

PERENCANAAN *SETTING RELAY* ARUS LEBIH (OCR) DAN *RELAY* ARUS LEBIH BERARAH (DOCR) PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV FEEDER A – L1 PS 2, TERMINAL 1 BANDARA SOEKARNO-HATTA

Naufal Hafiizh^{*)}, Hermawan, dan Bambang Winardi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: naufal1995@hotmail.co.id

Abstrak

Sistem proteksi pada jaringan tegangan menengah 20 kV feeder A - L1 PS 2 terminal 1 bandara Soekarno-Hatta awalnya menggunakan dua relay diferensial yang tersambung dengan pilot wire pada tiap salurannya. Namun, ada rencana untuk pergantian panel pada busbar utama terminal 1 dimana panel tersebut sudah terdapat relay arus lebih (OCR) sehingga relay diferensial di awal saluran tergantikan oleh relay OCR dan relay diferensial di akhir saluran tidak bisa berpasangan dengan relay OCR pada dua saluran tersebut. Untuk mengatasi hal ini, relay diferensial yang satunya diganti dengan relay arus lebih berarah (DOCR). Pada penelitian ini, dilakukan perencanaan setting relay OCR dan DOCR. Perencanaan tersebut dilakukan dengan perhitungan secara manual, kemudian hasil perhitungan tersebut disimulasikan pada ETAP 12.6.0 untuk memeriksa setting yang benar. Apabila belum benar, maka akan dilakukan setting ulang. Setting relay OCR dan DOCR yang akan digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV feeder A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta, didapat pickup = 0,4 dan Time Multiple Setting (TMS) = 0,15 untuk Relay1 (OCR), pickup = 0,4 dan TMS = 0,05 untuk Relay2 (DOCR), pickup = 0,4 dan TMS = 0,15 untuk Relay3 (OCR), serta pickup = 0,4 dan TMS = 0,05 untuk Relay4 (DOCR).

Kata Kunci: setting relay, OCR, DOCR

Abstract

Protection system at 20-kV medium voltage network of PS 2 A – L1 feeder, concourse 1 of Soekarno-Hatta Airport used two differential relays with pilot wire in each of lines. However, there is a plan for replacement cubicle at main busbar of concourse 1 with a cubicle which contain of overcurrent relay (OCR) so that differential relay in the beginning of those lines is replaced by OCR and differential relay cannot be coupled with OCR. To solved it, the other differential relay of those lines is replaced by directional overcurrent relay (DOCR). This study is planning relay settings of OCR and DOCR. The plan was done by manual calculation, then the calculation result was simulated in ETAP 12.6.0 to validate correct setting. If the result was not correct, it will be done by resetting. The relay settings of OCR and DOCR which will be used at 20-kV medium voltage network of PS 2 A – L1 feeder, terminal 1 of Soekarno-Hatta Airport, pickup = 0,4 and Time Multiple Setting (TMS) = 0,15 for Relay1, pickup = 0,4 and TMS = 0,05 for Relay2, pickup = 0,4 and TMS = 0,15 for Relay3, and pickup = 0,4 and TMS = 0,05 for Relay4.

Keywords: relay settings, OCR, DOCR

1. Pendahuluan

Bandar udara (disingkat bandara) merupakan salah satu penopang prasarana transportasi sebuah negara. Menurut UU No. 1 Tahun 2009 tentang penerbangan, Bandar udara adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta keterpaduan dengan sektor pembangunan lainnya [8]. Adapun fasilitas sebuah bandara terbagi menjadi dua sisi,

yaitu sisi udara dan sisi darat. Salah satu fasilitas di sisi darat adalah terminal bandara [9].

Bandara Soekarno-hatta memiliki tiga terminal bandara, yaitu terminal 1, terminal 2, dan terminal 3. Dan di dalam terminal tersebut terdapat pemindai bagasi sinar X, *counter check-in*, (CIQ, *Custom – Immigration – Quarantine*) untuk bandara internasional dan ruang tunggu (*boarding lounge*) serta berbagai fasilitas untuk kenyamanan penumpang [9] yang dimana fasilitas-fasilitas tersebut tidak lepas dari membutuhkan pasokan energi listrik yang diharapkan tidak terjadi ganggun maupun kegagalan. Menurut Suryaadmaja, macam-macam gangguan antara

lain gangguan beban lebih, gangguan tegangan lebih, gangguan ketidakstabilan, dan gangguan hubung singkat. Sedangkan kegagalan sistem tenaga adalah lepas daya (*power outage*) yang mengakibatkan pemadaman total (*blackout*) maupun pemadaman sebagian (*brownout*) [1]. Maka dari itu untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan sistem proteksi yang handal agar kelancaran dan kenyamanan dalam terminal bandara tetap terjaga. Menurut Abdullah, gangguan yang berbahaya dan umum terjadi pada suatu sistem tenaga listrik adalah hubung singkat (*short circuit*), jenis gangguan ini menyebabkan lonjakan arus yang disebut arus hubung singkat yang melalui suatu sistem dan peralatannya [2]. Gangguan juga dapat menimbulkan kerusakan besar pada sistem tenaga [6], untuk itu dibutuhkan peralatan perlindungan untuk mengatasi gangguan yang terjadi pada sistem.

