

**ANALISIS *SETTING* RELE GANGGUAN TANAH DAN RELE ARUS
LEBIH TERHADAP HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA
AUXILIARY TRANSFORMERS PT. YTL JAWA TIMUR BERBASIS
*FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

Oleh

Andhika Reyfaldi

NIM 151910201113

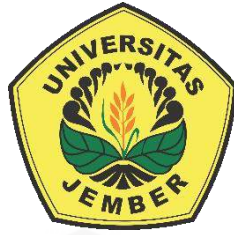
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**ANALISIS *SETTING* RELE GANGGUAN TANAH DAN RELE ARUS
LEBIH TERHADAP HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA
AUXILIARY TRANSFORMERS PT. YTL JAWA TIMUR BERBASIS
*FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapai tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh
Andhika Reyfaldi
NIM 151910201113

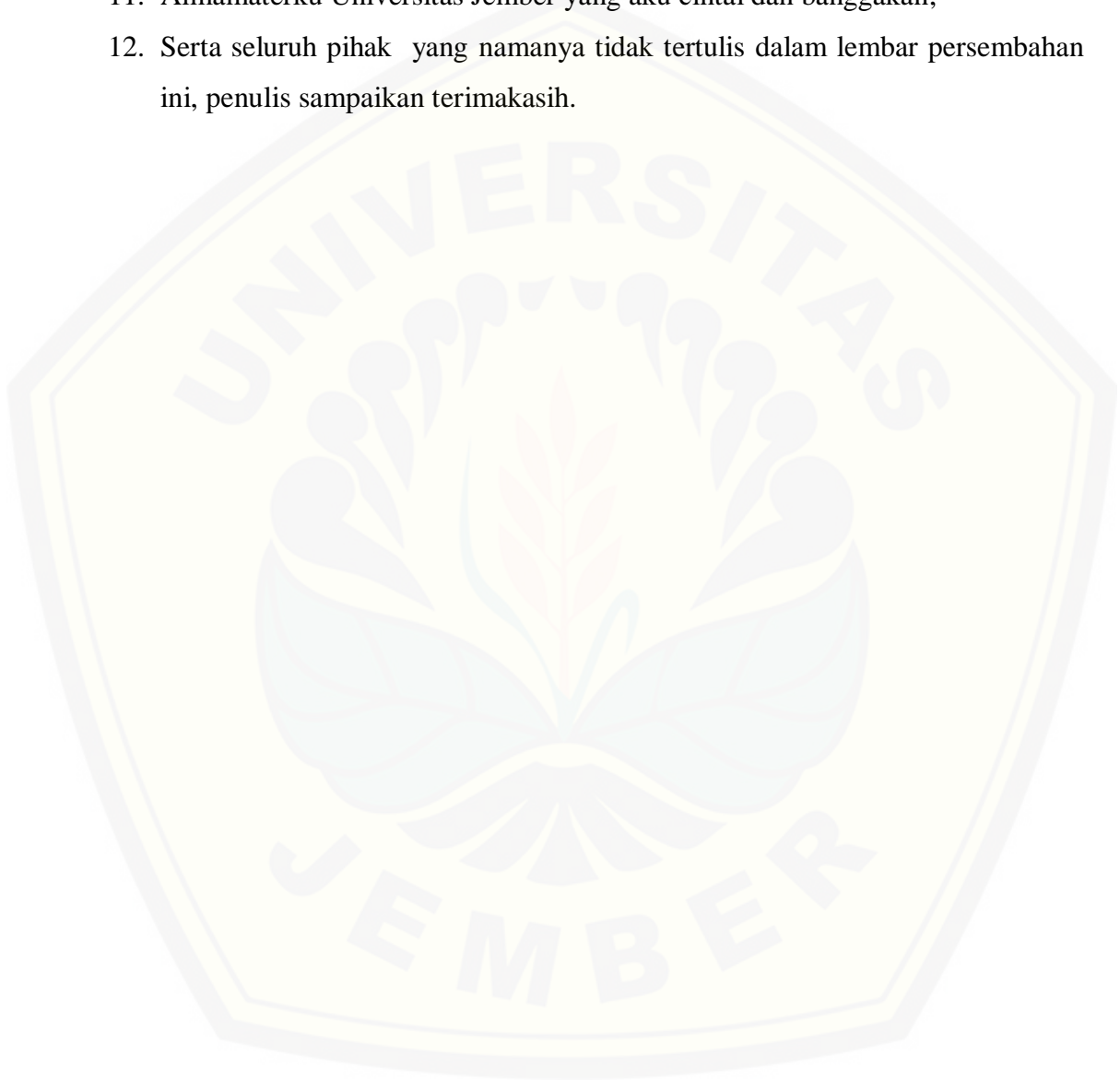
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang;
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat yang telah membawa kita dari alam kegelapan menuju kealam yang terang-benderang ini;
3. Ibunda Sri Hidayati, Ayahanda Hasan, Adik Cindyta Intan Maulani, Adik Dhana Sandaka Nur Cahya Maulana, serta keluarga besar tercinta, terima kasih atas doa, pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis dalam menyelesaikan serangkaian proses skripsi ini;
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis demi terselesaikannya skripsi ini;
5. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku penguji satu dan Bapak H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku penguji dua yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun kepada penulis demi terselesaikannya skripsi ini;
6. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa di perkuliahan;
7. Mas Harmawan dan Bapak Edi Suharto selaku pembimbing lapangan dan penanggung jawab kegiatan penulis selama penelitian di PT. YTL Jawa Timur yang sudah dengan sabar memberikan arahan, masukan, pendalaman materi kepada penulis demi terselesaikannya skripsi ini;
8. Husnul Khotimah yang selalu memberikan semangat, doa, dan air matanya untuk menguatkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini sampai akhir;

9. M. Syaiful Bahri, Novial Azhar, Fachrizal Noval A., Danang Sugiarto, Nisrina Ramadhani A., dan Winda Afianti Laily yang selalu memeberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
10. Guru-guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi dan guru ngaji;
11. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan banggakan;
12. Serta seluruh pihak yang namanya tidak tertulis dalam lembar persembahan ini, penulis sampaikan terimakasih.



MOTTO

Jangan pernah memaksa menjadi orang lain hanya untuk mendapatkan suatu pengakuan, jadilah pribadi yang baik dan santun maka derajat kita akan tinggi dengan sendirinya.

(Ayahanda Hasan)

Jangan pernah berfikir untuk bermalas-malasan, karena pada saat itu ada ribuan pesaingmu yang sedang berjuang keras untuk mengubah masa depannya menjadi lebih baik.

(Ibunda Sri Hidayati)

“Keberuntunganmu hari ini adalah jawaban doa ibumu semalam, hormatilah Ibu maka jarak kamu dan Tuhan hanya sebatas ridhonya”

(Husnul Khotimah)

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Andhika Reyfaldi

NIM : 151910201113

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis *Setting Rele* Gangguan Tanah da Rele Arus Lebih Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada *Auxiliary Transformers* PT. YTL Jawa Timur berbasis *Fuzzy Logic*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 Juli 2019

Yang menyatakan,

Andhika Reyfaldi

NIM 151910201033

SKRIPSI

**ANALISIS *SETTING* RELE GANGGUAN TANAH DAN RELE ARUS
LEBIH TERHADAP HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA
AUXILIARY TRANSFORMERS PT. YTL JAWA TIMUR BERBASIS
*FUZZY LOGIC***

Oleh

Andhika Reyfaldi

NIM 151910201113

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisis *Setting* Rele Gangguan Tanah dan Rele Arus Lebih Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada *Auxiliary Transformers* PT. YTL Jawa Timur Berbasis *Fuzzy Logic*" karya Andhika Reyfaldi telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Senin, 22 Juli 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,



Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 197004041996011001

Anggota I,



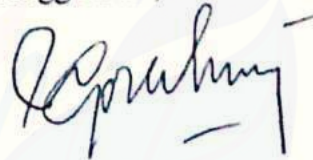
Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 197104022003121001

Anggota II,



Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

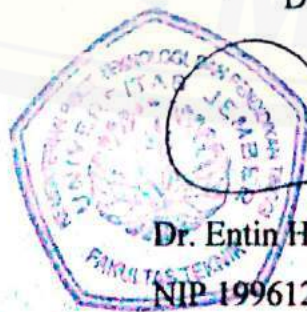
Anggota III,



H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP 196906081999031002

Mengesahkan

Dekan,



Dr. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 199612151995032001

RINGKASAN

Analisis *Setting* Rele Gangguan Tanah dan Rele Arus Lebih Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada *Auxiliary Transformers* PT. YTL Jawa Timur Berbasis *Fuzzy Logic*; Andhika Reyfaldi, 151910201113; 2019: 82 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada jaman serba digital saat ini, energi memiliki peranan penting dalam tercapainya tujuan setiap kegiatan sosial, kegiatan pendidikan, kegiatan ekonomi, serta kegiatan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan. Salah satu energi yang sangat vital dan paling dibutuhkan pada jaman ini adalah energi listrik. Hal tersebut semakin mendorong perusahaan penyedia tenaga listrik untuk terus meningkatkan kualitas produksi listrik dan layanan agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai standar mutu keandalan yang berlaku. Pada penjaminan mutu dan kualitas jaringan distribusi daya sendiri di PT. YTL Jawa Timur, proteksi BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV menjadi sangat vital dan diharapkan tidak terjadi gangguan. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Pada perhitungan nilai *setting* waktu kerja rele gangguan tanah dan rele arus lebih sampai saat ini masih banyak dilakukan dengan menggunakan perhitungan konvensional yang diperoleh dari *setting* arus rele (I_p) dan *time multiple setting* rele (TMS). Oleh karena itu, perhitungan nilai *setting* dan koordinasi rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV pemakaian sendiri berbasis perhitungan *fuzzy logic* diharapkan dapat menghitung nilai *setting* kedua rele tersebut dengan keandalan yang lebih baik serta meningkatkan selektivitas respon kerja rele apabila terjadi gangguan.

Pada penelitian ini diasumsikan rele yang berkoordinasi adalah pada *incoming* BBT, *feeder* 50_HNC10, *feeder* 50_HFC20, *feeder* 50_HLB20, dan *feeder* 50_HFE20. Langkah pertama adalah melakukan simulasi di *software*

ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan nilai arus beban maksimum (FLA) dan arus hubung singkat (Isc). Setelah didapatkan arus beban maksimum (FLA) dan arus hubung singkat (Isc) maka diperoleh nilai I_p rele GFR konvensional yaitu I_{p_g1} sebesar 329,88 A, I_{p_g2} sebesar 75,34 A, I_{p_g3} sebesar 10,66 A, I_{p_g4} sebesar 17,6 A, dan I_{p_g5} sebesar 22,2 A dan juga diperoleh nilai TMS rele GFR konvensional yaitu TMS_{g1} sebesar 0,583 s, nilai TMS_{g2} sebesar 0,067 s, nilai TMS_{g3} sebesar 0,326 s, TMS_{g4} sebesar 0,183 s, dan nilai TMS_{g5} sebesar 0,117 s, sehingga diperoleh t(sekon) rele GFR konvensional yaitu GFR1 1,98 s, GFR2 0,29 s, GFR3 1,52 s, GFR4 1,09 s, dan GFR5 0,69 s.

