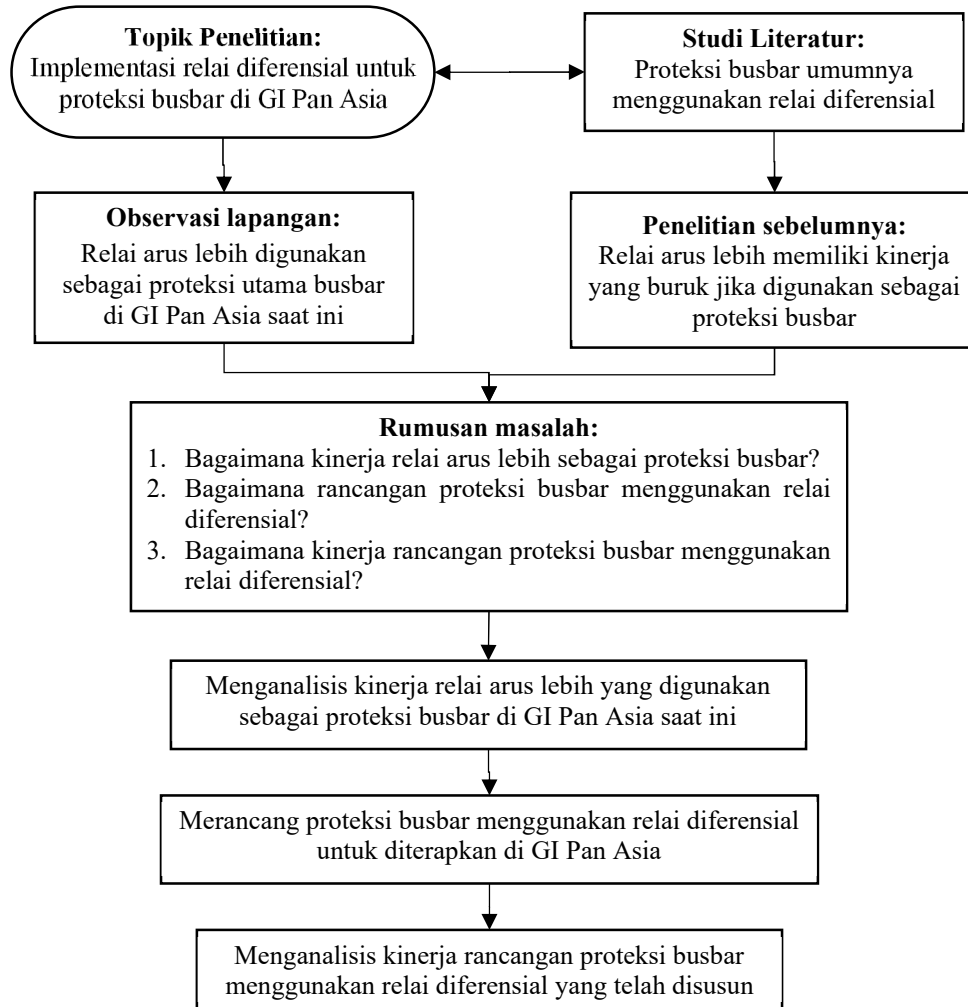


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengikuti kerangka yang diungkapkan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir desain penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur untuk menentukan topik penelitian yang akan diangkat. Setelah topik penelitian ditentukan, kemudian dilakukan observasi lapangan untuk menemukan fenomena dan permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian. Melalui observasi lapangan diperoleh fakta bahwa relai arus lebih digunakan sebagai proteksi utama busbar di GI Pan Asia saat ini. Sedangkan berdasarkan studi literatur yang diungkapkan pada beberapa penelitian sebelumnya dinyatakan bahwa relai arus lebih memiliki kinerja yang buruk jika

digunakan sebagai proteksi busbar. Nampak terdapat kesenjangan antara hasil studi literatur dengan fakta pada observasi lapangan, sehingga memunculkan pertanyaan penelitian yang dimuat sebagai rumusan masalah sebagaimana diungkapkan pada diagram alir desain penelitian pada Gambar 3.1 di atas.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja relai arus lebih yang digunakan sebagai proteksi busbar di GI Pan Asia saat ini, kemudian merancang proteksi busbar menggunakan relai diferensial untuk dapat diterapkan di GI Pan Asia, serta menganalisis kinerja rancangan tersebut. Unsur kebaruan dari penelitian ini ialah rancangan relai diferensial proteksi busbar disusun dengan skema *centralized low impedance*. Proses penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif berbasis eksperimental dengan metode simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1. Data yang diperlukan sebagai penunjang penelitian ialah *single line diagram*, spesifikasi peralatan, *setting* relai proteksi, dan beban di GI Pan Asia yang diperoleh melalui observasi lapangan dan diskusi.

3.2 Partisipan dan Lokasi Penelitian

Partisipan penelitian ialah Supervisor GI Pan Asia yakni Ahmad Firdaus, dan Operator GI Pan Asia yakni Riza Syahputra, Gumelar Ikhsan, dan Dicky Darmawan. Seluruh partisipan merupakan narasumber dalam memperoleh data penunjang penelitian yang diperlukan. Serangkaian proses penelitian dimulai dari pengambilan data hingga perancangan proteksi busbar dilakukan di lingkungan GI Pan Asia yang beralamat di Jl. Katapang Andir, Kec. Baleendah, Kab. Bandung. Gambar 3.2 di bawah ini menunjukkan lokasi GI Pan Asia pada tampilan peta yang diperoleh dari situs *Google Maps*.



Gambar 3.2 Lokasi GI Pan Asia pada peta (*Google Maps*)

3.3 Instrumen Penelitian

Perangkat utama dalam melakukan penelitian ialah menentukan instrumen penelitian sehingga proses pengolahan data dapat berjalan dengan baik. Instrumen penelitian terdiri atas metode pengumpulan data beserta data penelitian yang diperoleh sebagaimana diungkapkan berikut.