Pada ketiga terminal tersebut tiap saluran jaringan tegangan menengah 20 kV menggunakan proteksi *relay* diferensial yang berpasangan. yang keduanya tersambung dengan *pilot wire* sebagai alat komunikasi antar *relay*, untuk mengatasi gangguan hubung singkat tersebut. Namun, ada sebuah rencana untuk mengganti panel pada terminal 1 dimana panel tersebut sudah terpasang *relay* arus lebih atau *Over Current Relay* (OCR) sehingga saluran yang tersambung dengan panel tersebut harus mengganti *relay* diferensial dengan *relay* yang lain karena *relay* diferensial tidak bisa berpasangan dengan *relay* OCR. Untuk mengatasi hal ini, ada rencana juga untuk menggantinya dengan *relay* arus lebih berarah atau *Directional Over Current Relay* (DOCR) sehingga bisa berpasangan dengan *relay* OCR.

DOCR biasanya digunakan pada sistem tenaga listrik bertopologi *ring* atau memiliki dua titik suplai atau lebih [3]. Jaringan tegangan menengah 20 kV *feeder* A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta, memiliki dua titik sumber dan juga bisa beroperasi *ring* jika salah satunya menyuplai. Dua titik sumber ini berpengaruh pada arus gangguan hubung singkat [4] sehingga nilainya akan menjadi besar, serta berpengaruh pula pada arah arus gangguan [11] sehingga arahnya tidak hanya satu arah saja. Maka dari itu, DOCR diperlukan untuk mengatasi hal-hal ini pula.

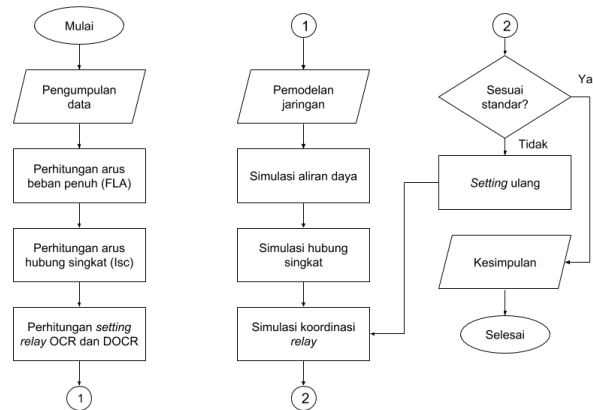
2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Langkah penelitian diperlihatkan pada gambar 1.

Pertama, pengumpulan data dilakukan di PT. Nindya Karya (Persero). Kemudian melakukan perhitungan arus beban penuh dan arus gangguan hubung singkat. Hasil dari kedua perhitungan tersebut akan diperlukan pada perhitungan *setting relay* OCR dan DOCR. Lalu, simulasi aliran daya dan hubung singkat dilakukan untuk memeriksa *error* antara hasil simulasi dengan hasil

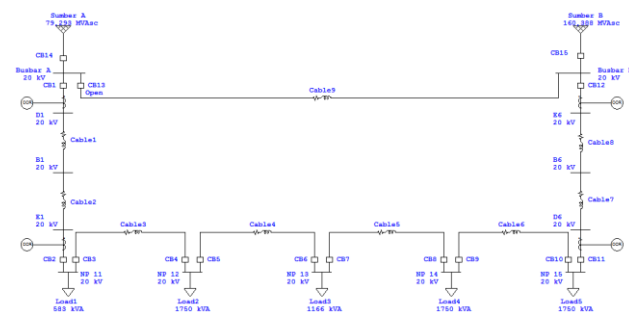
perhitungan. Selanjutnya, simulasi koordinasi *relay* dilakukan dengan hasil perhitungan *setting relay* yang pertama. Apabila belum sesuai standar, maka dilakukan *setting ulang*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Data Penelitian

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari PT. Nindya Aria, *Joint Operation*. Data-data tersebut meliputi data *power grid*, data kabel, dan data beban pada *feeder* A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta. *Single line diagram* dari jaringan tegangan menengah 20 kV *feeder* A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Single line diagram

Tabel 1. Data *power grid*

Power Grid	Rated kV	Arus Hubung Singkat Tiga Fasa	Impedansi
Sumber A	20 kV	2,6 kA	2,314 + j3,79 Ω
Sumber B	20 kV	6,157 kA	0,942 + j1,621 Ω

Tabel 2 merupakan data kabel dari sistem. Kabel yang digunakan pada sistem ini merupakan buatan *prysmian cable* tipe NA2XSEYBY dengan insulasi XLPE dan luas penampang 300 mm² untuk kabel pada *feeder*, sedangkan tipe NA2XSYB(AL)Y dengan insulasi XLPE dan luas

penampang 630 mm² untuk kabel pada bus coupler. Adapun untuk impedansi kabel pada feeder adalah 0,161 + j0,101 Ω/km, sedangkan pada bus coupler adalah 0,063 + j0,104 Ω/km.