Selain itu juga diperoleh I_p rele OCR konvensional yaitu I_{p_o1} sebesar 1731,87 A, I_{p_o2} sebesar 395,555 A, I_{p_o3} sebesar 55,965 A, I_{p_o4} sebesar 92,4 A, dan I_{p_o5} sebesar 116,55 A dan TMS rele OCR konvensional yaitu TMS_{o1} sebesar 0,151 s, nilai TMS_{o2} sebesar 0,012 s, nilai TMS_{o3} sebesar 0,135 s, TMS_{o4} sebesar 0,106 s, dan nilai TMS_{o5} sebesar 0,077 s sehingga didapatkan nilai t(sekon) rele OCR konvensional yaitu OCR1 2,32 s, OCR2 0,73 s, OCR3 1,89 s, OCR4 1,64 s, dan OCR5 1,1 s. Setelah didapatkan nilai konvensional selanjutnya adalah perhitungan berbasis *fuzzy logic* dengan masukan nilai I_p dan TMS serta target nilai t(sekon). Pada rele GFR diperoleh t(sekon) berbasis *fuzzy logic* yaitu GFR1 1,55 s, GFR2 0,265 s, GFR3 1,5 s, GFR4 0,87 s, dan GFR5 0,55 s. Sedangkan pada rele OCR diperoleh nilai t(sekon) berbasis *fuzzy logic* yaitu OCR1 2,28 s, OCR2 0,348 s, OCR3 1,8 s, OCR4 1,18 s, dan OCR5 1,09 s.

. Pada saat terjadi gangguan pada *feeder* secara bersamaan antara *feeder* 50_HNC10, *feeder* 50_HFC20, *feeder* 50_HLB20, dan *feeder* 50_HFE20, berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan baik pada rele GFR maupun OCR maka keempat rele akan mengalami koordinasi masing-masing dengan rele *incoming* BBT. Sedangkan pada saat gangguan tidak terjadi secara bersamaan, maka koordinasi rele yang ada pada *feeder* dan *incoming* BBT akan langsung terjadi. Keadaan ini terjadi baik pada rele GFR dan rele OCR, dimana *feeder* yang mengalami gangguan harus lebih cepat *trip* daripada *incoming* BBT agar gangguan yang terjadi tidak meluas dampaknya dan tetap dapat menjaga keberlangsungan proses produksi energi listrik di PT. YTL Jawa Timur.

SUMMARY

Analysis of Ground Fault Relay and Overcurrent Relay Settings on 1 Phase Short Circuit to The Ground on Auxiliary Transformers of PT. YTL Jawa Timur Based on Fuzzy Logic; Andhika Reyfaldi, 151910201113; 2019: 82 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

At this fully digital era, energy has an important role in the accomplishment of a goal in every social activity, educational activity, economic activity, and environmental activity for sustainable development. One of the energies which are very vital and mostly need at this era is electrical energy. It is increasingly supporting the company of electric power provider to keep increasing the quality of electrical production and the service to be able to provide electric power corresponding to reliability quality standard applied. On the caliber and quality warranties of independent power distribution network in PT. YTL Jawa Timur, the protection of step-down BBT (Auxiliary Transformer) of 21 kV / 10.5 kV becomes very vital and is expected not to occur disturbances. One of the disturbances mostly happened at step-down BBT (Auxiliary Transformer) of 21 kV / 10.5 kV is 1 phase short circuit to the ground.

At the setting value calculation of ground fault relay and over current relay working time to date is still much done by using conventional calculation obtained from current relay (I_p) setting and relay time multiple setting (TMS). Therefore, the setting value calculation and the coordinate of ground fault relay protection and over current relay protection at step-down BBT (Auxiliary Transformer) of 21 kV / 10.5 kV in own use based on fuzzy logic calculation are expected to be able to calculate the setting value of both relays with better reliability and increase the selectivity of relay work response if there are disturbances.

In this research, assumed that coordinated relay is on incoming BBT, feeder 50_HNC10, feeder 50_HFC20, feeder 50_HLB20, and feeder 50_HFE20. The first step is doing a simulation in ETAP 12.6.0 software to obtain the value of

full load ampere (FLA) and short circuit current (Isc). After obtained the full load ampere (FLA) and short circuit current (Isc) then obtained I_p values of conventional GFR relay that are I_{pg1} of 329.88 A, I_{pg2} of 75.34 A, I_{pg3} of 10.66 A, I_{pg4} of 17.6 A, and I_{pg5} of 22.2 A and also obtained TMS values of conventional GFR relay that are TMS_{g1} of 0.583 s, TMS_{g2} value of 0.067 s, TMS_{g3} value of 0.326 s, TMS_{g4} of 0.183 s, and TMS_{g5} of 0.117 s, so that it is obtained t(second) of conventional GFR relay that is GFR1 of 1.98 s, GFR2 of 0.29 s, GFR3 of 1.52 s, GFR4 of 1.09 s, and GFR5 of 0.69 s.

Moreover, it is also obtained I_p of conventional OCR relay that are I_{p01} of 1731.87 A, I_{p02} of 395.555 A, I_{p03} of 55.965 A, I_{p04} of 92.4 A, and I_{p05} of 116.55 A and TMS of OCR conventional relay that are TMS_{o1} of 0.151 s, TMS_{o2} value of 0.012 s, TMS_{o3} value of 0.135 s, TMS_{o4} of 0.106 s, and TMS_{o5} value of 0.077 s so that it is obtained t(second) values of conventional OCR relay that are OCR1 of 2.32 s, OCR2 of 0.73 s, OCR3 of 1.89 s, OCR4 of 1.64 s, and OCR5 of 1.1 s. After obtained the conventional values, the next is the calculation based on fuzzy logic with the input value of I_p and TMS as well as t(second) value target. At GFR relay, it is obtained t(second) based on fuzzy logic that is GFR1 of 1.55 s, GFR2 of 0.265 s, GFR3 of 1.5 s, GFR4 of 0.87 s, and GFR5 of 0.55 s. While at OCR relay, it is obtained t(second) based on fuzzy logic that is OCR1 of 2.28 s, OCR2 of 0.348 s, OCR3 of 1.8 s, OCR4 of 1.18 s, and OCR5 of 1.09 s.

When there is a fault occurred on the feeder simultaneously between feeder 50_HNC10, feeder 50_HFC20, feeder 50_HLB20, and feeder 50_HFE20, based on the calculation that has been done on both GFR and OCR relays then the four relays will experience each coordinate with incoming BBT relay. While when the fault does not happen simultaneously, then the relay coordinate existing at the feeder and incoming BBT will directly happen. This condition occurs on both GFR and OCR relays, where the feeder experiencing the fault, the trip has to be faster than incoming BBT so that the fault effect happened does not widespread and keep being able to maintain the sustainability of electrical energy production process in PT. YTL Jawa Timur.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis *Setting* Rele Gangguan Tanah dan Rele Arus Lebih Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah pada *Auxiliary Transformers* PT. YTL Jawa Timur Berbasis *Fuzzy Logic*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril ataupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan fikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya skripsi ini;
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku dosen penguji utama dan H. R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini;
5. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Ibunda Sri Hidayati, Ayahanda Hasan, Adik Cindyta Intan Maulani, Adik Dhana Sandaka Nur Cahya Maulana, serta keluarga besar tercinta, terima kasih atas doa, pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi

setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis dalam menyelesaikan serangkaian proses skripsi ini;

7. Mas Harmawan dan Bapak Edi Suharto selaku pembimbing lapangan dan penanggung jawab kegiatan penulis selama penelitian di PT. YTL Jawa Timur yang sudah dengan sabar memberikan arahan, masukan, pendalaman materi kepada penulis demi terselesaikannya skripsi ini;
8. Husnul Khotimah yang selalu memberikan semangat, doa, dan air matanya untuk menguatkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini sampai akhir;
9. M. Syaiful Bahri, Novial Azhar, Fachrizal Noval A., Danang Sugiarto, Nisrina Ramadhani A., dan Winda Afianti Laily yang selalu memeberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
10. Guru-guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi dan guru ngaji;
11. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan banggakan;
12. Serta seluruh pihak yang namanya tidak tertulis dalam lembar persembahan ini, penulis sampaikan terimakasih.

Jember, Juli 2019

Penulis

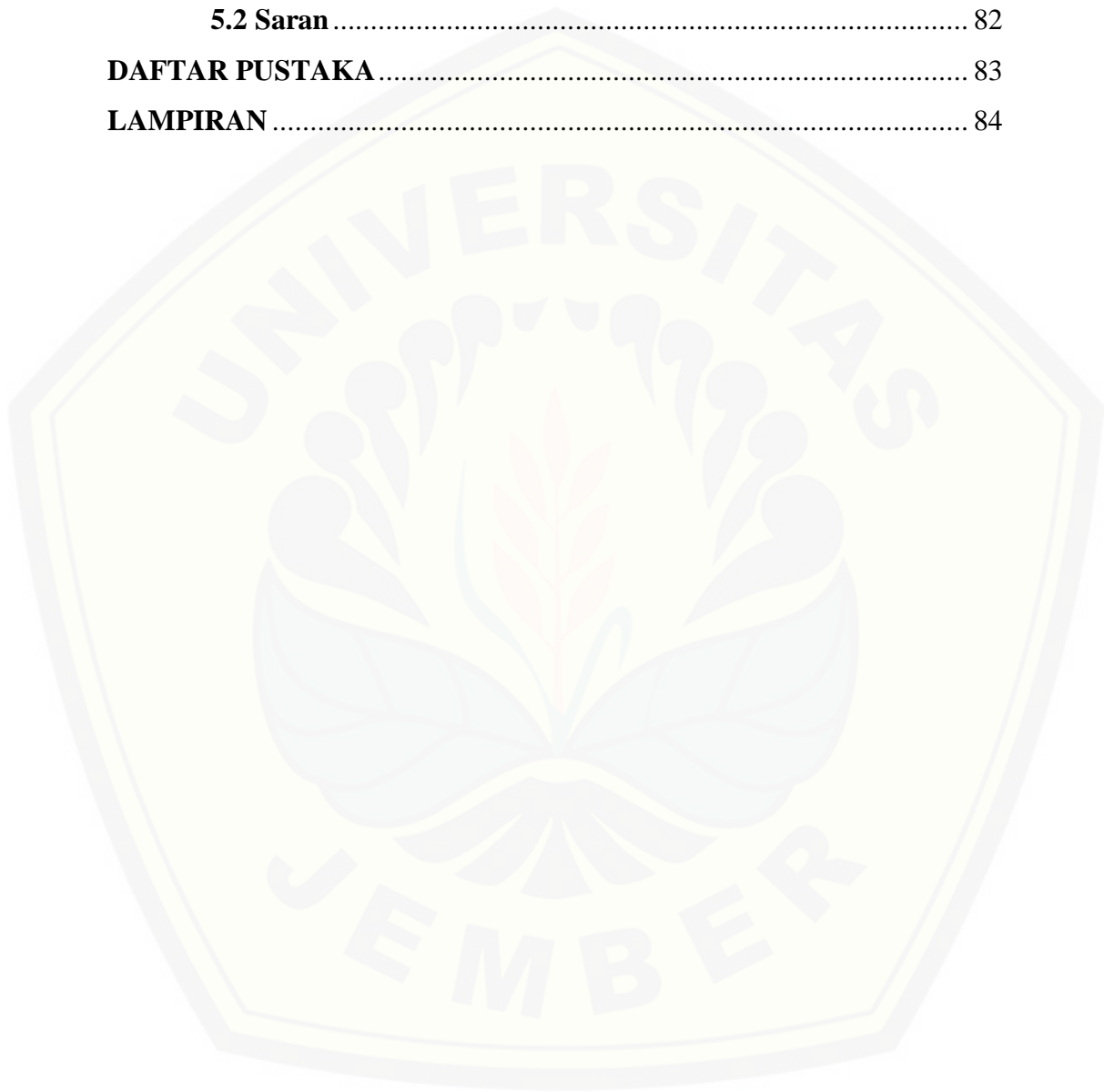
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN/SUMMARY	ix
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat	5
1.6 Sistematika Pembahasan	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Proteksi	7
2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi	7
2.1.2 Prinsip Sistem Proteksi	7
2.2 Rele Proteksi	9
2.2.1 Rele Gangguan Tanah	9
2.2.1.1 Pengertian Rele Gangguan Tanah	9
2.2.1.2 Prinsip Kerja Rele Gangguan Tanah	10
2.2.1.3 <i>Setting</i> Rele Gangguan Tanah	11

