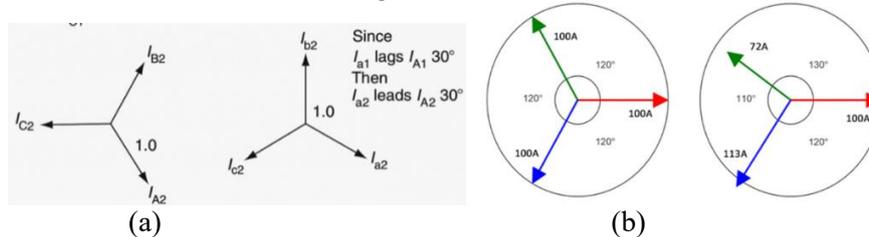


Gambar 6 Karakteristik Kurva *Relay Short Circuit*

Berdasarkan Gambar 6 menampilkan Karakteristik *instantaneous relay* yang bekerja tanpa waktu tunda. Garis merah merupakan titik pengujian *relay* ini pada arus sebesar 25 A dengan waktu tunda 0,1491 s. Daerah kerja *relay* ini terletak pada di dalam kotak antara lebih besar dari 25 A. Titik pengujian ini memberikan gambaran tentang kinerja *relay* dalam merespons kondisi *short circuit* pada motor. *Relay* dapat memberikan perlindungan yang efektif terhadap kondisi *short circuit* yang mungkin terjadi dalam motor.

3.6. Fungsi, Setting, dan Pengujian Unbalance Current dan negative sequence

Unbalance Current dan *negative sequence* berfungsi untuk mendeteksi tidak seimbang arus setiap fasa yang terdeteksi melalui pengukuran setiap fasa pada suplay jaringan. *Transformer* yang berperan dalam proses ini beroperasi melalui *on residual connections CT*, karakteristik kurva *relay* ini adalah *extremely inverse*. Berikut ini ilustrasi dari *negative sequence* dan *unbalance current* pada Gambar 7.



Gambar 7 Ilustrasi Gangguan Arus, (a) *Negative Sequence*, (b) *Unbalance Current*

Berdasarkan Gambar 7 (a) menampilkan *negative sequence* mulai beroperasi ketika bekerja ketika terjadi perubahan sudut fasa lebih dari 30° ke arah *negative*. Gambar 4.6 (b) menampilkan *Unbalance current* mulai beroperasi ketika perbedaan nilai antara fasa. *Setting* arus *relay* ini pada *channel 3* dengan nilai *setting* 0,5 arus *pick up relay* ini di *setting* pada *channel 3*. Berikut ini arus *pick up* dengan Persamaan (6).

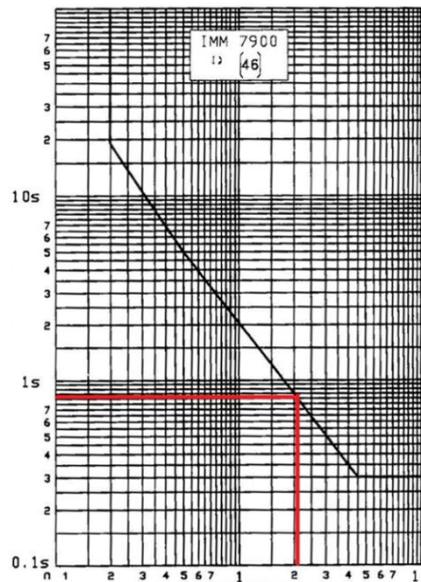
$$I_p = 0,5 \times I_{th} \quad (6)$$

Berdasarkan Persamaan (6) untuk menghitung nilai arus *pick up* (I_p) dengan cara 0,5 yang merupakan nilai *setting* dikali I_{th} merupakan arus saat motor bekerja secara ideal pada sisi sekunder CT maka di dapatkan nilai arus *pick up* 2,2 A jika terjadi perbedaan antar fasa sebesar 2,2A maka *relay* memerintahkan untuk pemutusan. Berikut ini merupakan hasil pengujian *unbalance current* dan *negative sequence relay* pada Tabel 7.