Tabel 2. Data kabel system

Penghantar	Insulasi	Panjang	Luas Penampang
Busbar A – NP 11	XLPE	2000 m	300 mm ²
NP 11 – NP 12	XLPE	480 m	300 mm ²
NP 12 – NP 13	XLPE	630 m	300 mm ²
NP 13 – NP 14	XLPE	500 m	300 mm ²
NP 14 – NP 15	XLPE	550 m	300 mm ²
NP 15 – Busbar B	XLPE	2000 m	300 mm ²
Bus coupler	XLPE	15 m	630 mm ²

Tabel 3. Data beban feeder A – L1 terminal 1 bandara Soekarno-Hatta

Bus	Tegangan	Daya Beban	Faktor Daya
NP 11	20 kV	583 kVA	0,96
NP 12	20 kV	1750 kVA	0,94
NP 13	20 kV	1166 kVA	0,95
NP 14	20 kV	1750 kVA	0,94
NP 15	20 kV	1750 kVA	0,94

3. Hasil dan Analisa

3.1. Perhitungan Arus Beban Penuh

Perhitungan arus beban penuh atau full load ampere (FLA) dilakukan dengan perhitungan secara manual. Nilai arus beban penuh akan diperlukan untuk perhitungan setting relay OCR dan DOCR. Nilai arus beban penuh yang diambil dari hasil perhitungan ini untuk perhitungan setting relay OCR dan DOCR adalah nilai arus beban penuh terbesar yang mengalir pada saluran dimana terdapat padanya relay OCR dan DOCR. Perhitungan arus beban penuh pada jaringan tegangan menengah 20 kV feeder A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta, seperti pada contoh perhitungan di bab Directional Overcurrent Relays pada buku Protection of Electricity Distribution Networks oleh Juan M. Gers, dkk [3].

Tabel 4. Arus beban penuh (FLA) terbesar hasil perhitungan

Saluran	FLA terbesar
Busbar A – NP 11	202,04 A
NP 11 – NP 12	185,21 A
NP 12 – NP 13	134,7 A
NP 13 – NP 14	101,04 A
NP 14 – NP 15	151,53 A
NP 15 – Busbar B	202,04 A

Arus beban penuh yang akan diperlukan untuk perhitungan setting relay OCR dan DOCR adalah arus beban penuh terbesar yang mengalir pada saluran Busbar A – NP 11 dan NP 15 – Busbar B, yaitu sebesar 202,04 A.

3.2. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini dilakukan dengan perhitungan secara manual pula, serta arus gangguan hubung singkat yang dihitung adalah arus gangguan hubung singkat tiga fasa. Nilai arus gangguan hubung singkat juga akan diperlukan untuk perhitungan setting relay OCR dan DOCR. Nilai arus gangguan hubung singkat yang diambil dari hasil perhitungan ini untuk diperluka pada perhitungan setting relay OCR dan DOCR adalah nilai arus gangguan hubung singkat terkecil yang mengalir pada saluran dimana terdapat padanya relay OCR dan DOCR. Perhitungan arus beban penuh pada jaringan tegangan menengah 20 kV feeder A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta, seperti pada contoh perhitungan di bab Directional Overcurrent Relays pada buku Protection of Electricity Distribution Networks oleh Juan M. Gers, dkk [3].

Tabel 5. Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat ketika suplai dari Sumber A

Letak Gangguan	Arus Gangguan Hubung Singkat (kA)		
	Total	CB bus coupler open	CB feeder open
Busbar A	2,289	2,289	2,289
NP 11	2,192	2,148	2,019
NP 12	2,184	2,116	2,048
NP 13	2,181	2,076	2,087
NP 14	2,185	2,045	2,12
NP 15	2,192	2,02	2,147
Busbar B	2,288	1,906	2,288

Untuk perhitungan setting relay OCR dan DOCR diambil nilai arus gangguan pada NP 11 untuk Relay1 sebesar 2,148 kA, arus gangguan pada Busbar A untuk Relay2 sebesar 2,248 kA, arus gangguan pada NP 15 untuk Relay3 sebesar 2,147 kA, dan arus gangguan pada Busbar B untuk Relay4 sebesar 2,249 kA.

3.3. Perhitungan Setting Relay OCR dan DOCR

Dalam perhitungan setting relay OCR dan DOCR dibutuhkan hasil perhitungan arus beban penuh terbesar yang mengalir pada jaringan seperti pada Tabel 5 dan hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa pada Tabel 6. Dalam perhitungan setting relay OCR dan DOCR dilakukan dua penyetelan sebagai berikut [10]:

- Arus pickup

Penyetelan arus pickup dilakukan untuk menentukan besar arus yang diterima relay sehingga relay dapat beroperasi. Karena arus pickup diterima setelah ditransformasikan oleh trafo arus (CT), maka terlebih dahulu menentukan arus sebelum ditransformasikan oleh CT yang biasa disebut arus setting (I_{set}). Berikut persamaan-persamaannya:

$$(1,05 - 1,3) \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc\ min} \quad (1)$$

$$Pickup = \frac{I_{set}}{Rasio\ CT} \quad (2)$$

- *Time Multiplier Setting (TMS)*
Penyetelan ini mengatur waktu tunda sebelum *relay* beroperasi ketika arus gangguan mencapai sama dengan atau lebih besar dari arus *setting*. Pada penelitian ini *relay* yang digunakan menggunakan karakteristik *standard inverse* sehingga persamaannya sebagai berikut:

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times t_{op} \quad (3)$$

Dengan persamaan-persamaan tersebut, hasil perhitungan *setting relay* OCR dan DOCR yang didapat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan *setting relay* OCR dan DOCR

ID ETAP	Relay	I _{set} min	Pick up min	TMS	t _{op} (s)
Relay1	OCR	252,55	0,4	0,15	0,45
Relay2	DOCR	252,55	0,4	0,05	0,15
Relay3	OCR	252,55	0,4	0,15	0,45
Relay4	DOCR	252,55	0,4	0,05	0,45

Relay yang beroperasi untuk arah gangguan dari Busbar A adalah Relay1 dan Relay4, sedangkan *relay* yang beroperasi untuk arah gangguan dari Busbar B adalah Relay3 dan Relay2. Pada Tabel 7 terlihat Relay2 dan Relay4 beroperasi pada waktu 0,15 s, sedangkan Relay1 dan Relay3 beroperasi pada waktu 0,45 s karena waktu operasinya merupakan penjumlahan antara waktu operasi *relay* awal dengan dengan *grading time* sebesar 0,3 s untuk *relay* numerik [7] sehingga 0,15 + 0,3 = 0,45 s. Hasil perhitungan ini akan disimulasikan pada simulasi koordinasi *relay* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0.

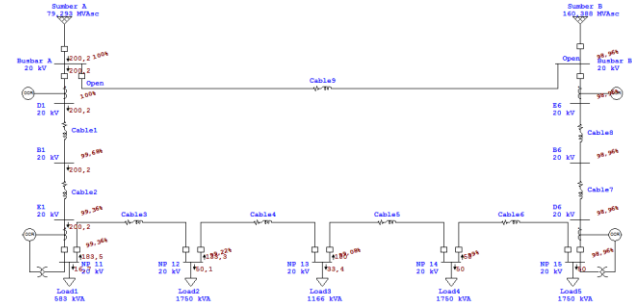
3.4. Simulasi Aliran Daya

Simulasi aliran daya pada jaringan tegangan menengah 20 kV *feeder* A – L1 PS 2 pada terminal 1 bandara Soekarno-Hatta dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Simulasi aliran daya ini dilakukan dengan dua kondisi pada pemodelan jaringan, yaitu ketika jaringan disuplai dari Sumber A saja (Sumber B *open*) dan ketika jaringan disuplai dari Sumber B saja (Sumber A *open*). Dan dari masing-masing kondisi terdapat dua kondisi lagi, yaitu ketika CB *bus coupler* dalam keadaan *open* dan CB *feeder* dalam keadaan *open*.

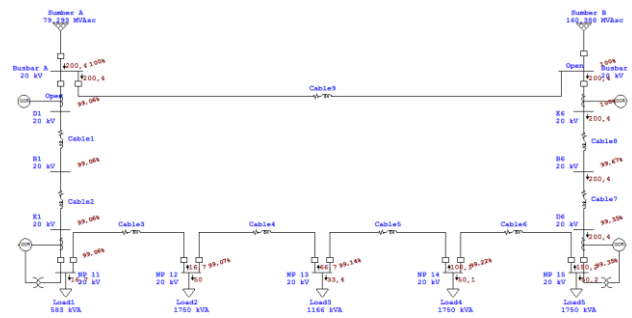
Tabel 7. Perbandingan arus beban penuh (FLA) terbesar hasil simulasi dengan hasil perhitungan

Saluran	FLA terbesar (simulasi)	FLA terbesar (hitung)	Error
Busbar A – NP 11	200,2 A	202,04 A	0,92%
NP 11 – NP 12	183,5 A	185,21 A	0,93%
NP 12 – NP 13	133,3 A	134,7 A	1,05%
NP 13 – NP 14	100,1 A	101,04 A	0,94%
NP 14 – NP 15	150,2 A	151,53 A	0,89%
NP 15 – Busbar B	200,4 A	202,04 A	0,82%

Pada Tabel 7 terlihat *error* antara arus beban penuh terbesar hasil simulasi dengan hasil perhitungan relatif kecil sehingga bisa dikatakan hasil perhitungan sudah sesuai dengan hasil simulasi.