2.2.2 Rele Arus Lebih.....	12
2.2.2.1 Pengertian Rele Arus Lebih	12
2.2.2.2 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih	12
2.2.2.3 Jenis Rele Arus Lebih Berdasarkan Karakteristik Waktu.....	13
2.2.2.4 <i>Setting</i> Rele Arus Lebih	15
2.3 Transformator Daya.....	16
2.3.1 Gangguan Transformator Daya.....	17
2.3.1.1 Gangguan Dalam (<i>Internal Faults</i>)	17
2.3.1.2 Gangguan Luar (<i>External Faults</i>)	18
2.4 Gangguan Hubung Singkat.....	18
2.4.1 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	19
2.4.2 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....	20
2.5 Fuzzy Logic.....	21
2.5.1 Pengertian <i>Fuzzy Logic</i>	21
2.5.2 Arsitektur <i>Fuzzy Logic</i>	21
2.5.3 Konsep <i>Fuzzy Logic</i>	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tahap Penelitian.....	23
3.1.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	23
3.1.2 <i>Flowchart</i> Sistem	25
3.2 Data Analisis <i>Setting</i> Rele pada Transformator Terhadap Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Berbasis <i>Fuzzy Logic</i> ...	26
3.2.1 <i>Single Line Diagram</i> PT. YTL Jawa Timur.....	26
3.2.2 <i>Sigle Line</i> Tipikal Koordinasi BBT <i>Auxiliary Transformer step-down</i> 21 kV / 10,5 kV di PT. YTL Jawa Timur	27
3.2.3 BBT <i>Auxiliary Transformer</i> di PT. YTL Jawa Timur	29
3.3 Struktur <i>Fuzzy Logic</i>	31
3.3.1 Karakteristik Kurva	31

3.3.2 Karakteristik <i>Input</i>	32
3.3.3 Karakteristik <i>Output</i>	39
3.3.4 <i>Rules</i>	41
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Analisis aliran daya	42
4.1.1 Arus beban maksimum	42
4.1.2 Arus hubung singkat	50
4.2 Penentuan nilai Ip konvensional	55
4.2.1 Nilai Ip rele gangguan tanah konvensional	55
4.2.2 Nilai Ip rele arus lebih konvensional	56
4.3 Setting arus rele konvensional	57
4.3.1 <i>Setting</i> arus rele gangguan tanah konvensional	57
4.3.2 <i>Setting</i> arus rele arus lebih konvensional	58
4.4 Penentuan nilai TMS konvensional	59
4.4.1 <i>Setting</i> TMS rele gangguan tanah konvensional	59
4.4.2 <i>Setting</i> TMS rele arus lebih konvensional	61
4.5 Pengujian <i>setting</i> waktu kerja t(sekon) rele konvensional	62
4.5.1 <i>Setting</i> waktu kerja t(sekon) rele GFR konvensional	62
4.5.2 <i>Setting</i> waktu kerja t(sekon) rele OCR konvensional	63
4.6 Setting rele berbasis <i>fuzzy logic</i>	64
4.6.1 <i>Setting</i> GFR berbasis <i>fuzzy logic</i>	64
4.6.1.1 Struktur <i>fuzzy logic setting</i> rele GFR	64
4.6.1.2 <i>Rules fuzzy logic setting</i> rele GFR	68
4.6.2 <i>Setting</i> OCR berbasis <i>fuzzy logic</i>	70
4.6.2.1 Struktur <i>fuzzy logic setting</i> rele OCR	70
4.6.2.2 <i>Rules fuzzy logic setting</i> rele GFR	74
4.7 Hasil <i>setting</i> rele dengan <i>fuzzy logic</i>	76
4.7.1 Hasil <i>setting</i> rele GFR dengan <i>fuzzy logic</i>	76
4.7.2 Hasil <i>setting</i> rele OCR dengan <i>fuzzy logic</i>	76
4.7.3 Perbandingan <i>setting</i> konvensional dengan <i>fuzzy logic</i> ..	77
4.7.4 Analisis waktu kerja rele saat gangguan bersamaan	80

4.7.5 Analisis waktu kerja rele saat gangguan tidak bersamaan.....	81
BAB 5. PENUTUP	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	84



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Auxiliary Transformer</i> 21 kV / 10,5 kV	30
Tabel 3.2 Data Masukan <i>Fuzzy Logic</i>	33
Tabel 3.3 Nilai I_p dari Perhitungan Konvensional	34
Tabel 3.4 Nilai <i>Domain</i> I_p Rele Gangguan Tanah	35
Tabel 3.5 Nilai <i>Domain</i> I_p Rele Arus Lebih	36
Tabel 3.6 Nilai TMS dari Perhitungan Konvensional	37
Tabel 3.7 Nilai <i>Domain</i> TMS Rele Gangguan Tanah.....	37
Tabel 3.8 Nilai <i>Domain</i> TMS Rele Arus Lebih	38
Tabel 3.9 Nilai <i>Domain</i> t (sekon)	40
Tabel 3.10 <i>Rules Fuzzy Logic</i> Rele Gangguan Tanah	41
Tabel 3.11 <i>Rules Fuzzy Logic</i> Rele Arus Lebih	41
Tabel 4.1 Spesifikasi rele proteksi 7SJ551.....	43
Tabel 4.2 Data spesifikasi <i>feeder</i> 50_HNC10	44
Tabel 4.3 Data spesifikasi <i>feeder</i> 50_HFC20.....	45
Tabel 4.4 Data spesifikasi <i>feeder</i> 50_HLB20	46
Tabel 4.5 Data spesifikasi <i>feeder</i> 50_HFE20.....	47
Tabel 4.6 Data arus beban maksimum.....	47
Tabel 4.7 Data FLA simulasi ETAP lokasi gangguan.....	49
Tabel 4.8 Data FLA perhitungan lokasi gangguan.....	50
Tabel 4.9 Data arus hubung singkat Bus001	50
Tabel 4.10 Data arus hubung singkat Bus011	51
Tabel 4.11 Data arus hubung singkat Bus014.....	51
Tabel 4.12 Data arus hubung singkat Bus022	52
Tabel 4.13 Data arus hubung singkat Bus024	53
Tabel 4.14 Data arus hubung singkat (I_{sc}) simulasi lokasi gangguan.....	54
Tabel 4.15 Perbandingan I_{sc} simulasi dan perhitungan lokasi gangguan.....	55
Tabel 4.16 Data nilai I_{p_g} konvensional rele GFR diurutkan	

dari yang terbesar	56
Tabel 4.17 Data nilai I_{p_o} rele OCR diurutkan dari yang terbesar.....	57
Tabel 4.18 Data nilai I_{sett_g} rele GFR diurutkan dari yang terbesar.....	58
Tabel 4.19 Data nilai I_{sett_o} rele GFR diurutkan dari yang terbesar.....	59
Tabel 4.20 Data TMS_g rele GFR konvensional diurutkan dari yang terbesar	60
Tabel 4.21 Data nilai TMS_o rele OCR konvensional diurutkan dari yag terbesar	62
Tabel 4.22 Data $t(\text{sekon})_g$ konvensional rele GFR	63
Tabel 4.23 Data $t(\text{sekon})_o$ konvensional rele OCR	64
Tabel 4.24 Data I_{p_g} konvensional rele GFR	65
Tabel 4.25 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai I_{p_g} rele GFR	65
Tabel 4.26 Data TMS_g konvensional rele GFR.....	66
Tabel 4.27 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai TMS_g rele GFR.....	66
Tabel 4.28 Data $t(\text{sekon})_g$ konvensional rele GFR.....	67
Tabel 4.29 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai $t(\text{sekon})_g$ konvensional rele GFR.....	67
Tabel 4.30 <i>Rules fuzzy logic setting</i> rele GFR.....	69
Tabel 4.31 Data I_{p_o} konvensional rele OCR	71
Tabel 4.32 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai I_{p_o} rele OCR	71
Tabel 4.33 Data TMS_o konvensional rele OCR	72
Tabel 4.34 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai TMS_o rele OCR.....	72
Tabel 4.35 Data $t(\text{sekon})_o$ konvensional rele OCR.....	73
Tabel 4.36 <i>Domain fuzzy logic</i> $t(\text{sekon})_o$ rele OCR.....	73
Tabel 4.37 <i>Rules fuzzy logic setting</i> rele OCR	75
Tabel 4.38 Nilai $t(\text{sekon})_g$ rele GFR menggunakan <i>fuzzy logic</i>	76
Tabel 4.39 Nilai $t(\text{sekon})_o$ rele OCR menggunakan <i>fuzzy logic</i>	77
Tabel 4.40 Perbandingan $t(\text{sekon})_g$ konvensional dan <i>fuzzy logic</i>	77
Tabel 4.41 Perbandingan $t(\text{sekon})_o$ konvensional dan <i>fuzzy logic</i>	79