3.3.1 Metode Pengumpulan Data

Berbagai data penelitian diperoleh melalui beberapa metode sebagai berikut:

1. Observasi

Metode observasi ialah pengumpulan data dengan melakukan kunjungan terhadap lokasi penelitian yakni GI Pan Asia untuk mengamati kondisi dan memperoleh data teknis, diantaranya *single line diagram*, spesifikasi transformator arus (CT), *setting* relai arus lebih eksisting, beban gardu induk, kapasitas arus hubung singkat, dll.

2. Diskusi

Metode diskusi ialah pengumpulan data dengan cara melakukan konsultasi atau saling bertukar ilmu secara langsung dengan narasumber di lapangan yakni Supervisor dan Operator GI Pan Asia, serta dosen pembimbing guna mendapat informasi terkait metode dan hal-hal yang berkaitan dengan perancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial.

3. Simulasi

Metode simulasi dilakukan dengan bantuan *software* ETAP 19.0.1 untuk meninjau laju aliran daya, besar arus gangguan yang timbul, serta kinerja relai arus lebih eksisting dan kinerja rancangan relai diferensial dalam menangani gangguan hubung singkat pada busbar.

4. Studi Literatur

Metode studi literatur ialah pengumpulan data melalui berbagai referensi berupa artikel jurnal, buku, skripsi, dll., yang berkaitan dengan topik penelitian ini untuk mendapatkan pengetahuan dasar yang dapat menunjang penulisan skripsi.

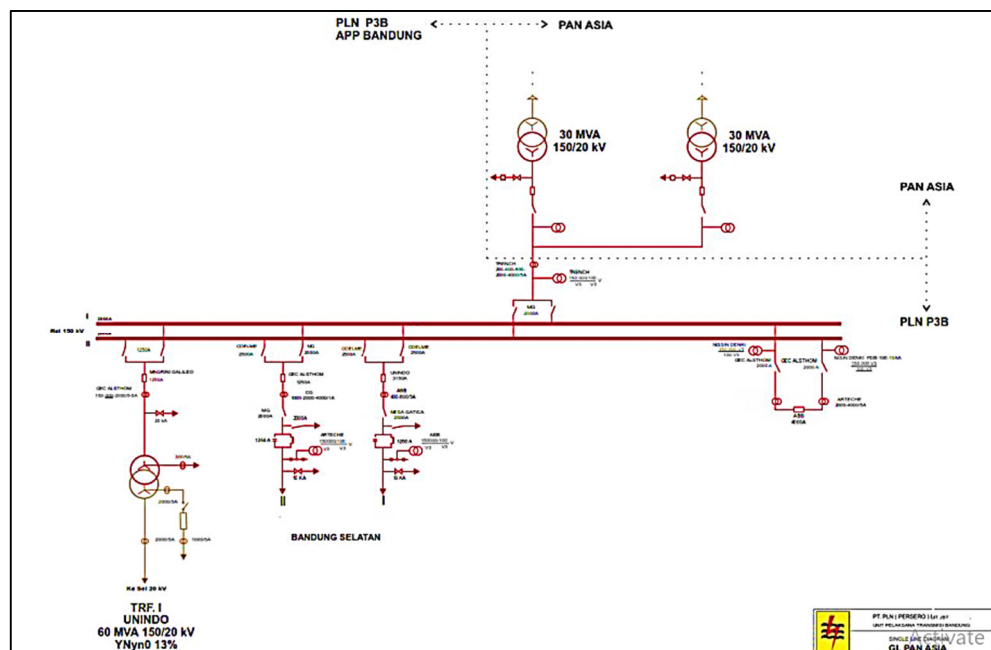
3.3.2 Data Penelitian

Data-data penunjang penelitian yang telah diperoleh diantaranya ialah:

1. Single *Line Diagram* GI Pan Asia

GI Pan Asia memiliki *switch yard* yang terdiri atas 5 buah *bay* yaitu *Bay* Penghantar Bandung Selatan I dan II (BDSLN I dan II), *Bay* Kopel, *Bay* Trafo I, dan *Bay* Konsumen Tegangan Tinggi (KTT). *Bay* Penghantar Bandung Selatan I dan II merupakan saluran transmisi yang menyuplai energi listrik kepada GI Pan Asia yang bersumber dari GI Bandung Selatan. Sedangkan *Bay* Trafo I dan KTT merupakan transformator tenaga (beban) yang terhubung dengan GI Pan Asia. Pada konfigurasi saat ini, *Bay* BDSLN I dan KTT terhubung pada Busbar I, sedangkan *Bay* BDSLN II dan Trafo I terhubung dengan Busbar II, adapun Busbar I dan Busbar II dihubungkan melalui *Bay* Kopel.

Konfigurasi *switch yard* GI Pan Asia ditunjukkan melalui *single line diagram* pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 *Single line diagram* GI Pan Asia

2. Kapasitas Daya GI Pan Asia

Pada *single line diagram* yang ditunjukkan Gambar 3.3, nampak terdapat tiga transformator tenaga yang berada di *switch yard* GI Pan Asia, namun saat ini satu unit transformator tenaga dengan kapasitas daya 30 MVA sudah tidak beroperasi. Sehingga beban GI Pan Asia hanya berupa dua unit transformator tenaga dengan spesifikasi dan kapasitas daya yang diungkapkan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Daftar Beban GI Pan Asia

Nama Trafo	Merk	Daya	Tegangan Primer	Tegangan Sekunder	Arus Nominal
Trafo I	UNINDO	60 MVA	150 kV	20 kV	230 A
Trafo KTT	ABB	30 MVA	150 kV	20 kV	115 A

3. Spesifikasi Transformator Arus (CT) GI Pan Asia

Setiap *bay* di GI Pan Asia dilengkapi peralatan proteksi dan pengukuran, salah satunya ialah trafo arus dengan spesifikasi yang diungkapkan pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Spesifikasi transformator arus (CT) setiap *bay*

Spesifikasi	<i>Bay</i>				
	BDSL N I	BDSL N II	Kopel	Trafo 1	KTT
Merk	ABB	CG	ARTECHE	GEC ALSTOM	TRENCH
Tipe	IMBD 170 A3	IOSK 170/325/750	CA - 170	QDR 170	IOSK 170
Rasio	400/5, 800/5, 800/5	1000/1, 2000/1, 4000/1	4000/5, 2000/5	150/5, 300/5, 2000/5	200/5, 400/5, 800/5, 2000/5, 4000/5