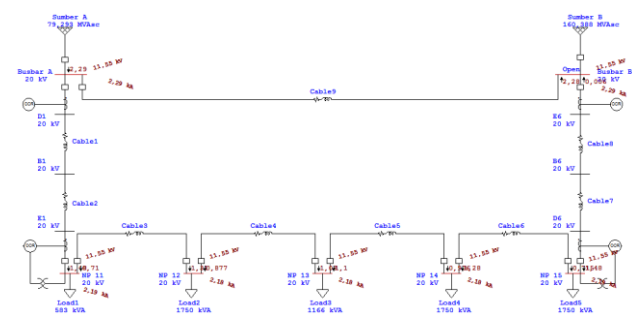


Gambar 3. Simulasi aliran daya ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A dan CB *bus coupler* dalam keadaan *open* dengan ETAP 12.6.0



Gambar 4. Simulasi aliran daya ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A dan CB *feeder* dalam keadaan *open* dengan ETAP 12.6.0

3.5. Simulasi Hubung Singkat



Gambar 5. Simulasi hubung singkat ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A dengan ETAP 12.6.0

Simulasi hubung singkat pada jaringan tegangan menengah 20 kV *feeder* A – L1 PS 2 pada terminal 1 bandara Soekarno-Hatta dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Simulasi ini dilakukan hanya pada dua kondisi, yaitu ketika hanya Sumber A yang menyuplai jaringan dan ketika hanya Sumber B yang menyuplai

jaringan. Simulasi hubung singkat pada ETAP 12.6.0 ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil simulasi ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Arus gangguan hubung singkat (I_{sc}) tiga fasa dari hasil simulasi dengan ETAP 12.6.0 ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A

Letak Gangguan	Arus Gangguan Hubung Singkat (I_{sc})		
	Total	CB bus coupler open	CB feeder open
Busbar A	2,289 kA	2,289 kA	2,289 kA
NP 11	2,192 kA	2,148 kA	2,011 kA
NP 12	2,183 kA	2,117 kA	2,04 kA
NP 13	2,179 kA	2,076 kA	2,079 kA
NP 14	2,182 kA	2,045 kA	2,111 kA
NP 15	2,192 kA	2,012 kA	2,147 kA
Busbar B	2,288 kA	1,899 kA	2,288 kA

Setelah didapat hasil simulasi dengan ETAP 12.6.0, selanjutnya dilakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11.

Tabel 9. Perbandingan I_{sc} tiga fasa total antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan

Letak Gangguan	I_{sc} Sumber A Total		
	Simulasi	Hitung	Error
Busbar A	2,289 kA	2,289 kA	0%
NP 11	2,192 kA	2,192 kA	0%
NP 12	2,183 kA	2,184 kA	0,046%
NP 13	2,179 kA	2,181 kA	0,092%
NP 14	2,182 kA	2,185 kA	0,137%
NP 15	2,192 kA	2,192 kA	0%
Busbar B	2,288 kA	2,288 kA	0%

Tabel 10. Perbandingan I_{sc} tiga fasa dari Sumber A antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan

Letak Gangguan	I_{sc} Sumber A (CB bus coupler open)		
	Simulasi	Hitung	Error
Busbar A	2,289 kA	2,289 kA	0%
NP 11	2,148 kA	2,148 kA	0%
NP 12	2,117 kA	2,116 kA	0,047%
NP 13	2,076 kA	2,076 kA	0%
NP 14	2,045 kA	2,045 kA	0%
NP 15	2,012 kA	2,02 kA	0,398%
Busbar B	1,899 kA	1,906 kA	0,369%

Tabel 11. Perbandingan I_{sc} tiga fasa dari Sumber B antara hasil simulasi dengan hasil perhitungan

Letak Gangguan	I_{sc} Sumber A (CB feeder open)		
	Simulasi	Hitung	Error
Busbar A	2,289 kA	2,289 kA	0%
NP 11	2,011 kA	2,019 kA	0,398%
NP 12	2,04 kA	2,048 kA	0,392%
NP 13	2,079 kA	2,087 kA	0,385%
NP 14	2,111 kA	2,12 kA	0,426%
NP 15	2,147 kA	2,147 kA	0%
Busbar B	2,288 kA	2,288 kA	0%

Pada ketiga tabel (Tabel 9, Tabel 10, dan Tabel 11) terlihat *error* antara hasil simulasi dan hasil perhitungan relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan sudah sesuai dengan hasil simulasi.

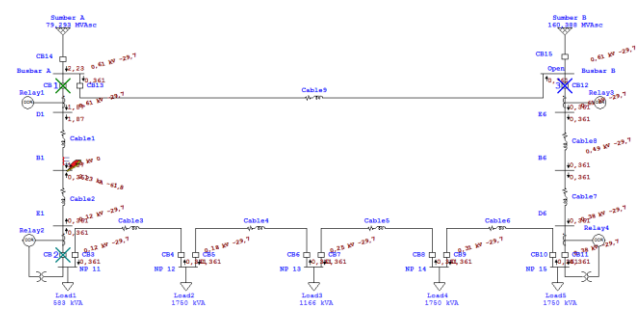
3.6. Simulasi Koordinasi Relay

Simulasi koordinasi *relay* dilakukan dengan menggunakan ETAP 12.6.0. Pada pemodelan jaringan, *relay* yang digunakan terdiri dari *relay* diferensial, OCR, dan DOCR. Pada pemodelan jaringan, terdapat bus yang dianalogikan sebagai letak titik gangguan pada saluran, yaitu titik D (0% Panjang kabel dari sisi Sumber A; 100% Panjang kabel dari sisi Sumber B), titik B (letak gangguan tepat di tengah saluran), dan titik E (100% Panjang kabel dari sisi Sumber A; 0% Panjang kabel dari sisi Sumber B). Dan gangguan yang diberi pada simulasi ini adalah gangguan hubung singkat tiga fasa yang terjadi di titik B, D, dan E pada dua saluran, yaitu saluran Busbar A – NP 11 dan NP 15 – Busbar B.