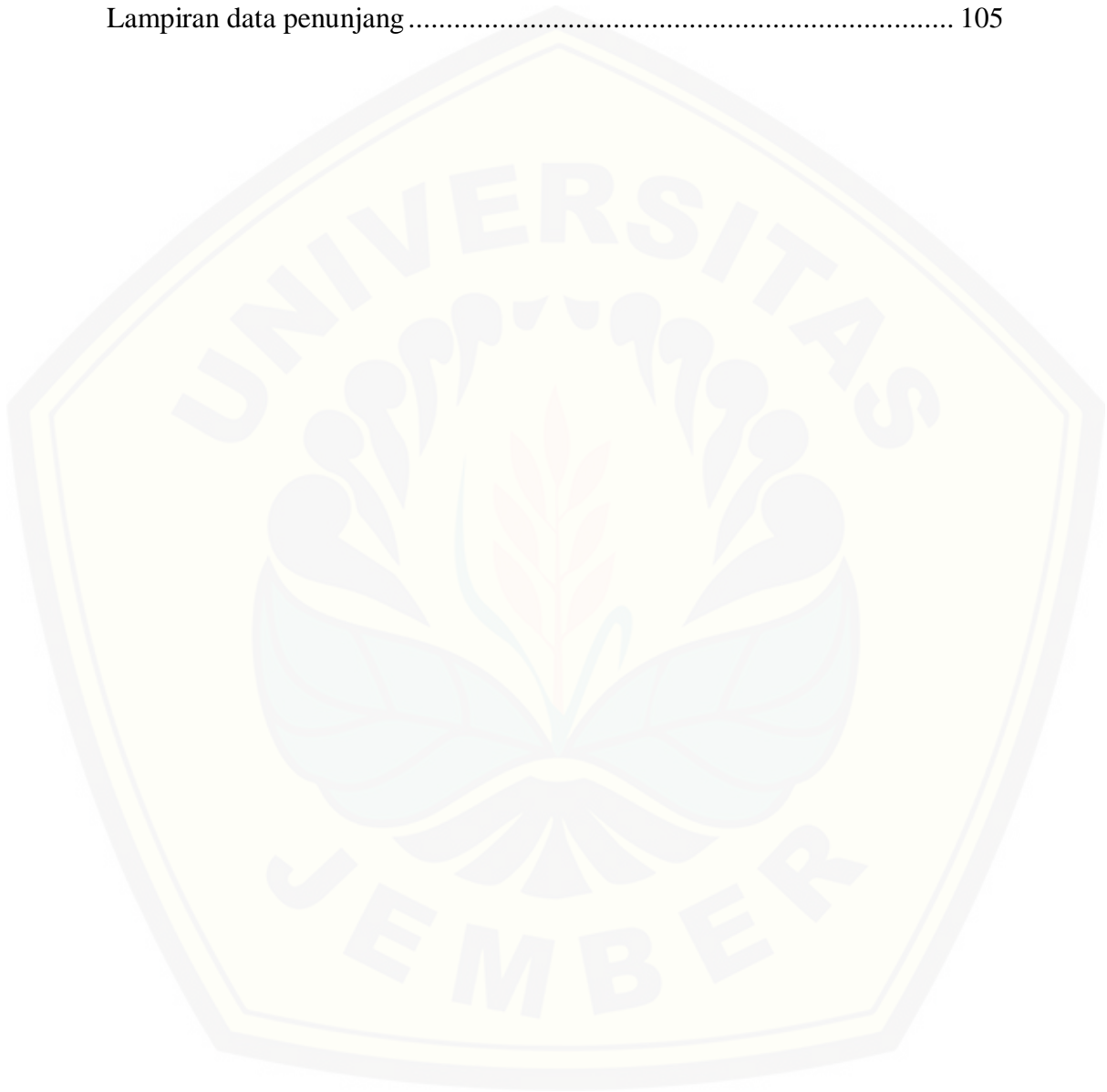
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rangkaian Pengawatan Rele EFR	10
Gambar 2.2 Karakteristik Rele Waktu Seketika.....	13
Gambar 2.3 Karakteristik Rele Waktu <i>Definite</i>	14
Gambar 2.4 Karakteristik Rele Waktu <i>Invers</i>	14
Gambar 2.5 Prinsip Kerja Transformator.....	17
Gambar 2.6 Arsitektur <i>Fuzzy Logic</i>	21
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	23
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Sistem.....	25
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Unit 5 PT. YTL Jawa Timur	27
Gambar 3.4 <i>Single Line</i> Tipikal Koordinasi 1	27
Gambar 3.5 <i>Single Line</i> Tipikal Koordinasi 2	28
Gambar 3.6 <i>Single Line</i> Tipikal Koordinasi 3	28
Gambar 3.7 <i>Single Line</i> Tipikal Koordinasi 4	29
Gambar 3.8 BBT (<i>Auxiliary Transformer</i>) 21 kV / 10,5 kV.....	30
Gambar 3.9 Kurva Segitiga <i>Fuzzy Logic</i>	32
Gambar 3.10 FIS <i>Editor Fuzzy Logic</i> GFR.....	33
Gambar 3.11 FIS <i>Editor Fuzzy Logic</i> OCR	34
Gambar 3.12 <i>Membership Function</i> Ip Rele Gangguan Tanah.....	35
Gambar 3.13 <i>Membership Function</i> Ip Rele Arus Lebih.....	36
Gambar 3.14 <i>Membership Function</i> TMS Rele Gangguan Tanah.....	38
Gambar 3.15 <i>Membership Function</i> TMS Rele Arus Lebih.....	39
Gambar 3.16 <i>Membership Function</i> t(sekon) GFR dan OCR.....	40
Gambar 4.1 <i>Single line diagram</i> PT. YTL Jawa Timur	42
Gambar 4.2 Struktur <i>fuzzy logic setting</i> rele GFR.....	64
Gambar 4.3 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai I_{pg} rele GFR	65
Gambar 4.4 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai TMS_g rele GFR	66
Gambar 4.5 <i>Domain fuzzy logic</i> nilai t(sekon) _g rele GFR	67
Gambar 4.6 <i>Rules</i> 1-10 <i>fuzzy logic</i> rele GFR	68

Gambar 4.7 Rules 11-20 fuzzy logic rele GFR	68
Gambar 4.8 Rules 21-25 fuzzy logic rele GFR	69
Gambar 4.9 Struktur fuzzy logic setting rele OCR	70
Gambar 4.10 Domain fuzzy logic nilai I_{p_o} rele OCR.....	71
Gambar 4.11 Domain fuzzy logic nilai TMS_o rele OCR.....	72
Gambar 4.12 Domain fuzzy logic nilai $t(\text{sekon})_o$ rele OCR	73
Gambar 4.13 Rules fuzzy logic 1-10 rele OCR.....	74
Gambar 4.14 Rules fuzzy logic 11-20 rele OCR.....	74
Gambar 4.15 Rules fuzzy logic 21-25 rele OCR.....	75
Gambar 4.16 Grafik perbandingan $t(\text{sekon})_g$ konvensional dengan fuzzy logic.....	78
Gambar 4.17 Grafik perbandingan $t(\text{sekon})_o$ konvensional dengan fuzzy logic.....	80

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran perhitungan	85
Lampiran data penunjang	105



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada jaman serba digital saat ini, energi memiliki peranan penting dalam tercapainya tujuan setiap kegiatan sosial, kegiatan pendidikan, kegiatan ekonomi, serta kegiatan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan. Salah satu energi yang sangat vital dan paling dibutuhkan pada jaman ini adalah energi listrik. Suatu sistem energi listrik terdiri dari proses pembangkitan, proses transmisi, dan proses distribusi, sehingga apabila terjadi gangguan pada kontinuitas proses pembangkitan energi listrik, maka proses transmisi, proses distribusi, dan segala sektor kegiatan akan mengalami dampak dari gangguan tersebut. Jika disesuaikan dengan UU Republik Indonesia No. 30 tahun 2009 tentang ketenagalistrikan pasal 29 yang menyatakan bahwa konsumen berhak untuk mendapat pelayanan yang baik dan mendapat tenaga listrik secara terus menerus dengan mutu dan keandalan yang baik (Republik Indonesia, 2009). Maka hal tersebut semakin mendorong perusahaan penyedia tenaga listrik untuk terus meningkatkan kualitas produksi listrik dan layanan agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai standar mutu keandalan yang berlaku.

PT. YTL Jawa Timur adalah perusahaan yang menjalankan *Operation and Maintenance* PLTU Paiton pembangkit unit 5 & 6 yang merupakan unit pembangkit listrik turbo generator berbahan bakar batubara dengan kapasitas 2 x 610 MW dalam kondisi *full load*. Kedua unit ini beroperasi dengan rata-rata 92% *capacity factor* pertahun, memproduksi listrik rata-rata sekitar 8.943.084 MW pertahun dan mengkonsumsi batubara 4,3 juta ton pertahun. PT. YTL Jawa Timur juga berperan vital sebagai penyuplai daya transmisi 500 kV yang kemudian disalurkan melalui jala-jala PLN untuk memenuhi kebutuhan listrik pulau Jawa dan Bali (Hariyono, R.A., 2018). Pada unit pembangkitan listrik PT. YTL Jawa Timur, terdapat suatu jaringan distribusi daya pemakaian sendiri yang digunakan untuk menjalankan peralatan pembangkitan listrik. Jaringan tersebut memiliki peran sangat vital dikarenakan energi listrik yang akan disalurkan ke PLN dan ke pulau Jawa dan Bali akan terhambat apabila terjadi gangguan.

Untuk menjamin keberlangsungan produksi energi listrik yang disalurkan ke jala-jala PLN, PT. YTL Jawa Timur memerlukan keandalan sistem kelistrikan serta kontinuitas pada jaringan distribusi daya sendiri tersebut yang diharapkan tidak terjadi gangguan. Pada penjaminan mutu dan kualitas jaringan distribusi daya sendiri di PT. YTL Jawa Timur, proteksi BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV menjadi sangat vital dan diharapkan tidak terjadi gangguan. Dikarenakan pada saat sistem *power plant* telah berjalan, energi yang digunakan untuk menjalankan peralatan produksi salah satunya diperoleh dari BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV (Hariyono, R.A., 2018). Macam-macam gangguan yang dapat terjadi pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV antara lain gangguan beban lebih, tegangan lebih, ketidakstabilan, serta hubung singkat, sehingga perlu meningkatkan performansi keandalan sistem proteksi rele-rele pengamannya. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV adalah hubung singkat 1 fasa ke tanah. Oleh sebab itu perlu adanya pengaturan nilai *setting* yang tepat pada koordinasi rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV.

Rele gangguan tanah adalah rele yang bekerja mendeteksi gangguan tanah dengan mengukur nilai dari arus residu yang mengalir ke tanah. Sedangkan rele arus lebih bekerja berdasarkan besarnya nilai arus masukan yang melewati rele apabila melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_p) (Triyono, 2013). Pada saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah di *feeder* BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV kedua rele tersebut dapat mendeteksi adanya gangguan sehingga diharapkan terjadi koordinasi yang baik antara rele gangguan tanah dan rele arus lebih. Pada keadaan tersebut diharapkan rele gangguan tanah dan arus lebih akan langsung memutus *feeder* lokasi terjadinya gangguan tanpa harus memutus *incoming* BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV. Sehingga dengan adanya koordinasi tersebut maka daerah yang tidak mengalami gangguan dapat berjalan normal.

Pada perhitungan nilai *setting* waktu kerja rele gangguan tanah dan rele arus lebih sampai saat ini masih banyak dilakukan dengan menggunakan

perhitungan konvensional yang diperoleh dari *setting* arus rele (I_p) dan *time multiple setting* rele (TMS) (Munandar, 2018). Namun nilai I_p dan TMS yang dimasukkan pada cara konvensional bisa jadi berubah-ubah, sehingga diperlukan *range* nilai I_p dan TMS yang didapat agar penentuan waktu kerja rele dapat lebih optimal. Oleh karena itu, perhitungan nilai *setting* dan koordinasi rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV pemakaian sendiri berbasis perhitungan *fuzzy logic* diharapkan dapat menghitung nilai *setting* kedua rele tersebut dengan keandalan yang lebih baik serta meningkatkan selektivitas respon kerja rele apabila terjadi gangguan. Metode perhitungan *fuzzy logic* adalah suatu kecerdasan buatan yang dapat memberikan nilai keluaran berdasarkan perbandingan *input* yang diberikan sesuai dengan cara berpikir manusia. Penggunaan kecerdasan buatan diharapkan dapat mempermudah dan memberikan efisiensi tinggi pada setiap kegiatan manusia baik itu sebagai pengontrol sistem, penentuan nilai optimal, dan sebagainya.

Pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan perhitungan *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV pemakaian daya distribusi sendiri di PT. YTL Jawa Timur secara konvensional. Perhitungan nilai *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih dari perhitungan konvensional yang telah didapatkan lalu dibandingkan dengan perhitungan berbasis *fuzzy logic*. Perbandingan tersebut dilakukan dengan melakukan simulasi pada *software* Matlab dan ETAP pada perhitungan nilai *setting* berbasis perhitungan *fuzzy logic*. Simulasi *software* ETAP dilakukan untuk mendapatkan nilai arus nominal (FLA) atau dan arus hubung singkat (I_{sc}) sistem yang diasumsikan mengalami gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Sedangkan proses perhitungan *fuzzy logic* dilakukan menggunakan *software* Matlab. Berdasarkan penelitian Dani Brami Puwosetyo, *setting* rele dengan menggunakan metode perhitungan *fuzzy logic* dapat digunakan dan mewakili perhitungan konvensional dengan hasil yang dapat mempermudah pengguna awam dalam menentukan nilai *setting* rele khususnya rele gangguan tanah dan rele arus lebih (Purwosetyo, D.B., 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diambil beberapa pokok permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV pemakaian daya sendiri dan *feeder* yang terkait saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.
2. Bagaimana membangun sistem *fuzzy logic* pada perhitungan *setting* koordinasi rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV pemakaian daya sendiri dan *feeder* yang terkait saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.
3. Bagaimana performansi *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih berbasis perhitungan *fuzzy logic* dibandingkan dengan perhitungan konvensional saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, adapun ruang lingkup yang akan dibatasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Transformator daya yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV unit 5 di PT. YTL Jawa Timur tipe TLUN 7844 dengan nomor seri 308 009 pemakaian daya sendiri.
 2. Letak gangguan diasumsikan terjadi pada busbar 50BBA pada *feeder* 50HNC10 (MV-motor ID *fan*) dan 50HFC20 (MV-motor *coal mill*), sedangkan pada busbar 50BBB pada *feeder* 50HLB20 (MV-motor FD *fan*) dan 50HFE20 (MV-motor PA *fan*).
 3. Data impedansi, spesifikasi transformator dan *feeder* diperoleh dari *manual book* BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV unit 5 di PT. YTL Jawa Timur.
 4. Rele yang digunakan pada penelitian ini adalah rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih buatan SIEMENS pada transformator
-

dan rele jenis 7SJ551 pada *feeder* 50BBA dan 50BBB PT. YTL Jawa Timur.

5. Tidak membahas konstruksi beban motor secara detail.
6. Spesifikasi rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih diperoleh dari *manual book* di PT. YTL Jawa Timur.
7. Metode *fuzzy logic* digunakan sebagai perhtiungan atau optimalisasi.
8. Gangguan yang dibahas adalah gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.
9. *Software* yang digunakan untuk perhitungan dan simulasi adalah *software* ETAP 12.6.0. untuk mendapat nilai arus beban maksimum dan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah pada sistem yang diasumsikan mengalami gangguan, dan *software* Matlab R2015b yang digunakan untuk simulasi *fuzzy logic*.
10. Tidak membahas aspek ekonomi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka dapat dirumuskan beberapa tujuan utama dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV unit 5 di PT. YTL Jawa Timur.
2. Mengetahui nilai *setting* koordinasi rele proteksi gangguan tanah dan rele proteksi arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.
3. Dapat membangun sistem *fuzzy logic* untuk meningkatkan keandalan *setting* koordinasi rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV terhadap hubung singkat 1 fasa ke tanah saat gangguan bersamaan dan tidak bersamaan.

1.5 Manfaat

Analisis *setting* koordinasi rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV unit 5 PT. YTL Jawa

Timur berbasis *fuzzy logic* diharapkan mampu menentukan nilai *setting* optimal dari kedua rele tersebut dan dapat mewakili dari penentuan nilai *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV dan *feeder* unit 5 PT. YTL Jawa Timur. Selain itu dengan penentuan nilai *setting* yang tepat pada rele gangguan tanah dan rele arus lebih dapat mencegah dampak dari gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah agar tidak meluas dan menyebabkan kerusakan peralatan penunjang produksi listrik lainnya pada unit 5 PT. YTL Jawa Timur. Seperti yang telah diuraikan pada latar belakang yaitu apabila terjadi gangguan pada jaringan distribusi atau peralatan penunjang produksi energi listrik, maka sistem distribusi energi listrik ke PLN yang kemudian disalurkan kepada konsumen dan masyarakat di pulau Jawa dan pulau Bali akan mengalami hambatan dan mengakibatkan kerugian baik pada sektor pendidikan, perekonomian, dan pembangunan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat, dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan atau teori yang ada tentang pendapat penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan metode kajian yang digunakan dalam menyelesaikan skripsi ini.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil penelitian yang dilakukan dan hasil analisis dari penelitian tersebut.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis tentang penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Proteksi

2.1.1 Pengertian Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah sistem perlindungan atau pengaman yang dipasang pada peralatan-peralatan suatu sistem tenaga listrik, baik pada proses pembangkitan, proses transmisi, proses distribusi maupun instalasi berbagai komponen peralatan listrik dari berbagai macam gangguan atau kondisi abnormal. Kondisi abnormal atau gangguan yang mungkin terjadi dapat berupa gangguan hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, dan lain-lain. Pada sistem proteksi memiliki tujuan utama yaitu mendeteksi gangguan, dan mengisolasi gangguan (Hariyono, R.A., 2018). Sebuah sistem proteksi tentunya tidak dapat melindungi sebuah peralatan apabila tidak dapat mendeteksi adanya gangguan atau kondisi abnormal pada peralatan yang dilindunginya. Setelah gangguan terdeteksi, selanjutnya suatu sistem proteksi akan mengisolasi daerah gangguan agar tidak memberikan dampak pada daerah yang normal dengan memutus aliran listrik di lokasi terjadinya gangguan.

Pada sistem tenaga listrik, antara sub sistem terdapat sistem proteksi tersendiri, masing-masing sub sistem diamankan oleh rele pengaman dan setiap rele pengaman mempunyai kawasan pengamanan. Jika terjadi gangguan di dalamnya, rele pengaman akan mendeteksi dan dengan bantuan PMT melepaskan sub sistem yang terganggu dari bagian sistem lainnya agar dampak gangguan tidak menyebar luas. Selain itu, antara rele pengaman pada sub sistem juga terdapat koordinasi agar dapat meminimalisir gangguan yang terjadi pada sub sistem dan tidak menyebar ke sub sistem lainnya dengan menentukan nilai *setting* antar rele pengaman (Hariyono, R.A., 2018).

2.1.2 Prinsip Sistem Proteksi

Pada suatu sistem proteksi terdapat indikator-indikator yang menjadi ukuran suatu sistem proteksi apakah telah bekerja dengan baik atau tidak. Setidaknya ada beberapa indikator atau syarat-syarat tertentu yang digunakan

untuk mengukur kinerja dari suatu sistem proteksi sehingga sistem proteksi tersebut dikatakan baik, antara lain (Hariyono, R.A., 2018):

a. Cepat Bereaksi

Peralatan proteksi harus mampu memisahkan sub sistem yang mengalami gangguan secepat mungkin. Dalam hal ini rele pengaman harus cepat bereaksi saat sistem mengalami gangguan dengan menentukan nilai *setting* optimalnya.

b. Selektif

Kemampuan rele pengaman pada sistem proteksi harus dapat menentukan area yang terjadi gangguan dan mengambil langkah yang tepat agar penanganan gangguan yang terjadi dapat sesuai dengan kondisi. Dalam hal ini rele pengaman harus dapat membedakan kapan harus bekerja dengan cepat dan kapan harus bekerja dengan waktu tunda terlebih dahulu. Hal tersebut dimaksudkan agar saat terjadi gangguan pada sebuah sistem yang diproteksi oleh rele pengaman, rele tersebut tidak memutus semua sub sistem melainkan hanya yang terjadi gangguan

c. Sensitif

Peralatan proteksi rele pengaman harus dapat bekerja dengan kepekaan yang tinggi dan mampu mendeteksi gangguan di kawasan pengamannya. Meskipun gangguan yang terjadi hanya memberikan rangsangan yang sangat minim, peralatan rele pengaman harus mampu mendeteksi secara baik.

d. Keandalan

Keandalan rele pengaman dikatakan cukup baik bila mempunyai harga 90% sampai dengan 99%. Misalnya dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 kali dan rele dapat bekerja sempurna sebanyak 23 kali maka, keandalan rele sekitar 92%.

e. Ekonomis

Suatu rele proteksi yang digunakan hendaknya ekonomis dengan tidak mengesampingkan fungsi dan keandalan sesuai dengan kebutuhan. Pada aspek ekonomis ini harus mempertimbangkan kualitas dari pengaman utama dan pengaman *backup*.

2.2 Rele Proteksi

Rele proteksi merupakan bagian penting dalam sebuah sistem tenaga listrik. Rele proteksi dibutuhkan untuk menginisiasi pemutusan dan mengisolasi daerah yang mengalami gangguan dan menjaga agar daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dapat menjalankan fungsinya. Secara garis besar sebuah rele proteksi terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

- Elemen pengindra
Elemen ini berfungsi untuk mendeteksi atau merasakan besaran-besaran listrik, seperti tegangan, arus, frekuensi, dan sebagainya sesuai dengan jenis rele yang digunakan. Pada elemen ini sebuah rele berfungsi untuk mendeteksi besaran yang masuk dan merasakan apakah daerah yang di proteksi oleh rele tersebut dalam keadaan normal atau sedang dalam gangguan.
- Elemen pembanding
Pada elemen ini rele berfungsi sebagai pembanding dari nilai besaran yang sebelumnya diterima oleh elemen pengindra dengan nilai *setting* kerja rele yang telah ditentukan sebelumnya.
- Elemen pengukur atau penentu
Pada elemen ini sebuah rele berfungsi untuk segera memberikan isyarat terjadinya gangguan dengan memutus PMT atau memberikan sinyal alarm gangguan.

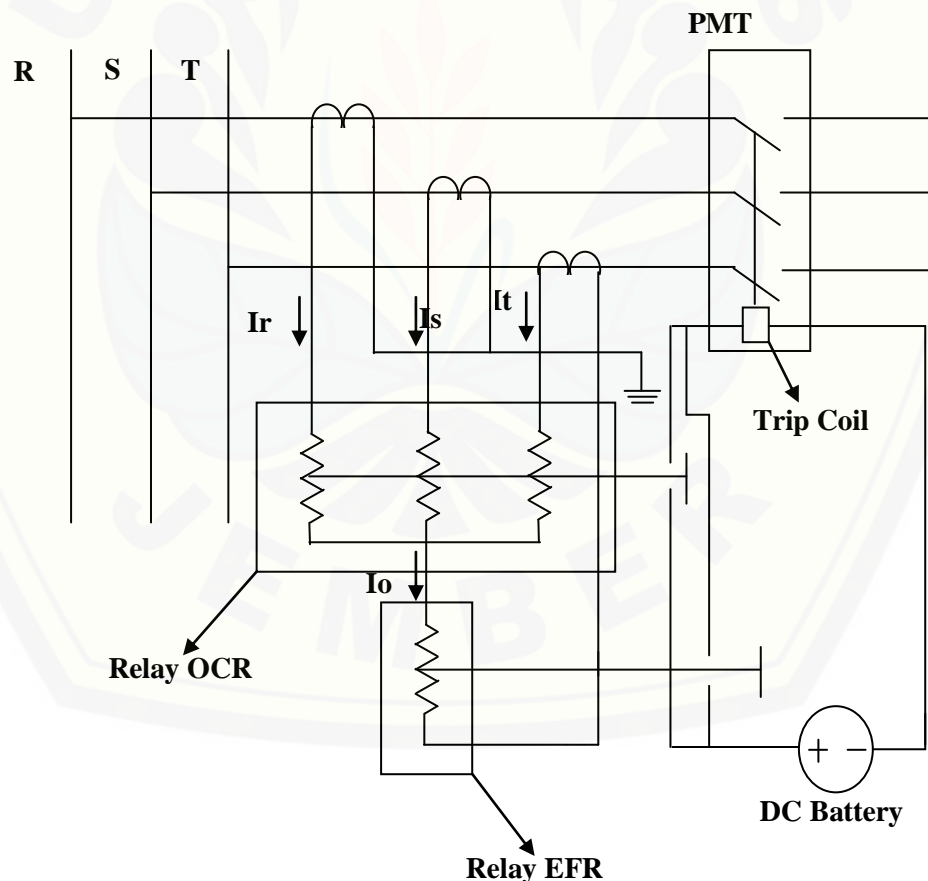
2.2.1 Rele Gangguan Tanah

2.2.1.1 Pengertian Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah atau yang lebih dikenal dengan EFR (*earth fault relay*) merupakan sebuah komponen pengamanan sistem kelistrikan yang dapat mendeteksi gangguan hubung singkat ke tanah dengan cara mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah (Triyono, 2013). Biasanya dalam operasi sistem tenaga listrik bahwa EFR (*earth fault relay*) maupun OCR (*over current relay*) seringkali di gunakan sebagai pengamanan sistem kelistrikan yang saling berkoordinasi dengan baik.