4. Setting Relai Arus Lebih GI Pan Asia

Relai arus lebih (OCR) yang digunakan sebagai proteksi busbar di GI Pan Asia saat ini memiliki *setting* sebagaimana diungkapkan pada Tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Spesifikasi dan *setting* relai arus lebih

Spesifikasi	<i>Bay</i>				
	BDSL N I	BDSL N II	Kopel	Trafo 1	KTT
Merk	GEC ALSTOM	GEC ALSTOM	SIFANG	SIFANG	GEC ALSTOM
Tipe	MCGG82	Micom P14D	CSC-211	CSC-211	MCGG82
Rasio CT	400/5	1000/1	2000/5	300/5	200/5
$I_{Nominal}$	5 A	1 A	5 A	5 A	5 A
$I_{Pick\ up}$	4,5 A	0,36 A	6 A	4,619 A	2,1 A
$I_{Pick\ up}$ [150 kV]	360 A	360 A	2400 A	277 A	84 A
Tms	0,55 s	0,545 s	0,4 s	0,353 s	0,35 s
Karakteristik Relai	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse

5. Daya dan Arus Hubung Singkat GI Pan Asia

Saluran Bandung Selatan I dan II merupakan saluran transmisi yang memiliki kontribusi terbesar pada nilai daya dan arus hubung singkat pada busbar di GI Pan Asia. Berdasarkan data spesifikasi saluran transmisi PT. PLN (Persero), diperoleh nilai impedansi beserta kapasitas daya dan arus hubung singkat kedua saluran tersebut yang diungkapkan dalam Tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 3.4 Kapasitas hubung singkat saluran

Saluran	Daya Hubung Singkat	Arus Hubung Singkat	Impedansi urutan positif dan negatif	Impedansi urutan nol
BDSL N I	2.598 MVA _{SC}	10 kA _{SC}	1,37 + j4,21 Ω	3,92 + j12,32 Ω
BDSL N II	2.598 MVA _{SC}	10 kA _{SC}	1,37 + j4,21 Ω	3,92 + j12,32 Ω

Dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 3.4 ke dalam *software* simulasi ETAP 19.0.1 (ditunjukkan pada Lampiran 4), maka melalui simulasi aliran daya (*Load Flow Analysis*) dan simulasi hubung singkat (*Short Circuit Analysis*) dapat diketahui nilai arus yang mengalir pada setiap *bay* pada kondisi normal dan saat terjadi hubung singkat di berbagai lokasi sebagaimana diungkapkan pada Tabel 3.5 berikut. Adapun tampilan simulasi ditunjukkan pada bagian Lampiran 3.

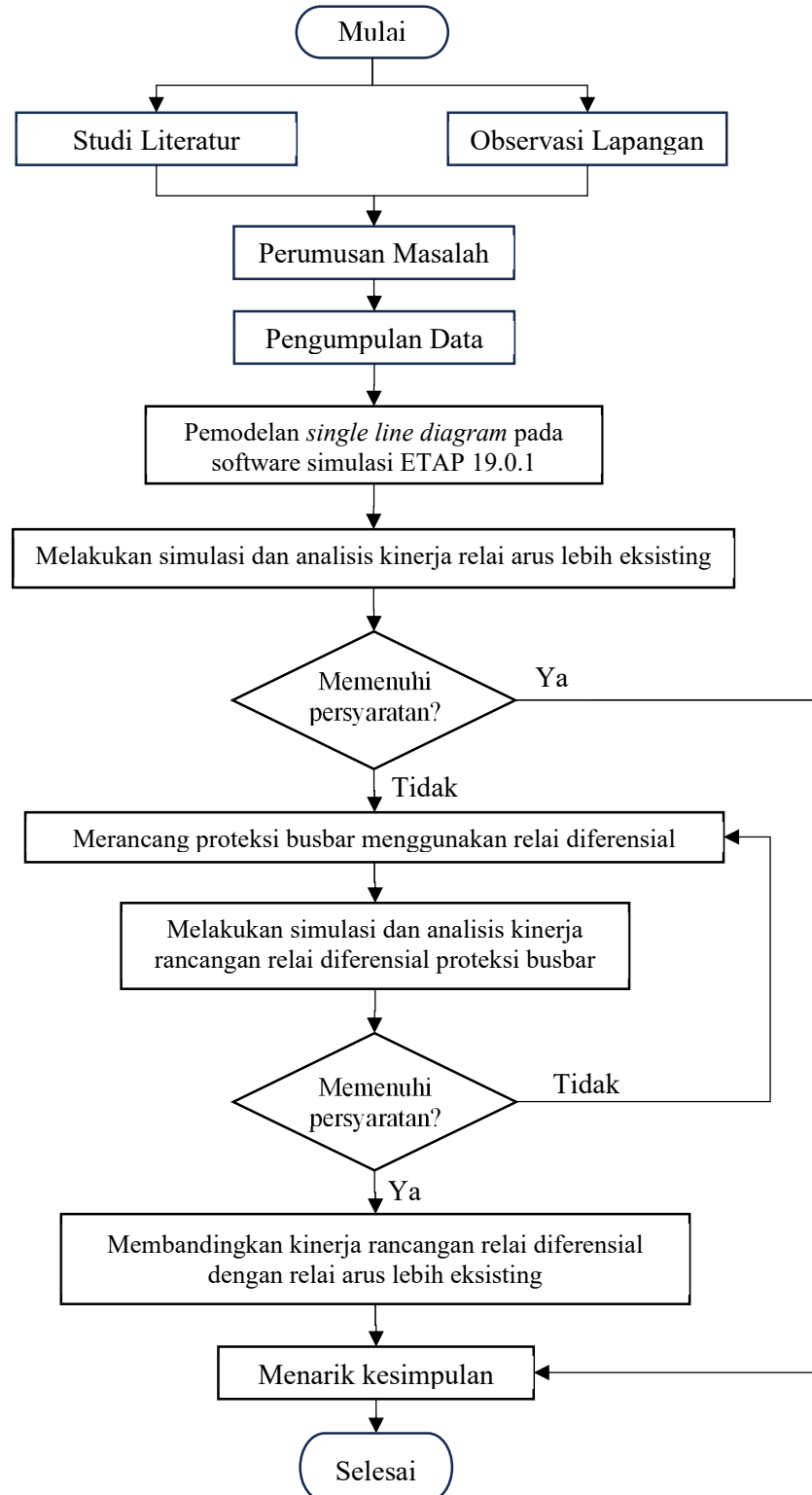
Tabel 3.5 Arus setiap *bay* pada berbagai kondisi