Simulasi koordinasi *relay* dengan *setting* pertama menggunakan hasil perhitungan *setting relay* OCR dan DOCR pada Tabel 12.

Tabel 12. Setting relay OCR dan DOCR dengan setting pertama

ID ETAP	Relay	Pickup	TMS	t_{dp} (s)
Relay1	OCR	0,4	0,22	0,7
Relay2	DOCR	0,4	0,05	0,4
Relay3	OCR	0,4	0,22	0,7
Relay4	DOCR	0,4	0,11	0,4



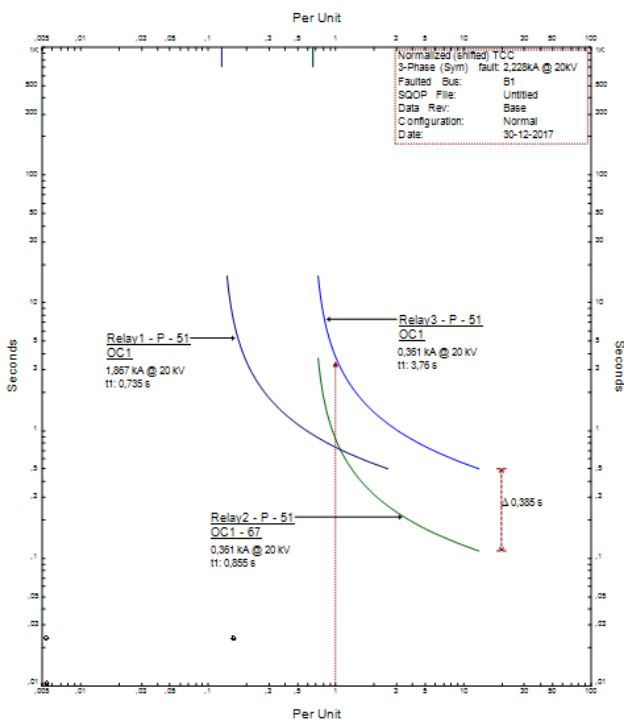
Gambar 6. Simulasi koordinasi relay dengan setting pertama ketika gangguan terjadi di titik B1 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber A

Pada Gambar 6 terlihat angka 1 pada CB1, angka 2 pada CB2, dan angka 3 pada CB12 ketika gangguan hubung singkat terjadi di titik B1 pada saluran Busbar A – NP 11 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber A. Hal ini sudah seperti *relay* diferensial dimana CB yang terletak di saluran yang terganggu *trip* terlebih dahulu.

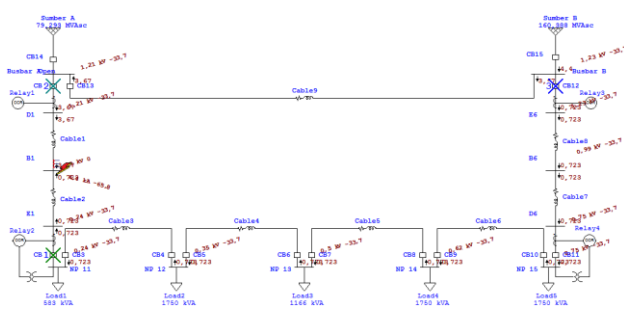
Pada Gambar 7 dapat terlihat kurva koordinasi *relay* ketika gangguan hubung singkat terjadi di titik B1 pada saluran Busbar A – NP 11 saat jaringan hanya disuplai oleh

Sumber A terdapat kurva yang saling berpotongan, yaitu kurva Relay1 (OCR) dan Relay2 (DOCR). Namun, hal itu tidak terlalu berpengaruh karena kedua *relay* berada pada saluran yang sama. Dan terlihat pula *grading time* antara kurva Relay2 dan Relay3 melebihi standar IEEE 242, dimana *grading time* sebesar 0,2 – 0,4 s [5], yaitu sebesar 0,385 s.

Pada Gambar 8 terlihat angka 1 pada CB2, angka 2 pada CB1, dan angka 3 pada CB12 ketika gangguan hubung singkat terjadi di titik B1 pada saluran Busbar A – NP 11 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber B. Hal ini sudah seperti *relay* diferensial dimana CB yang terletak di saluran yang terganggu *trip* terlebih dahulu.