2.2.1.2 Prinsip Kerja Rele Gangguan Tanah

Pada saat kondisi normal dan beban seimbang, maka pada rangkaian listrik nilai I_r , I_s , I_t adalah sama besar. Saat kondisi tersebut kawat netral tidak timbul arus listrik dan rele gangguan hubung tanah (GFR) tidak dialiri arus listrik. Namun apabila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral sehingga rele gangguan hubung tanah (GFR) akan bekerja (Affandi, 2009). Koordinasi rele gangguan tanah dan rele arus lebih adalah apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, rele yang diharapkan lebih cepat untuk mengatasi gangguan adalah rele gangguan tanah dan rele arus lebih adalah sebagai *backup* dari rele gangguan tanah. Dibawah ini rangkaian pengawatan dari rele gangguan tanah (GFR) dan rele arus lebih (OCR) dapat dilihat pada (Gambar 2.1) berikut:



Gambar 2.1 Rangkaian Pengawatan Rele EFR

(Sumber: Affandi, 2009)

2.2.1.3 *Setting* Rele Gangguan Tanah

- ***Setting* arus**

Setting rele GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus *setting* rele GFR baik pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga adalah: $I_{set} \text{ (prim)} = 0,2 \times I \text{ nominal trafo}$. Nilai tersebut merupakan nilai primer. Sedangkan nilai *setting* sekunder yang dapat dimasukkan pada rele GFR harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga. Sehingga rumusnya menjadi (Affandi, 2009):

$$I_{gfr} = \frac{0,2 \cdot I_{nom}}{CT} \dots\dots\dots (1)$$

keterangan,

I_{gfr} = arus pada rele GFR

I_{nom} = arus nominal pada transformator

CT = rasio transformator

- ***Setting* waktu**

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja rele (TMS). Rele GFR memiliki rumus penyetingan yang sama dengan rele OCR dengan melihat dari karakteristik rele yang digunakan, namun yang membedakan adalah rele GFR lebih sensitif daripada rele OCR dikarenakan setiap gangguan hubug singkat berbeda penyebabnya dan apabila arus gangguan semakin kecil, maka rele OCR tidak dapat mendeteksi adanya gangguan, sehingga dibutuhkan kerja dari rele GFR. Pada *setting* waktu dari rele GFR digunakan nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah (Munandar, 2018). Sehingga *setting* waktu rele gangguan tanah adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)} T_{ms} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2)$$

$$T_{ms} = \frac{\left(\left(\frac{if}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)}{\beta} t \dots\dots\dots (3)$$

dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Rele *inverse*, merupakan rele dengan karakteristik nilai dari $\alpha = 0,02$ dan $\beta = 0,14$
2. Rele *very inverse*, dimana nilai $\alpha = 1$ dan $\beta = 13,5$
3. Rele sangat berbanding terbalik sekali (*extremly inverse*), memiliki karakteristik dimana $\alpha = 2$ dan $\beta = 80$
4. Rele sangat-sangat berbanding terbalik sekali (*long inverse*), memiliki karakteristik dimana $\alpha = 1$ dan $\beta = 120$

2.2.2 Rele Arus Lebih

2.2.2.1 Pengertian Rele Arus Lebih

Rele arus lebih adalah komponen yang dapat mensinyalir adanya arus lebih pada sebuah sistem kelistrikan dengan kenaikan arus tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat ataupun *overload* yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan lain yang ada di dalam daerah proteksinya. Penggunaan rele arus lebih ini sangat vital dan hampir digunakan pada seluruh pola pengamanan tenaga listrik. Pada penerapannya di transformator tenaga, rele arus lebih berfungsi sebagai pencegah kerusakan transformator tenaga dari gangguan hubung singkat dan lainnya dengan mengaktifkan PMT pada rangkaian sistem apabila terjadi gangguan berupa kenaikan arus yang melebihi nilai *setting* agar memutus saluran listrik apabila terjadi gangguan (Affandi, 2009).

2.2.2.2 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih

Prinsip kerja dari rele arus lebih adalah berdasarkan adanya besaran arus yang melebihi dari nilai *setting* (Iset) yang dirasakan oleh elemen pengindera rele baik disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau *overload* yang kemudian diproses di elemen pembanding dan kemudian disimpulkan oleh elemen penentu. Apabila dirasakan arus gangguan yang melebihi dari nilai *setting* rele oleh elemen

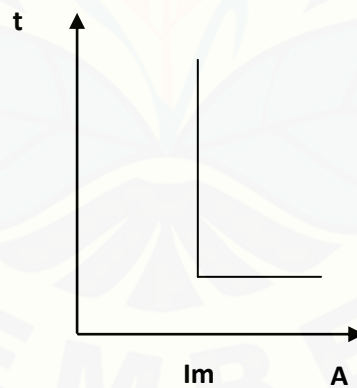
pengindera rele, maka rele akan memerintahkan PMT untuk *trip* sesuai dengan karakteristik waktu kerja rele tersebut namun dengan memberikan nilai yang melebihi dari arus maksimum yang dapat diterima rele. Agar rele tersebut tidak bekerja pada saat arus beban maksimum. Apabila rele tidak diberikan pengaturan arus yang melebihi dari arus beban maksimumnya, maka pada saat sistem dalam keadaan beban penuh rele akan *trip* dan menganggap terjadi gangguan.

2.2.2.3 Jenis Rele Arus Lebih Berdasarkan Karakteristik Waktu

Berdasarkan karakteristik waktu yang dimiliki oleh rele arus lebih, rele arus lebih dibagi menjadi beberapa jenis dengan keunggulan dan kelemahan masing-masing, antara lain (Affandi, 2009):

- Rele Arus Lebih Waktu Seketika

Merupakan rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir meleni nilai *setting* rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10-20). Rele dengan karakteristik waktu seketika dapat dilihat pada (Gambar 2.2) berikut:



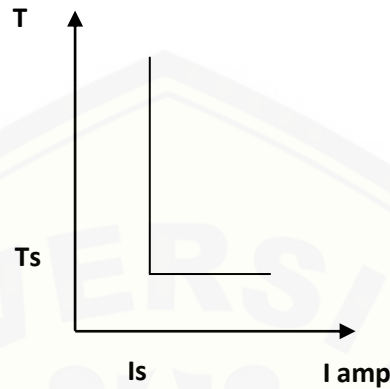
Gambar 2.2 Karakteristik Waktu Seketika

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/07/relay-arus-lebih.html>)

- Rele Arus Lebih *Definite*

Rele yang pada prinsip kerjanya memiliki waktu tunda tetap, yaitu dimana jangka waktu yang dimiliki oleh rele mulai dari karakteristik *pick-up* sampai selesainya kerja rele tersebut dapat diperpanjang

dengan nilai tertentu dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan. Rele dengan karakteristik *definite* dapat dilihat pada (Gambar 2.3) berikut:

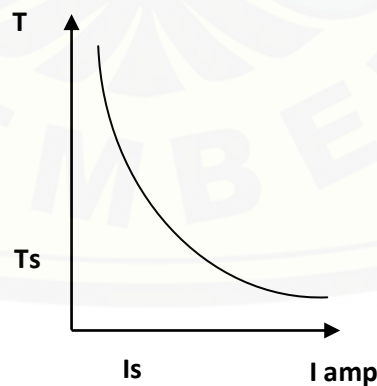


Gambar 2.3 Karakteristik *Definite*

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/07/relay-arus-lebih.html>)

- Rele Arus Lebih *Inverse*

Adalah rele yang waktu tundanya memiliki karakteristik bergantung pada besarnya arus gangguan yang terjadi. Semakin besar arus gangguan yang diterima, maka akan semakin cepat pula waktu kerja rele atau berbanding terbalik. Rele dengan karakteristik waktu *inverse* dapat dilihat pada (Gambar 2.4) berikut:



Gambar 2.4 Karakteristik *Invers*

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/07/relay-arus-lebih.html>)

2.2.2.4 *Setting* Rele Arus Lebih

- ***Setting* arus**

Rele arus lebih pada dasarnya tidak boleh berkerja pada saat beban maksimum dan nilai dari arus *setting* harus lebih besar daripada nilai arus maksimumnya. Arus *setting* nya pun harus memperhatikan kesalahan *pick up* sesuai dengan *British Standard Pick Up* yaitu 1.05 arus beban maksimal $\leq I_p \leq 0,8$ arus hubung singkat minimum. Dapat disimpulkan jika besar arus *pick up* haruslah lebih besar dari 1.05 arus maksimum dan lebih kecil 0,8 dari besar arus gangguan minimum yang dirasakan oleh rele (Munandar, 2017). Sehingga diperoleh rumus:

$$I_{set} (\text{prim}) = 1,05 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots\dots\dots (4)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai sekunder yang dapat dimasukkan pada rele OCR harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga. Sehingga rumusnya menjadi:

$$I_{set} (\text{sek}) = I_{set} (\text{prim}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (5)$$

- ***Setting* waktu**

Dalam menentukan nilai *setting* rele arus lebih, dibutuhkan nilai besar arus beban maksimum dan arus hubung singkat minimum. Kriteria tersebut dibutuhkan untuk menghindari kemungkinan kesalahan operasi waktu kerja rele pada saat keadaan normal. *Setting* waktu kerja rele dipertimbangkan dari kecepatan dan selektivitas rele agar rele tidak salah operasi, sesuai dengan standar IEEE 242 yaitu: Waktu terbuka *circuit breaker* adalah 0,04 - 0,1 s (2-5 cycle), *overtravel* dari rele adalah 0,1 s, faktor keamanan dimulai dari 0,12 - 0,22 s, untuk rele static dan rele digital berbasis *microprocessor*, *overtravel time* dari rele dapat diabaikan, sehingga total waktu yaitu sebesar 0,2 – 0,4 s (Munandar, 2018). Untuk setelan waktu dari rele OCR juga sama dengan rele GFR tergantung dari karakteristik relenya, yaitu sama dengan persamaan (2) dan (3).

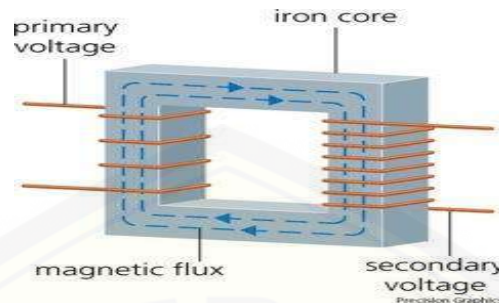
2.3 Transformator Daya

Transformator daya merupakan suatu komponen listrik yang berfungsi untuk mengubah listrik arus bolak-balik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi (*step-up*) atau sebaliknya. Komponen utama pada transformator daya diantaranya, inti besi, kumparan (lilitan) transformator, minyak transformator, *bushing*, dan tangki konservator. Inti besi merupakan komponen yang berfungsi mengarahkan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer ke lilitan sekunder. Lilitan transformator dibagi menjadi dua yaitu lilitan sisi primer yang merupakan bagian yang terhubung dengan sumber energi listrik dan lilitan sisi sekunder yang merupakan bagian yang terhubung dengan rangkaian beban. Inti besi dan tembaga transformator merupakan komponen yang secara aktif “membangkitkan” energi panas (Teddy, L., 2012). Energi panas yang dihasilkan oleh inti besi dan kumparan transformator harus disalurkan melalui suatu sistem pendinginan.