Titik Gangguan	Arus Bay [A]				
	BDSL N I	BDSL N II	Kopel	Trafo 1	KTT
Kondisi Normal	152,3	152,3	80,9	233,8	71,9
Kondisi Beban 50%	75,8	75,8	40,7	116,9	35,6
Busbar I	7.706	7.706	8.317	627	312
Busbar II	7.706	7.706	8.010	627	312
Bay BDSLN I	8.621	7.706	8.317	627	312
Line BDSLN I 25%	8.084	7.226	7.798	588	293
Line BDSLN I 50%	7.609	6.801	7.340	554	275
Line BDSLN I 75%	7.244	6.476	6.989	527	262
Bay BDSLN II	7.706	8.621	8.010	627	312
Line BDSLN II 25%	7.226	8.084	7.510	588	293
Line BDSLN II 50%	6.801	7.609	7.069	554	275
Line BDSLN II 75%	6.476	7.244	6.731	527	262
Bay KTT	7.706	7.706	8.317	627	16.022
Bay Trafo I	7.706	7.706	8.010	15.716	312

Nilai arus pada setiap *bay* pada berbagai kondisi yang diungkapkan pada Tabel 3.5 tersebut merupakan data yang diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam menghitung dan menentukan *setting* relai diferensial pada tahap berikutnya.

3.4 Prosedur Penelitian

Rangkaian proses penelitian dilaksanakan dengan mengikuti tahapan yang diungkapkan melalui diagram alir pada Gambar 3.4 di bawah ini:



Gambar 3.4 Diagram alir prosedur penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan terhadap langkah-langkah yang dimuat dalam diagram alir pada Gambar 3.4 di atas.

1. Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk menentukan topik penelitian yang akan diangkat. Seiring dengan itu, dilakukan pula observasi lapangan untuk menemukan fenomena dan permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian.
2. Setelah diperoleh latar belakang penelitian, maka perlu ditentukan secara rinci rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini sehingga dapat ditentukan pula tujuan dan manfaat penelitian yang hendak dicapai.
3. Untuk memulai penelitian diperlukan pengumpulan data-data dari lapangan yang akan diperlukan untuk proses pengolahan data pada tahap selanjutnya.
4. Pengolahan data dilakukan melalui metode simulasi dan analisis menggunakan *software* ETAP 19.0.1, sehingga langkah awal dalam pengolahan data ialah membuat pemodelan *single line diagram* pada ETAP 19.0.1 berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan. Dengan demikian proses simulasi dapat menghasilkan nilai-nilai yang sesuai dengan nilai sebenarnya.
5. Simulasi pertama yang dilakukan ialah melakukan simulasi hubung singkat pada busbar kemudian meninjau kinerja relai arus lebih yang terpasang saat ini dalam menangani gangguan tersebut. Hasil simulasi berupa pola koordinasi dan waktu kerja relai kemudian dianalisa untuk menentukan apakah kinerja relai arus lebih memenuhi persyaratan proteksi sistem tenaga listrik atau tidak.
6. Tahap yang paling utama dan menjadi inti dari penelitian ini ialah merancang proteksi busbar menggunakan relai diferensial dengan menerapkan skema *centralized low impedance*. Rancangan yang dihasilkan meliputi skema rangkaian proteksi busbar dan *setting* relai diferensial yang diterapkan.
7. Setelah rancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial selesai, maka dilakukan simulasi hubung singkat pada busbar untuk meninjau kinerja rancangan relai diferensial dalam menangani gangguan tersebut. Hasil simulasi berupa pola koordinasi dan waktu kerja relai kemudian dianalisa untuk menentukan apakah kinerja rancangan relai diferensial memenuhi persyaratan proteksi sistem tenaga listrik atau tidak.

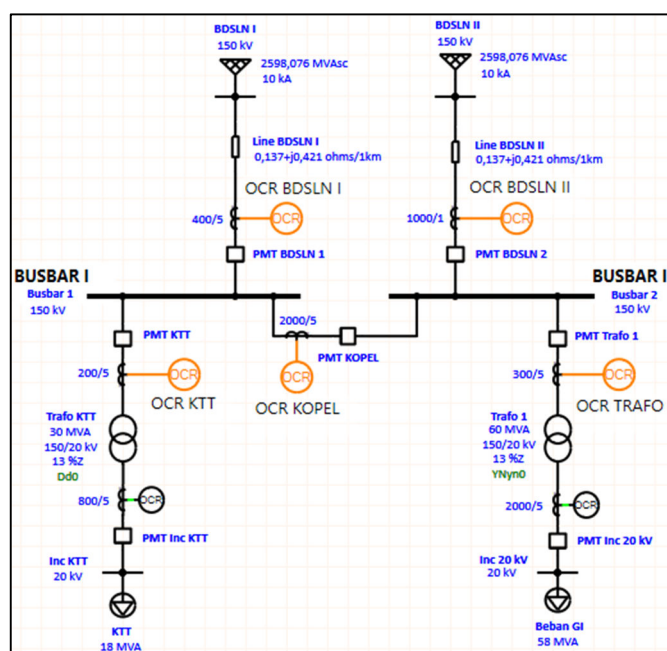
8. Tahap akhir penelitian ini ialah melakukan analisis dengan membandingkan kinerja relai berdasarkan hasil simulasi. Parameter keberhasilan penelitian ialah rancangan relai diferensial proteksi busbar memiliki kinerja yang lebih cepat, sensitif, selektif, dan andal dibandingkan relai arus lebih yang terpasang saat ini, sehingga memenuhi kaidah dan persyaratan proteksi sistem tenaga listrik.
9. Setelah seluruh tahapan dilakukan dan telah diperoleh hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan yang dapat menjawab seluruh rumusan masalah yang muncul pada penelitian, sehingga tujuan dan manfaat penelitian dapat tercapai.