Tabel 6 Pengujian *Unbalance Current* dan *Negative Sequence Relay*

Element		K%	K1	K2	CALC. K%.K1.In
Setting		1	0,95	0,2	4,4
Injection Current	Test Current		Operation Time		
	R	T	Curve		Actual time
1,5 Ith	6,6 A	6,6 A			1,456 s
Unbalance	12 A	3 A			1,1962 s
Loss 1 ph	12 A	0			1,3745 s

Berdasarkan Tabel 7 pengujian *unbalance current* dan *negative sequence* dengan cara *injection current* pada *negative sequence* dengan memasukan arus yang terjadi perubahan sudut fasa lebih dari 30° ke arah *negative sequence* dengan waktu operasi *relay* ini bekerja dengan waktu 1,456 s. Pengujian *unbalance current* dengan masukan arus pada fasa R dan T dengan nilai arus yang berbeda pada pengujian ini fasa R dengan nilai arus 12 A dan fasa T dengan nilai arus 3 A terdapat perbedaan 9 A. Waktu operasi *relay* ini bekerja dengan waktu 1,1962 s. Pengujian *loss 1 phase* dengan cara mensimulasikan kehilangan salah satu *phase* dengan memasukan arus pada pada fasa R dan T dengan nilai arus pada R 12 A dan fasa T dengan nilai 0 A. Waktu operasi *relay* ini bekerja dengan waktu 1,3745 s. Berikut ini karakteristik kurva dari *unbalance current* dan *negative sequence relay* pada Gambar 8.



Gambar 8 Karakteristik Kurva *Unbalance Current* dan *Negative Sequence*

Pada Gambar 8 menampilkan karakteristik kurva *extremely inverse*. Garis merah merupakan titik pengujian *relay* ini. Karakteristik kurva *extremely inverse*, *relay* ini dirancang untuk memberikan respons yang lebih cepat terhadap kondisi arus yang tidak seimbang. Hasil titik pengujian melibatkan arus *negative sequence*, memberikan gambaran tentang kemampuan *relay* untuk mendeteksi dan merespons ketidakseimbangan yang dapat terjadi akibat gangguan dalam motor.

3.7. Fungsi, Setting, dan Pengujian *Ground faults*

Ground faults berfungsi untuk mendeteksi terhadap gangguan tanah dengan cara perhitungan arus residual yang diukur melalui sensor arus tiga fasa. *Transformer* yang berperan dalam proses ini beroperasi melalui *On core-balance CT*, karakteristik kurva *relay* ini adalah *instantaneous relay*, yang berarti *relay* ini memberikan respons segera saat terdeteksi adanya gangguan. *Setting ground faults* menggunakan Persamaan (7)

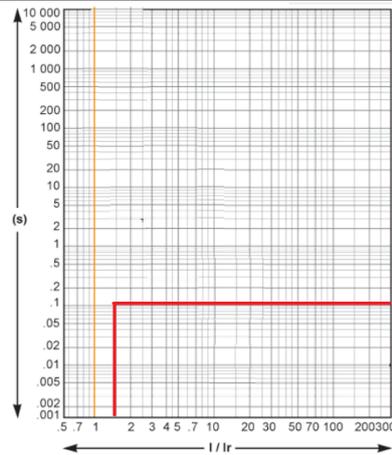
$$I_p = K_o \times I_n \text{ CT} \quad (7)$$

Pada Persamaan (4.7) untuk menentukan nilai arus *pick up* (I_p) dengan cara K_o merupakan nilai *setting ground fault* dikali I_n CT merupakan nilai arus nominal pada sisi sekunder CT. Nilai K_o di *setting* sesuai dengan karakteristik motor dengan nilai 0,3 pada *channel 4* dengan waktu operasi *relay* ini 0,1 s. Berikut ini merupakan hasil pengujian *ground fault* pada Tabel 8.

Tabel 7 Pengujian *Ground Fault Relay*

Setting	0,3
Injection Current	Time
1,5 A	0,1054 s

Berdasarkan Tabel 8 pengujian *relay* ini mensimulasikan gangguan *ground faults* dengan menggunakan metode *injection current* sebesar 1,5 A. Proses simulasi ini bertujuan untuk menguji respons *relay* terhadap kondisi *ground faults* waktu yang dibutuhkan *relay* untuk melakukan 0,1054s. Hasil pengujian ini memberikan keyakinan bahwa *relay* ini mampu memberikan respons yang cepat dan andal dalam mengatasi situasi arus bocor ke tanah secara keseluruhan. Berikut ini karakteristik kurva dari *ground faults* pada Gambar 9.