Apabila tidak mengalami proses pendinginan, maka akan mengakibatkan inti besi maupun kumparan mencapai suhu yang tinggi sehingga dapat merusak tahanan isolasinya. Oleh karena itu diperlukan peran dari minyak transformator yang ditampung di dalam tangki konservator yang digunakan untuk meredam energi panas yang timbul. Sedangkan *bushing* adalah sebuah konduktor yang terhubung dengan kumparan yang berada di dalam transformator dan *bushing* tersebut diselubungi oleh bahan isolator. Bahan isolator berfungsi sebagai media isolasi antara konduktor *bushing* dengan badan tangki utama transformator. Selain komponen utama tersebut, transformator daya juga memiliki komponen peralatan bantu diantaranya peralatan pendingin, *tap changer*, beberapa indikator temperatur, dan alat pernafasan (*dehydrating breather*) (Teddy, L., 2012).

Dalam menyalurkan daya listrik, prinsip kerja transformator daya yaitu berdasarkan hukum induksi Faraday dan hukum Lorentz dimana saat kumparan primer dialiri arus bolak-balik maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetic disekitarnya dan menyebabkan inti besi yang dikelilingi oleh arus bolak-balik akan berubah menjadi magnet. Akibatnya, pada inti besi tersebut akan mengalir fluks magnet dan fluks magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial. Dari

penjelasan tersebut, prinsip kerja dari transformator dapat dilihat susunannya pada (Gambar 2.5) berikut:



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Transformator

(Sumber: Teddy, L., 2012).

Berdasarkan dari jenis pengubahan besar nilai tegangan yang dilakukan, transformator dibagi menjadi 2, yaitu:

1. *Step-up* Transformator, yaitu transformator untuk menaikkan tegangan dengan jumlah lilitan sekunder lebih banyak dibandingkan primer.
2. *Step-down* Transformer, yaitu transformator untuk menurunkan tegangan dengan jumlah lilitan primer lebih banyak dibandingkan jumlah lilitan sekunder.

2.3.1 Gangguan Transformator Daya

Pada dasarnya semua beban yang memerlukan energi listrik dengan tegangan tertentu seluruhnya disuplai oleh sebuah transformator daya. Oleh sebab itu nilai kontinuitas sebuah transformator harus semaksimal mungkin terhidar dari berbagai macam gangguan yang dapat mengganggu kerja suatu alat yang dapat menyebabkan kerugian. Untuk mencegah kerusakan pada trafo, terlebih dahulu mengenali gangguan pada trafo. Gangguan pada trafo berdasarkan faktor penyebabnya, disebabkan oleh:

2.3.1.1 Gangguan Dalam (*Internal Faults*)

Gangguan dalam (*Internal Faults*) merupakan gangguan-gangguan yang terjadi pada sebuah transformator yang berasal dari dalam transformator itu

sendiri sehingga apabila tidak segera diperbaiki dapat menimbulkan berbagai macam kerusakan- kerusakan ringan ataupun kerusakan berat pada sebuah transformator. Gangguan dalam (*Internal Faults*) ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Hariyono, R.A., 2018):

- Gangguan busur api kecil dan pemanasan lokal yang disebabkan oleh koneksi penyambungan konduktor yang tidak baik, *partial discharge*, dan kerusakan isolasi pada baut-baut penjepit inti.
- Gangguan pada sistem pendingin yang dapat berupa minyak ataupun udara dimana apabila sistem pendingin tidak berfungsi maksimal maka suhu pada transformator akan meningkat dan jika terakumulasi dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kerusakan transformator.
- Gangguan hubung singkat di dalam transformator misalnya hubung singkat antara belitan primer dan sekunder dan gangguan pada terminal transformator yang dapat menyebabkan panas yang berlebihan bahkan bisa menimbulkan busur api kecil pada sebuah transformator.

2.3.1.2 Gangguan Luar (*External Fault*)

Gangguan ini terjadi diluar transformator dan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Beban lebih (*Over Load*) yang terjadi pada transformator ketika beban lebih besar dari kapasitas maksimal transformator.
- Gangguan gelombang surja yang bisa disebabkan oleh cuaca misalnya sambaran petir pada saluran yang terhubung ke transformator.
- Gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung singkat fasa ke tanah yang juga dapat menyebabkan arus lebih pada transformator.

2.4 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada jaringan saluran kelistrikan yaitu:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa

3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu (Affandi, 2009):

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (6)$$

dimana,

I = arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = tegangan sumber (V)

Z = impedansi dari sumber tegangan sampai titik gangguan

Pada beberapa gangguan hubung singkat tersebut yang membedakan adalah nilai impedansi yang terbentuk dan tegangan yang memasok arus pada titik gangguan. Namun pada penelitian ini, batasan masalah yang diberikan adalah tentang koordinasi rele proteksi gangguan tanah (EFR) dan rele proteksi arus lebih (OCR) pada BBT *Auxiliary Transformer* saat terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Nilai-nilai impedansi (Z) pada gangguan hubung singkat adalah sebagai berikut:

- Impedansi untuk gangguan 3 fasa adalah $Z = Z_1$
- Impedansi untuk gangguan 2 fasa adalah $Z = Z_1 + Z_2$
- Impedansi untuk gangguan 1 fasa ke tanah adalah $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana,

- Z_1 adalah impedansi urutan positif (Ohm)
- Z_2 adalah impedansi urutan negatif (Ohm)
- Z_0 adalah impedansi urutan nol (Ohm)

2.4.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Pada unit pembangkitan energi listrik juga memerlukan suatu sistem distribusi daya pemakaian sendiri yang digunakan untuk mengkoordinasikan berbagai peralatan yang ada sebagai pendukung proses produksi listrik. Pada saluran distribusi tersebut daya utama yang disalurkan adalah berasal dari transformator daya yang memiliki spesifikasi sesuai dengan peralatan-peralatan

yang ada. Pada PT. YTL Jawa Timur transformator yang digunakan adalah BBT (*Auxiliary Transformer*) 21kV/10,5kV. Oleh sebab itu, perlu dilakukan sebuah pengamanan pada BBT (*Auxiliary Transformer*) 21kV/10,5kV agar terproteksi dari gangguan. Salah satu gangguannya yaitu hubung singkat 1 fasa ke tanah. Hubung singkat 1 fasa ke tanah menggunakan impedansi yang merupakan penjumlahan antara impedansi urutan positif ditambah urutan negatif dan ditambah impedansi urutan nol yaitu $Z_1 + Z_2 + Z_0$ (Affandi, 2009).

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah suatu analisa sistem tenaga listrik pada saat mengalami gangguan. Untuk melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat di hitung dengan tahapan sebagai berikut:

2.4.2 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Perhitungan arus gangguan hubung singkat merupakan suatu analisa sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Perhitungan arus gangguan hubung singkat dibutuhkan untuk:

- *Setting* dan koordinasi peralatan proteksi
- Menentukan kapasitas alat pemutus daya
- Menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang digunakan
- Menganalisa sitem pada waktu sistem sedang beroperasi

Menghitung arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah berdasarkan dengan rumus Stevenson halaman 288 tahun 1983 (Putra, 2017) yaitu:

$$I_{0 \text{ fasa}} (pu) = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (7)$$

dimana,

$I_{0 \text{ fasa}} (pu)$ = arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

V_{ph} = tegangan fasa-netral sistem

Z_1 = impedansi urutan positif

Z_2 = impedansi urutan negatif

Z_0 = impedansi urutan nol

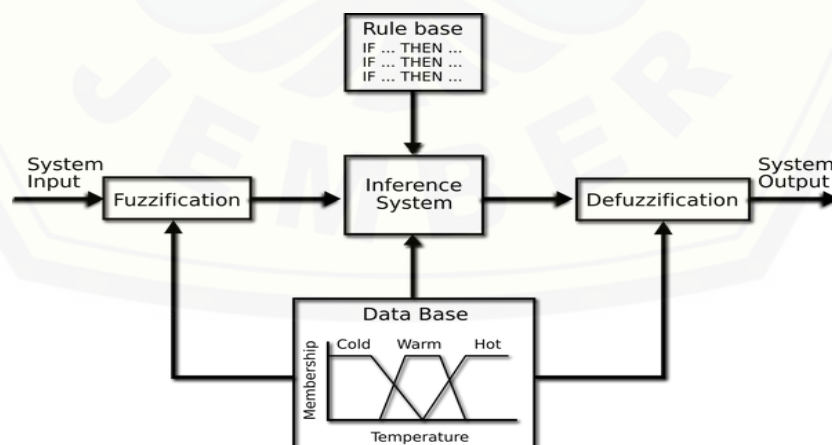
2.5 Fuzzy Logic

2.5.1 Pengertian Fuzzy Logic

Fuzzy logic adalah suatu cabang ilmu *Artificial Intellegence*, yaitu suatu pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga diharapkan komputer dapat melakukan hal-hal yang apabila dikerjakan manusia memerlukan kecerdasan (Munandar, 2018). Dalam kehidupan sehari-hari dapat di contohkan yaitu suhu yang tidak terpaku dalam besaran panas atau dingin, dalam *fuzzy logic* juga terdapat besaran parameter sangat dingin, dingin, agak dingin, normal, hangat, panas, dan sangat panas. Dasar dari sebuah kecerdasan buatan *fuzzy* adalah himpunan *fuzzy*. Dalam himpunan *fuzzy*, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Nilai keanggotaan atau *membership function* menjadi ciri utama dari penalaran suatu logika *fuzzy* (Purwosetyo, D.B., 2011).

2.5.2 Arsitektur Fuzzy Logic

Saat menggunakan kecerdasan buatan logika *fuzzy*, maka harus diperhatikan komponen-komponen penyusun logika *fuzzy* seperti (Gambar 2.6) berikut:



Gambar 2.6 Arsitektur Fuzzy Logic

(Sumber: Munandar, 2018)

Pada penerapan *fuzzy logic* di suatu perangkat, terdapat 3 proses utama yang harus dilakukan yaitu *fuzzification*, *evaluation rule*, dan *defuzzification*:

1. *Fuzzification*, merupakan suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi *fuzzy* yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya masing-masing.
2. *Inference System* (Evaluasi Rule), sebagai acuan untuk menjelaskan hubungan antara variabel-variabel masukan dan keluaran yang mana variabel yang diproses dan yang dihasilkan berbentuk *fuzzy*. Untuk menjelaskan hubungan antara masukan dan keluaran biasanya menggunakan “IF-THEN”.
3. *Defuzzification*, merupakan proses perubahan variabel berbentuk *fuzzy* tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian (Munandar, 2018)

2.5.3 Konsep *Fuzzy Logic*

- *Fuzzy logic* pada umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian, ketidaktepatan (*imprecise*), *noisy*, dan sebagainya.
- *Fuzzy logic* menjembatani bahasa mesin yang presisi dengan bahasa manusia yang menekankan pada makna atau arti (*significance*).
- *Fuzzy logic* dikembangkan berdasarkan cara berfikir pada manusia dalam menentukan penyelesaian masalah (Munandar, 2018).