3.5 Analisis Data

Seluruh proses pengolahan data dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi dan analisis data. Berbagai proses pengolahan data terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut.

3.5.1 Pemodelan *Single Line Diagram* Pada Software ETAP 19.0.1

Gambar 3.5 di bawah ini merupakan tampilan pemodelan *single line diagram* GI Pan Asia pada *software* simulasi ETAP 19.0.1.

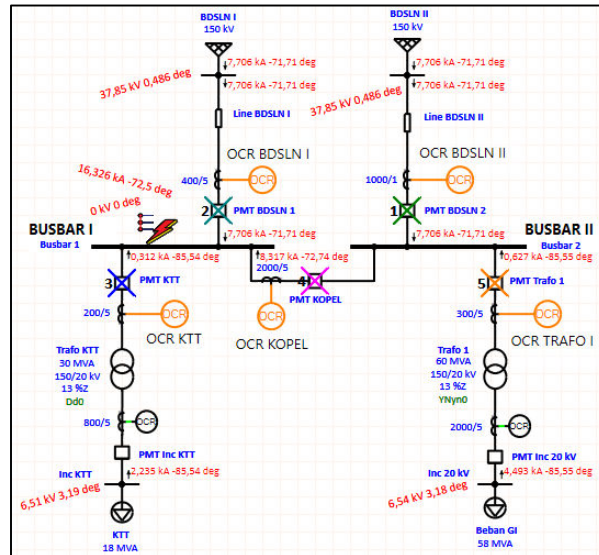


Gambar 3.5 Pemodelan *single line diagram* GI Pan Asia pada ETAP 19.0.1

Seluruh data penunjang penelitian yang diperoleh digunakan sebagai pedoman dalam menyusun pemodelan *single line diagram* di atas agar seluruh parameter yang diterapkan dalam simulasi sesuai dengan kondisi di lapangan, sehingga simulasi dapat menghasilkan nilai yang sesuai dengan nilai sebenarnya.

3.5.2 Analisis Kinerja Relai Arus Lebih Sebagai Proteksi Busbar

Untuk menguji kinerja relai arus lebih dalam menangani gangguan hubung singkat yang terjadi pada busbar dilakukan melalui simulasi dengan menggunakan mode *Star – Protection & Coordination* pada *software* ETAP 19.0.1. Kemudian untuk menentukan titik terjadinya gangguan digunakan fitur *Fault Insertion*. Tampilan simulasi hubung singkat pada busbar ditunjukkan Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Tampilan simulasi hubung singkat pada ETAP 19.0.1

Untuk meninjau pola koordinasi dan waktu kerja relai, serta arus hubung singkat yang timbul ialah dengan menggunakan fitur *Sequence Viewer* pada *software* ETAP 19.0.1 dengan tampilan ditunjukkan Gambar 3.7 berikut.

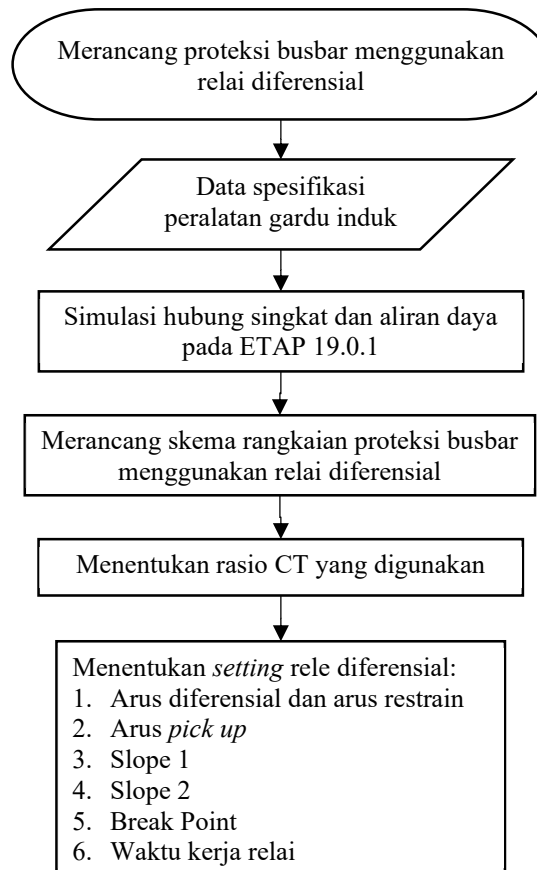
Sequence-of-Operation Events - Output Report: HS					
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Busbar 1					
Data Rev.: Base		Config: Normal		Date: 29-05-2023	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	Condition	
1207	OCR BDSLN 2	7,706	1207	Phase - OC1 - 51	
1219	OCR BDSLN 1	7,706	1219	Phase - OC1 - 51	
1237	PMT BDSLN 2	30,0	30,0	Tripped by OCR BDSLN 2 Phase	
1249	PMT BDSLN 1	30,0	30,0	Tripped by OCR BDSLN 1 Phase	
1842	OCR KTT	0,312	1842	Phase - OC1 - 51	
1872	PMT KTT	30,0	30,0	Tripped by OCR KTT Phase - OC	
2225	OCR KOPEL	8,317	2225	Phase - OC1 - 51	
2255	PMT KOPEL	30,0	30,0	Tripped by OCR KOPEL Phase - C	
3001	OCR Trafo 1	0,627	3001	Phase - OC1 - 51	
3031	PMT Trafo 1	30,0	30,0	Tripped by OCR Trafo 1 Phase - C	

Gambar 3.7 Tampilan *Sequence Viewer* pada ETAP 19.0.1

Setelah diperoleh pola koordinasi dan waktu kerja relai berdasarkan hasil simulasi, maka dapat dilakukan analisis kinerja relai arus lebih sebagai proteksi busbar dengan mengacu pada persyaratan proteksi sistem tenaga listrik, yakni dengan menganalisis aspek kecepatan, sensitifitas, selektifitas, dan keandalan.