Gambar 9 Karakteristik Kurva *Ground Fault*

Berdasarkan Gambar 9 menampilkan kurva karakteristik *instantaneous time relay* bekerja tanpa waktu tunda. Garis merah merupakan titik pengujian dari *relay* dengan arus 1,5 A dan waktu kerja 0,1054 s. Hasil pengujian ini mencerminkan kemampuan *relay* untuk memberikan respons instan terhadap kondisi *ground faults* dalam motor, dengan tanpa waktu tunda, *relay* ini dirancang untuk segera memutus sirkuit ketika terdeteksi adanya gangguan tanah, memberikan perlindungan yang cepat terhadap potensi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang diperoleh setelah melakukan terkait analisis sistem proteksi motor BFP induksi 6 kV tiga fasa didapat beberapa kesimpulan. Sistem proteksi pada Motor *Boiler Feed Pump* (BFP) perlindungan terhadap gangguan yang mungkin terjadi pada motor tersebut, termasuk *thermal overcurrent*, *long start*, *short circuit*, *undercurrent*, *unbalance current*, dan *ground faults*. Motor BFP memiliki peran krusial dalam menjaga operasional dan gangguan potensial pada motor ini dapat mempengaruhi kinerjanya. Penggunaan *relay type IMM 7990* sebagai sistem proteksi motor pada BFP dapat memproteksi motor dari berbagai gangguan. Berikut ini merupakan *setting relay*. *Setting arus pick up thermal over current* dengan nilai I_p 4,7 A dan *setting waktu tunda* memiliki karakteristik kurva *inverse*. *Setting arus pick up long start relay* dan *setting waktu tunda definite* sesuai dengan karakteristik *start* motor. *Setting arus pick up short circuit relay* di atas nilai arus *start* motor dengan nilai 24,64 A dan *setting waktu tunda* 0,08 s memiliki karakteristik kurva *instantaneous*. *Setting arus pick up unbalance current relay* dengan nilai 2,2 A perbedaan antar fasa dan *setting waktu tunda* memiliki karakteristik *extremely inverse*. *Setting arus pick up ground faults relay* dengan nilai 1,5 A arus sisa dari penjumlahan arus antar tiga fasa dan *setting waktu tunda* 0,1 s memiliki karakteristik kurva *instantaneous*. *Setting arus pick up under current relay* rentang kerja 0,151 In hingga 0,41 In dan *setting waktu tunda* 3 s memiliki karakteristik *definite*. Hasil pengujian dari *relay IMM 7990* dengan cara *injection current* mensimulasikan berbagai gangguan menunjukkan bahwa *relay* tersebut dalam kondisi baik dan layak digunakan sehingga tidak diperlukan perbaikan penggantian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap civitas akademika program studi Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan dukungan penuh terhadap kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Damara D. O., I. N. M. Yasa, “Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Permintaan Energi Listrik di Provinsi Bali,” *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana*, vol. 8, no. 1, pp. 211–238, 2019.
- [2] Fahmi I., F. G. Afandi, N. A. Sasongko, D. Yoesgiantoro, “Peran Teknologi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Geothermal Guna Mendukung Tercapainya Net Zero Emission (NZE),” *Jurnal Kewarganegaraan*, vol. 6, no. 2, pp. 3020–3024, 2022.
- [3] Alber I. D., B. F. T. Kiono, “Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, Heat Rate dan Efisiensi Pada Unit 1 PLTU Kendari-3,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 3, pp. 179–186, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13371.
- [4] Wardoyo S., Marlrohan, R. Munarto, “Sistem Proteksi Motor 6 KV 800 KW Menggunakan Boiler Feed Water Pump Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap,” *Seminar Nasional Teknik Elektro, Informatika & Sistem Informasi (SINTaKS)*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.35842/sintaks.v1i1.25.
- [5] Y. Iswahyudi and M. Tamjidillah, “Analisis Pengaruh Vibrasi Terhadap Performa Boiler Feedwater Pump (BFP) 3B PLTU Asam Asam,” *Rotary*, vol. 2, no. 2, pp. 235–244, 2020.
- [6] Syah F. F., E. Permata, “Sistem Motor Listrik 6 KV Condensate Extraction Pump di PT PLN Indonesia Power PLTU Suralaya (PGU),” *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika (JTMEI)*, vol. 2, no. 2, pp. 122–137, 2023, doi: 10.55606/jtmei.v2i2.1687.
- [7] Jaya E. A. P., A. Musthofa, C. W. Priananda, “Sistem Proteksi Gangguan Thermal dan Arus Lebih Motor Induksi 3 Fasa pada Mesin Kompresor Menggunakan Metode Logika Fuzzy Dilengkapi Fitur Mobile App,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. A412–A419, 2021.
- [8] Julianto E., F. Fuazen, G. Gunarto, E. Sarwono, “Performance Analysis Of Boiler Feed Water Pump Sulzer At PLTU At PT PLN Indonesia Chemical Alumina,” *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 15, no. 2, p. 103, 2021, doi: 10.24853/sintek.15.2.103-106.
- [9] Reza M., Muhammad, M. Jannah, “Analisa Pengoperasian Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Menggunakan Sumber Satu Fasa,” *Jurnal Energi Listrik*, vol. 10, no. 1, pp. 35–40, 2021.