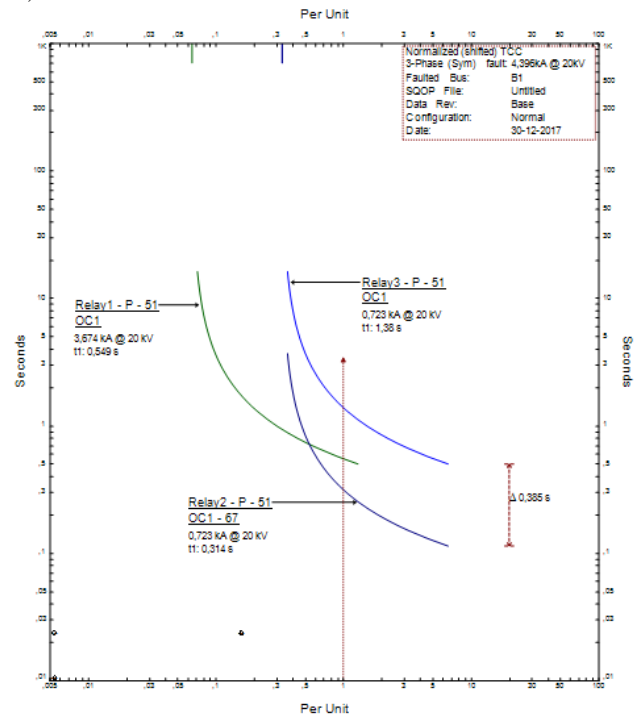


Gambar 7. Kurva koordinasi *relay* dengan *setting* pertama ketika gangguan terjadi di titik B1 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber A



Gambar 8. Simulasi koordinasi *relay* dengan *setting* pertama ketika gangguan terjadi di titik B1 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber B

Pada Gambar 9 dapat terlihat kurva koordinasi *relay* ketika gangguan hubung singkat terjadi di titik B1 pada saluran Busbar A – NP 11 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber B terdapat kurva yang saling berpotongan, yaitu kurva Relay1 (OCR) dan Relay2 (DOCR). Namun, hal itu tidak terlalu berpengaruh karena kedua *relay* berada pada saluran yang sama. Dan terlihat pula *grading time* antara kurva Relay2 dan Relay3 melebihi standar IEEE 242, dimana *grading time* sebesar 0,2 – 0,4 s [5], yaitu sebesar 0,385 s.



Gambar 9. Kurva koordinasi *relay* dengan *setting* pertama ketika gangguan terjadi di titik B1 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber B

Tabel 13. Hasil simulasi koordinasi *relay* saat dengan *setting* pertama ketika gangguan terjadi di titik B1 saat jaringan hanya disuplai oleh Sumber A

Letak Gangguan	Urutan CB	Kurva Koordinasi	
		Grading Time	Tidak Berpotongan
D1	V	V	V
B1	V	V	V
E1	V	V	V
D6	V	V	V
B6	V	V	V
E6	V	V	V

Keterangan: V = sesuai; X = tidak sesuai

Dengan memberikan gangguan pada titik-titik yang berbeda didapatkan hasil simulasi koordinasi *relay* dengan *setting* pertama yang ditunjukkan pada Tabel 13 dan Tabel 14. Pada kedua tabel tersebut terlihat ketika gangguan hubung singkat tiga fasa terjadi, baik di saluran Busbar A – NP 11 maupun di saluran NP 15 – Busbar B, urutan operasi CB dalam mengatasi gangguan sudah sesuai

sebagaimana *relay* diferensial dimana CB yang terletak di saluran yang terganggu *trip* terlebih dahulu. Pada kedua tabel tersebut pula terlihat ketika gangguan hubung singkat tiga fasa terjadi, baik di saluran Busbar A – NP 11 maupun di saluran NP 15 – Busbar B, *grading time* antar *relay* yang beroperasi pada arah gangguan yang sama sudah sesuai dengan standar IEEE 242 dimana *grading time* sebesar 0,2 – 0,4 s, dan juga terlihat pula tidak ada perpotongan antar *relay* yang terletak di saluran yang berbeda. Dengan demikian, *setting relay* OCR dan DOCR yang akan digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV *feeder* A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta, adalah *setting* pertama sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 14. Hasil simulasi koordinasi *relay* saat dengan *setting* pertama ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A

Letak Gangguan	Urutan CB	Kurva Koordinasi	
		Grading Time	Tidak Berpotongan
D1	V	V	V
B1	V	V	V
E1	V	V	V
D6	V	V	V
B6	V	V	V
E6	V	V	V

Keterangan: V = sesuai; X = tidak sesuai

3.7. Waktu Ketahanan Konduktor terhadap Arus Gangguan

Gangguan hubung singkat pada saluran transmisi atau distribusi akan membuat suhu konduktor akan naik karena arus sesaat akibat hubung singkat tersebut. Kapasitas penyaluran sesaat adalah nilai arus gangguan hubung singkat yang memiliki hubungan dengan batas suhu. Kapasitas penyaluran sesaat berkaitan dengan waktu ketahanan konduktor terhadap kenaikan suhu akibat gangguan hubung singkat. Berikut adalah persamaan yang menyatakan hubungan arus gangguan dengan waktu ketahanan penghantar [10]:

$$I_{sc} = \frac{A \times K}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

Dimana A adalah luas penampang konduktor, t adalah waktu ketahanan konduktor, I_{sc} adalah arus gangguan, dan K adalah koefisien dimana $K = 92$ [10].

Dengan persamaan tersebut, maka didapat hasil perhitungan waktu ketahanan konduktor terhadap arus gangguan yang ditunjukkan pada Tabel 15.