3.5.3 Merancang Proteksi Busbar Menggunakan Relai Diferensial

Dalam merancang proteksi busbar menggunakan relai diferensial terdiri atas dua tahap utama yakni merancang skema rangkaian proteksi busbar dan menentukan *setting* relai diferensial yang akan diterapkan. Langkah-langkah perancangan secara lengkap diungkapkan melalui diagram alir pada Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.8 Langkah perancangan proteksi busbar

3.5.3.1 Merancang skema rangkaian proteksi busbar

Sebagai kebaruan dari penelitian ini, rancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial disusun dengan skema *centralized low impedance*. Skema *centralized low impedance* merupakan proteksi busbar menggunakan relai diferensial jenis *low impedance* dengan prinsip kerja pembacaan arus yang mengalir masuk dan keluar busbar dilakukan secara terpusat (*centralized*) oleh satu unit relai diferensial. Begitupula perintah *trip* pada PMT di seluruh *bay* yang terhubung dengan busbar dilakukan secara terpusat oleh satu unit relai. Skema *centralized low impedance* ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut.

Perhitungan Busbar I

Tabel 3.7 di bawah ini menyajikan nilai arus pada sisi primer dan sekunder CT di setiap *bay* yang terhubung dengan Busbar I pada berbagai kondisi.

Tabel 3.7 Arus *bay* yang terhubung dengan Busbar I

Titik Gangguan	Arus BDSLN I [A]		Arus KTT [A]		Arus Kopel [A]	
	Primer CT	Sekunder CT	Primer CT	Sekunder CT	Primer CT	Sekunder CT
Kondisi Normal	152,3	0,952	-71,9	-0,180	-80,9	-0,101
Kondisi Beban 50%	75,8	0,474	-35,6	-0,089	-40,7	-0,051
Busbar I	7.706	48,163	312	0,78	8.317	10,396
Busbar II	7.706	48,163	312	0,78	-8.010	-10,013
<i>Bay</i> BDSLN I	-8.621	-53,881	312	0,78	8.317	10,396
<i>Line</i> BDSLN I 25%	-8.084	-50,525	293	0,733	7.798	9,748
<i>Line</i> BDSLN I 50%	-7.609	-47,556	275	0,688	7.340	9,175
<i>Line</i> BDSLN I 75%	-7.244	-45,275	262	0,655	6.989	8,736
<i>Bay</i> BDSLN II	7.706	48,163	312	0,78	-8.010	-10,013
<i>Line</i> BDSLN II 25%	7.226	45,163	293	0,733	-7.510	-9,388
<i>Line</i> BDSLN II 50%	6.801	42,506	275	0,688	-7.069	-8,836
<i>Line</i> BDSLN II 75%	6.476	40,475	262	0,655	-6.731	-8,414
<i>Bay</i> KTT	7.706	48,163	-16.022	-40,055	8.317	10,396
<i>Bay</i> Trafo I	7.706	48,163	312	0,78	-8.010	-10,013

Nilai arus diferensial dapat diperoleh melalui persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$I_{Dif\ Busbar} = |I_{masuk\ busbar} - I_{keluar\ busbar}|$$

$$I_{Dif\ Busbar\ I} = |I_{BDSLN\ I} - I_{KTT} - I_{Kopel}|$$

Kemudian, nilai arus *restrain* dapat diperoleh melalui persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$I_{Res\ Busbar} = I_{masuk\ busbar} + I_{keluar\ busbar}$$

$$I_{Res\ Busbar\ I} = I_{BDSLN\ I} + I_{KTT} + I_{Kopel}$$

Nilai arus yang digunakan dalam perhitungan ialah nilai arus pada sisi sekunder CT yang diungkapkan pada Tabel 3.7 di atas. Sehingga, hasil perhitungan nilai arus diferensial dan arus *restrain* pada Busbar I yakni diungkapkan dalam Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Arus diferensial dan arus *restrain* pada Busbar I

Titik Gangguan	Arus Diferensial [A]	Arus <i>Restrain</i> [A]
Kondisi Normal	0,671	1,233
Kondisi Beban 50%	0,334	0,614
Busbar I	59,339	59,339

Titik Gangguan	Arus Diferensial [A]	Arus <i>Restrain</i> [A]
Busbar II	38,93	58,955
Bay BDSLN I	42,705	65,058
Line BDSLN I 25%	40,045	61,005
Line BDSLN I 50%	37,694	57,419
Line BDSLN I 75%	35,884	54,666
Bay BDSLN II	38,93	58,955
Line BDSLN II 25%	36,508	55,283
Line BDSLN II 50%	34,358	52,030
Line BDSLN II 75%	32,716	49,544
Bay KTT	18,504	98,614
Bay Trafo I	38,93	58,955

Perhitungan Busbar II

Tabel 3.9 di bawah ini merupakan nilai arus pada sisi primer dan sekunder CT di setiap bay yang terhubung dengan Busbar II pada berbagai kondisi.

Tabel 3.9 Arus bay yang terhubung dengan Busbar II

Titik Gangguan	Arus BDSLN II [A]		Arus Trafo I [A]		Arus Kopel [A]	
	Primer CT	Sekunder CT	Primer CT	Sekunder CT	Primer CT	Sekunder CT
Kondisi Normal	152,3	0,076	-233,8	-0,585	80,9	0,101
Kondisi Beban 50%	75,8	0,038	-116,9	-0,292	40,7	0,051
Busbar I	7.706	3,853	627	1,568	-8.317	-10,396
Busbar II	7.706	3,853	627	1,568	8.010	10,013
Bay BDSLN I	7.706	3,853	627	1,568	-8.317	-10,396
Line BDSLN I 25%	7.226	3,613	588	1,470	-7.798	-9,748
Line BDSLN I 50%	6.801	3,401	554	1,385	-7.340	-9,175
Line BDSLN I 75%	6.476	3,238	527	1,318	-6.989	-8,736
Bay BDSLN II	-8.621	-4,311	627	1,568	8.010	10,013
Line BDSLN II 25%	-8.084	-4,042	588	1,470	7.510	9,388
Line BDSLN II 50%	-7.609	-3,805	554	1,385	7.069	8,836
Line BDSLN II 75%	-7.244	-3,622	527	1,318	6.731	8,414
Bay KTT	7.706	3,853	627	1,568	-8.317	-10,396
Bay Trafo I	7.706	3,853	-15.716	-39,29	8.010	10,013

Nilai arus diferensial dapat diperoleh melalui persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$I_{Dif \text{ Busbar}} = |I_{masuk \text{ busbar}} - I_{keluar \text{ busbar}}|$$

$$I_{Dif \text{ Busbar II}} = |I_{BDSLN \text{ II}} + I_{Kopel} - I_{Trafo \text{ I}}|$$

Nilai arus *restrain* dapat diperoleh melalui persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$I_{Res \text{ Busbar}} = I_{masuk \text{ busbar}} + I_{keluar \text{ busbar}}$$

$$I_{Res \text{ Busbar II}} = I_{BDSLN \text{ II}} + I_{Trafo \text{ I}} + I_{Kopel}$$

Hasil perhitungan nilai arus diferensial dan arus *restrain* pada Busbar II yakni diungkapkan dalam Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Arus diferensial dan arus *restrain* pada Busbar II

Titik Gangguan	Arus Diferensial [A]	Arus <i>Restrain</i> [A]
Kondisi Normal	0,407	0,762
Kondisi Beban 50%	0,203	0,381
Busbar I	4,976	15,817
Busbar II	15,433	15,433
Bay BDSLN I	4,976	15,817
Line BDSLN I 25%	4,665	14,831
Line BDSLN I 50%	4,390	13,961
Line BDSLN I 75%	4,181	13,292
Bay BDSLN II	7,270	15,891
Line BDSLN II 25%	6,816	14,900
Line BDSLN II 50%	6,417	14,026
Line BDSLN II 75%	6,109	13,353
Bay KTT	4,976	15,817
Bay Trafo I	25,425	53,156

2. Menentukan Arus *Pick up*

Perhitungan Busbar I

Untuk menentukan arus *pick up* perlu menghitung persentase arus diferensial Busbar I pada kondisi normal terhadap arus nominal relai yakni:

$$I_{Dif\ Busbar\ I} = \frac{0,671}{5} \times 100\% = 13,42\% I_N$$

Maka, berdasarkan persamaan 2.4 diperoleh arus *pick up* sebagai berikut:

$$I_{Pick\ Up} = (I_{Dif\ Busbar\ I} + Error\ CT + Margin)\% \times I_N$$

$$I_{Pick\ Up} = (13,42 + 10 + 5)\% \times 5$$

$$I_{Pick\ Up} = 1,421\ A$$

Perhitungan Busbar II

Persentase arus diferensial Busbar II pada kondisi normal terhadap arus nominal relai yakni:

$$I_{Dif\ Busbar\ II} = \frac{0,408}{5} \times 100\% = 8,16\% I_N$$

Maka, berdasarkan persamaan 2.4 diperoleh arus *pick up* sebagai berikut:

$$I_{Pick\ Up} = (I_{Dif\ Busbar\ II} + Error\ CT + Margin)\% \times I_N$$

$$I_{Pick\ Up} = (8,16 + 10 + 5)\% \times 5 = 1,158\ A$$

3. Menentukan *Slope* 1

Perhitungan Busbar I

Untuk menentukan *Slope* 1 perlu mempertimbangkan nilai arus diferensial terkecil saat terjadi gangguan di luar zona proteksi Busbar I, yakni saat terjadi gangguan pada *Bay* KTT dengan arus diferensial sebesar 18,504 A dan arus *restrain* sebesar 98,614 A. Nilai *Slope* 1 dapat diperoleh melalui pertidaksamaan berikut:

$$k_1 > \frac{I_{Dif\ gangguan}}{I_{Res\ gangguan}}$$

$$k_1 > \frac{18,504}{98,614}$$

$$k_1 > 19\%$$

Meninjau hasil perhitungan di atas serta dengan merujuk pada Pedoman Proteksi PT. PLN (Persero) maka dapat ditentukan nilai *Slope* 1 yakni sebesar 30%. Kemudian, untuk memastikan relai bekerja saat terjadi gangguan pada Busbar I, maka nilai *Slope* 1 harus memenuhi pertidaksamaan berikut:

$$I_{Dif\ gangguan\ Busbar\ I} \geq k_1 \times I_{Res\ gangguan\ Busbar\ I}$$

$$59,339 \geq 30\% \times 59,339$$

$$59,339 \geq 23,736$$

Kondisi di atas menunjukkan bahwa persyaratan telah terpenuhi sehingga dapat ditetapkan nilai *Slope* 1 yakni:

$$k_1 = 30\%$$

Perhitungan Busbar II

Nilai arus diferensial terkecil saat terjadi gangguan di luar zona proteksi Busbar II yakni saat terjadi gangguan pada Saluran BDSLN I dengan arus diferensial sebesar 4,181A dan arus *restrain* sebesar 13,292 A. Maka, nilai *Slope* 1 dapat diperoleh melalui pertidaksamaan berikut:

$$k_1 > \frac{I_{Dif\ gangguan}}{I_{Res\ gangguan}}$$

$$k_1 > \frac{4,181}{13,292}$$

$$k_1 > 32\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka dapat ditentukan nilai *Slope* 1 yakni sebesar 40%. Kemudian, untuk memastikan relai bekerja saat terjadi

gangguan pada Busbar II, maka nilai *Slope* 1 harus memenuhi pertidaksamaan berikut:

$$I_{Dif\ gangguan\ Busbar\ II} \geq k_1 \times I_{Res\ gangguan\ Busbar\ II}$$

$$15,433 \geq 40\% \times 15,433$$

$$15,433 \geq 6,173$$

Kondisi di atas menunjukkan bahwa persyaratan telah terpenuhi sehingga dapat ditetapkan nilai *Slope* 1 yakni:

$$k_1 = 40\%$$

4. Menentukan *Slope* 2

Perhitungan Busbar I

Untuk menentukan *Slope* 2 perlu mempertimbangkan nilai arus diferensial terbesar saat terjadi gangguan di luar zona proteksi Busbar I, yakni saat terjadi gangguan pada Bay BDSLN I dengan arus diferensial sebesar 42,705 A dan arus *restrain* sebesar 65,058 A. Nilai *Slope* 2 dapat diperoleh melalui pertidaksamaan berikut:

$$k_2 > \frac{I_{Dif\ gangguan}}{I_{Res\ gangguan}}$$

$$k_2 > \frac{42,705}{65,058}$$

$$k_2 > 66\%$$

Maka, berdasarkan Pedoman Proteksi PT. PLN (Persero) dapat ditentukan nilai *Slope* 2 yakni sebesar 80%. Kemudian, untuk memastikan relai bekerja saat terjadi gangguan pada Busbar I, maka nilai *Slope* 2 harus memenuhi pertidaksamaan berikut:

$$I_{Dif\ gangguan\ Busbar\ I} \geq k_2 \times I_{Res\ gangguan\ Busbar\ I}$$

$$59,339 \geq 80\% \times 59,339$$

$$59,339 \geq 47,471$$

Kondisi di atas menunjukkan bahwa persyaratan telah terpenuhi sehingga dapat ditetapkan nilai *Slope* 2 yakni:

$$k_2 = 80\%$$

Perhitungan Busbar II

Nilai arus diferensial terbesar saat terjadi gangguan di luar zona proteksi Busbar II, yakni saat terjadi gangguan pada *Bay* Trafo I dengan arus diferensial sebesar 25,425 A dan arus *restrain* sebesar 53,156 A. Nilai *Slope 2* dapat diperoleh melalui pertidaksamaan berikut:

$$k_2 > \frac{I_{Dif\ gangguan}}{I_{Res\ gangguan}}$$

$$k_2 > \frac{25,425}{53,156}$$

$$k_2 > 48\%$$

Maka, dapat ditentukan nilai *Slope 2* yakni sebesar 70%. Kemudian, untuk memastikan relai bekerja saat terjadi gangguan pada Busbar II, maka nilai *Slope 2* harus memenuhi pertidaksamaan berikut:

$$I_{Dif\ gangguan\ Busbar\ II} \geq k_2 \times I_{Res\ gangguan\ Busbar\ II}$$

$$15,433 \geq 70\% \times 15,433$$

$$15,433 \geq 10,803$$

Kondisi di atas menunjukkan bahwa persyaratan telah terpenuhi sehingga dapat ditetapkan nilai *Slope 2* yakni:

$$k_2 = 70\%$$

5. Menentukan Break Point

Perhitungan Busbar I

Break Point diatur agar bernilai lebih kecil dari arus *restrain* saat terjadi gangguan pada Busbar I yakni sebesar 59,339 A. Maka, berdasarkan Pedoman Proteksi PT. PLN (Persero), dapat ditentukan nilai Break Point sebagai berikut:

$$BP = 9 \times I_N, \quad \text{ket.: } I_N = 5 A$$

$$BP = 9 \times 5$$

$$BP = 45 A$$

Perhitungan Busbar II

Arus *restrain* saat terjadi gangguan pada Busbar II yakni sebesar 15,433 A. Maka, dapat ditentukan nilai Break Point sebagai berikut:

$$BP = 2 \times I_N, \quad \text{ket.: } I_N = 5 A$$

$$BP = 2 \times 5 = 10 A$$

6. Menentukan Waktu Kerja Relai

Untuk memberi waktu terhadap relai dalam memvalidasi adanya gangguan dan menghindari salah kerja relai proteksi busbar, maka waktu kerja relai diferensial untuk Busbar I dan II diatur pada waktu 10 ms (mili sekon).

$$t_{Busbar I} = 10 \text{ ms}$$

$$t_{Busbar II} = 10 \text{ ms}$$

3.5.4 Analisis Kinerja Rancangan Relai Diferensial Proteksi Busbar

Setelah menyusun rancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial, maka langkah selanjutnya ialah melakukan analisis terhadap kinerja rancangan tersebut dalam menangani gangguan yang terjadi pada busbar melalui simulasi menggunakan mode *Star – Protection & Coordination* pada *software* ETAP 19.0.1. Untuk menentukan titik terjadinya gangguan digunakan fitur *Fault Insertion*, kemudian untuk meninjau pola koordinasi dan waktu kerja relai serta arus hubung singkat yang timbul ialah dengan menggunakan fitur *Sequence Viewer*.

Setelah diperoleh pola koordinasi dan waktu kerja relai berdasarkan hasil simulasi, maka dapat dilakukan analisis kinerja rancangan relai diferensial sebagai proteksi busbar dengan mengacu pada persyaratan proteksi sistem tenaga listrik, yakni dengan menganalisis aspek kecepatan, sensitifitas, selektifitas, dan keandalan.

3.5.5 Perbandingan Kinerja Relai

Analisis dengan membandingkan kinerja antara rancangan relai diferensial dengan relai arus lebih sebagai proteksi busbar di GI Pan Asia dilakukan dengan tujuan untuk menunjukkan keberhasilan rancangan proteksi busbar menggunakan relai diferensial yang telah disusun. Perbandingan dilakukan dengan mengacu pada persyaratan proteksi sistem tenaga listrik, sehingga aspek yang dibandingkan diantaranya ialah kecepatan, sensitifitas, selektifitas, dan keandalan. Parameter keberhasilan penelitian ialah rancangan relai diferensial proteksi busbar memiliki kinerja yang lebih cepat, sensitif, selektif, dan andal dibandingkan relai arus lebih yang terpasang saat ini, sehingga memenuhi kaidah dan persyaratan proteksi sistem tenaga listrik.