Pada Tabel 15 terlihat waktu operasi *relay* dari kedua kondisi, yaitu ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber A dan ketika jaringan hanya disuplai oleh Sumber B, lebih kecil daripada waktu ketahanan konduktor dari kedua kondisi tersebut pula. Hal ini menunjukkan bahwa konduktor dari kedua kondisi masih tahan terhadap arus

gangguan hubung singkat yang mengalir sehingga tidak mengalami kerusakan akibat besarnya arus hubung singkat yang terjadi dan ini menandakan bahwa hasil perhitungan *setting relay* sudah berjalan dengan baik.

Tabel 15. Waktu ketahanan konduktor terhadap arus gangguan pada tiap titik gangguan

Titik Gangguan	Waktu Ketahanan Konduktor (s)		Waktu Operasi Relay (s)	
	Suplai Sumber A	Suplai Sumber B	Suplai Sumber A	Suplai Sumber B
D1	112,686	20,1208	1,104	0,906
B1	119,955	27,4282	2,069	0,859
E1	124,558	25,3016	0,961	0,612
D6	124,658	25,274	0,956	0,614
B6	119,955	23,2823	2,016	0,867
E6	112,773	20,0946	1,105	0,906

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada perhitungan arus beban penuh, arus beban penuh terbesar pada saluran Busbar A – NP 11 dan saluran NP 15 – Busbar B, yaitu sebesar 202,04 A. Sedangkan pada perhitungan arus gangguan hubung singkat, arus hubung singkat tiga fasa terkecil sesuai dari sisi masing-masing *relay* adalah pada NP 11 untuk Relay1 sebesar 2,414 kA, untuk Relay2 sebesar 2,248 kA, arus gangguan pada NP 15 untuk Relay3 sebesar 2,413 kA, dan untuk Relay4 sebesar 2,249 kA. Perhitungan *setting relay* OCR dan DOCR dilakukan dengan mengambil hasil dari kedua perhitungan tersebut dan didapatkan *pickup* untuk *relay* OCR dan DOCR yang sama, yaitu sebesar 0,4, sedangkan TMS sebesar 0,15 untuk Relay1 (OCR), 0,05 untuk Relay2 (DOCR), 0,15 untuk Relay3 (OCR), dan 0,05 untuk Relay4 (DOCR). Pada simulasi koordinasi *relay* dengan *setting* pertama, urutan operasi CB sudah sesuai sebagaimana *relay* diferensial dimana CB yang terletak di saluran yang terganggu *trip* terlebih dahulu, *grading time* antar *relay* yang beroperasi pada arah gangguan yang sama sudah sesuai dengan standar IEEE 242 dimana *grading time* sebesar 0,2 – 0,4 s, dan juga kurva antar *relay* yang terletak pada saluran yang berbeda tidak saling berpotongan. Dibandingkan dengan waktu ketahanan konduktor, waktu operasi *relay* dengan *setting* pertama lebih kecil dari waktu ketahanan konduktor sehingga konduktor masih tahan terhadap arus gangguan yang mengalir, serta menandakan pula bahwa hasil perhitungan *setting relay* sudah berjalan dengan baik. Dengan demikian, *Setting relay* OCR dan DOCR yang digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 kV *feeder* A – L1 PS 2, terminal 1 bandara Soekarno-Hatta adalah *setting* pertama.

Referensi

- [1]. Suryaadmaja, Faisal O. "Evaluasi Koordinasi *Setting Relay* Proteksi OCR pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV PT APAC INTI CORPORA Semarang dengan ETAP 12.6.0". Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. 2017.
- [2]. Abdullah, Isa. "Evaluasi *Setting Relay* OCR, GFR, dan Recloser pasca Konfigurasi Jaringan Distribusi pada Trafo 2 Gardu Induk Sronol Semarang Menggunakan ETAP 12.6.0". Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. 2016.
- [3]. M.Gers, Juan dan J.Holmes, Edward. *Protection of Electricity Distribution Networks*. United Kingdom. 1998.
- [4]. Atus, Yavez, dkk. "Implementation of Adaptive Relay Coordination in Distribution Systems including Distributed Generation". *Journal of Cleaner Production*. 2015.
- [5]. IEEE 242-1986, "*Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*"
- [6]. Stevenson, William D. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Erlangga. 1996
- [7]. Alstom. *Network Protection & Automation Guide*. Stafford, United Kingdom. 2011.
- [8]. Republik Indonesia. 2009. Undang-undang Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Penerbangan. Lembaran Negara RI Tahun 2009, No. 1. Sekretariat Negara. Jakarta.
- [9]. Wikipedia. 2017. "Bandar Udara", https://id.wikipedia.org/wiki/Bandar_udara, diakses pada 12 Juni 2017.
- [10]. Hewitson, L.G. *Practical Power System Protection*. Elsevier. Oxford. 2004.
- [11]. Warsito, Adhi. "Analisis Evaluasi *Setting Relay* OCR sebagai Proteksi pada Jaringan Distribusi dengan Pembangkitan Terdistribusi (Studi Kasus pada Penyulang BSB 4, Kendal, Jawa Tengah)". Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. 2012.