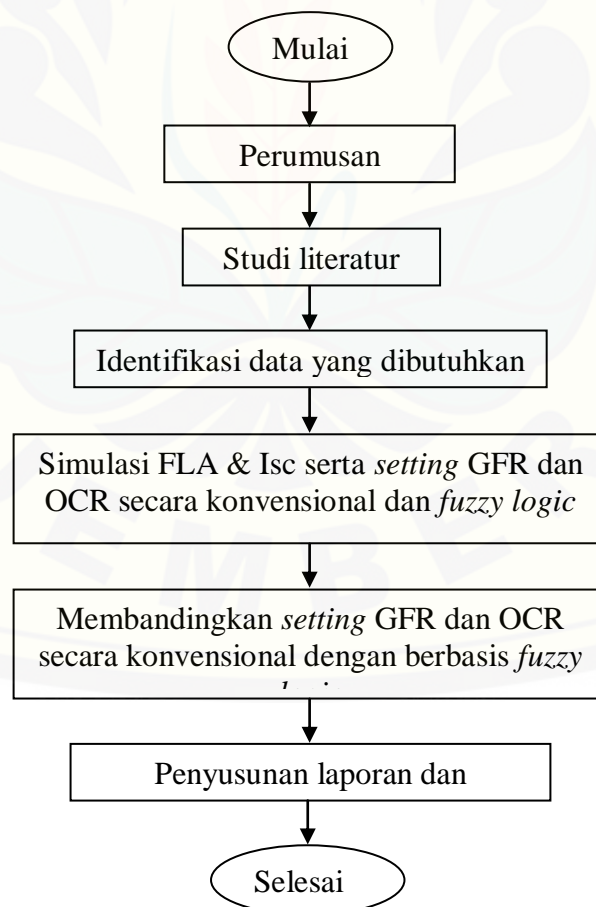
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengambilan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di PT. YTL Jawa Timur PLTU Paiton unit 5 dan waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan, dengan jadwal perencanaan penelitian dimulai dari bulan Januari 2019 sampai Juli 2019. Alat dan bahan yang digunakan adalah PC atau laptop, *software* ETAP 12.6.0 dan Matlab R2015b untuk simulasi dengan data spesifikasi beban dan data penunjang lainnya diperoleh arsip data dari PT. YTL Jawa Timur.

3.1 Tahap Penelitian

3.1.1 *Flowchart* penelitian

Flowchart dari penelitian ini dapat dirangkum pada (Gambar 3.1) berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Penjelasan secara global dari *flowchart* penelitian “Analisis *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih terhadap hubung singkat 1 fasa ke tanah pada *Auxiliary Transformer* PT. YTL Jawa Timur berbasis *Fuzzy Logic*” ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap persiapan

Dalam tahap ini hal yang dilakukan adalah perumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini dan memperkirakan data apa saja yang nantinya akan diambil dan dipergunakan dalam penggunaan metode *fuzzy logic* pada penentuan nilai *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih.

2. Studi literatur terhadap objek dan penelitian

Mengumpulkan dan mempelajari literatur tentang analisis metode *fuzzy logic*, serta mempelajari prinsip kerja rele gangguan tanah dan rele arus lebih beserta dengan cara pengaturan rele-rele tersebut.

3. Tahap pengumpulan data

Mencari dan mengumpulkan data *single line* diagram dari *power plant* PT. YTL Jawa Timur agar bisa dilakukan simulasi, mencari data spesifikasi BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV serta nilai *setting* dari rele gangguan tanah dan rele gangguan arus lebih pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV unit 5 di PT. YTL Jawa Timur.

4. Tahap pengolahan dan analisis data

Perencanaan *setting* nilai dari rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada transformator pemakaian sendiri pada PT. YTL Jawa Timur dengan beberapa *feeder* nya dilakukan dengan 2 tahap penyelesaian. Dimana tahap pertama dilakukan dengan mensimulasikan *single line* diagram yang telah di dapat dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 yang berfungsi untuk mengetahui nilai arus beban maksimal (FLA) yang melewati rele dan mengetahui nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah (Isc) sesuai dengan lokasi asumsi terjadi gangguan. Setelah itu dilakukan perhitungan manual nilai Ip dan TMS pada masing-masing rele secara konvensional dengan menggunakan nilai arus beban maksimal (FLA) dan nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah (Isc) tersebut. Nilai Ip dan TMS tersebut kemudian digunakan sebagai karakteristik *input* dan target pada *software*

MATLAB R2015b untuk menentukan *setting* berbasis *fuzzy logic* yang kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan metode perhitungan konvensional.

5. Tahap pengambilan kesimpulan

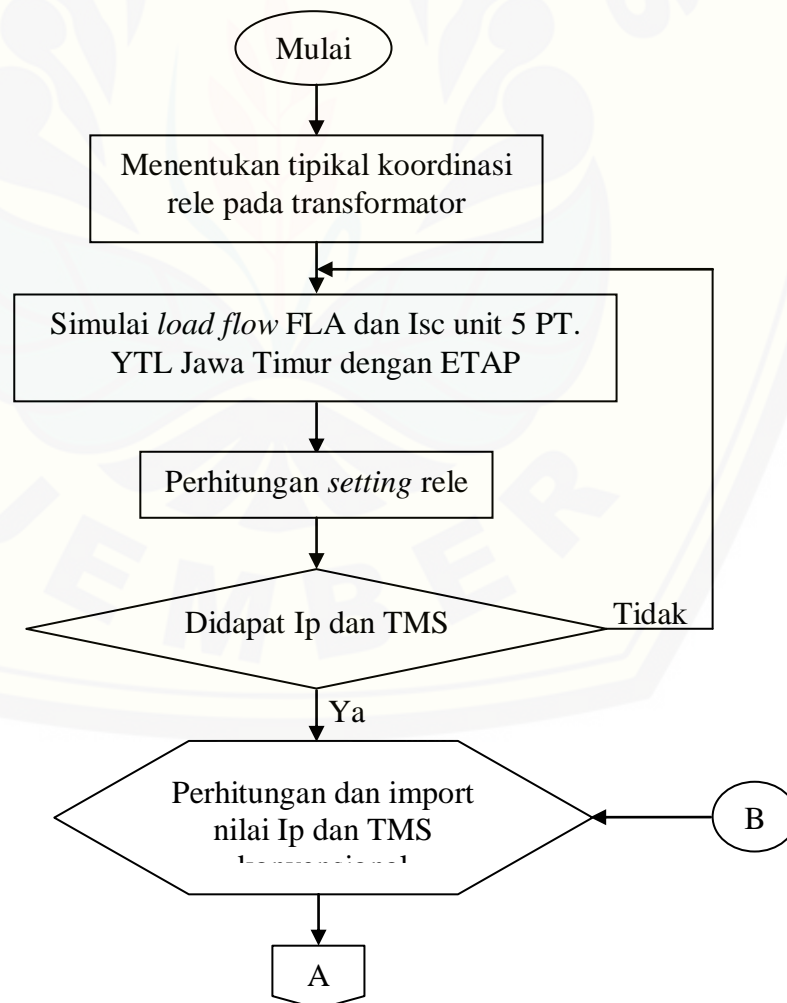
Pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dari data yang diperoleh dari metode *fuzzy logic* dan membandingkannya dengan nilai konvensional.

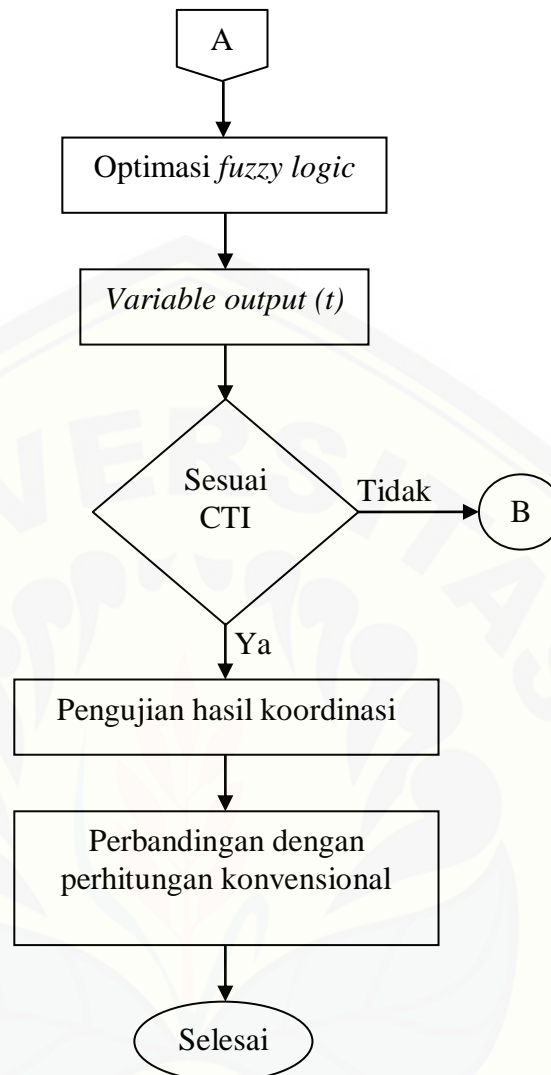
6. Tahap penyusunan laporan

Laporan disusun berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh.

3.1.2 Flowchart Sistem

Selain *flowchart* penelitian secara keseluruhan, juga terdapat *flowchart* sistem atau prosedur penelitian yang dapat dilihat pada (Gambar 3.2) berikut:



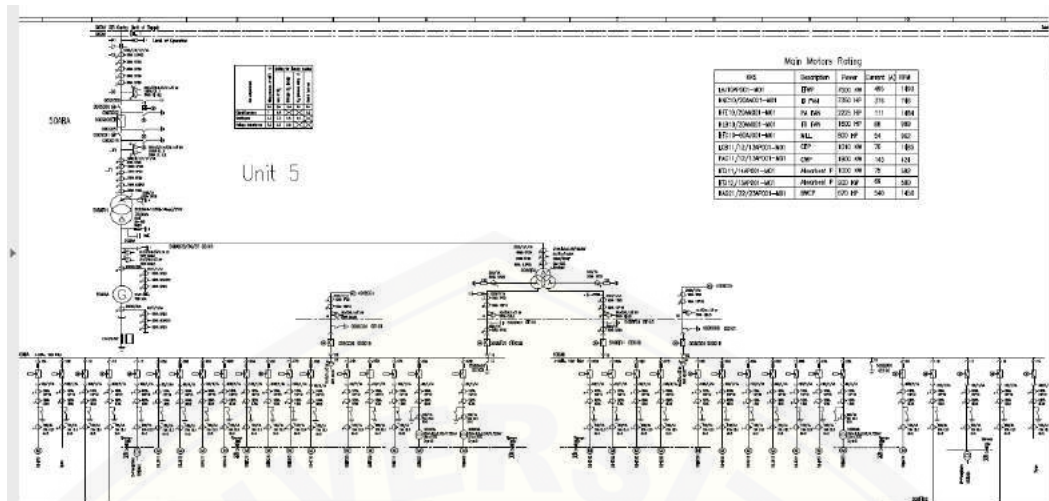


Gambar 3.2 Flowchart sistem

3.2 Data Analisis *Setting* Rele pada Transformator terhadap Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Berbasis *Fuzzy Logic*

3.2.1 *Single Line Diagram* Unit 5 PT. YTL Jawa Timur

Pada penelitian analisis *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih terhadap hubung singkat 1 fasa ke tanah pada *Auxiliary Transformer* di PT. YTL Jawa Timur berbasis *fuzzy logic* ini dilakukan pada unit 5 plant PT. YTL Jawa Timur dengan *single line* diagram yang di dapat pada saat melakukan penelitian dari PT. YTL Jawa Timur. *Single line* tersebut secara ringkas dapat dilihat pada (Gambar 3.3) berikut:

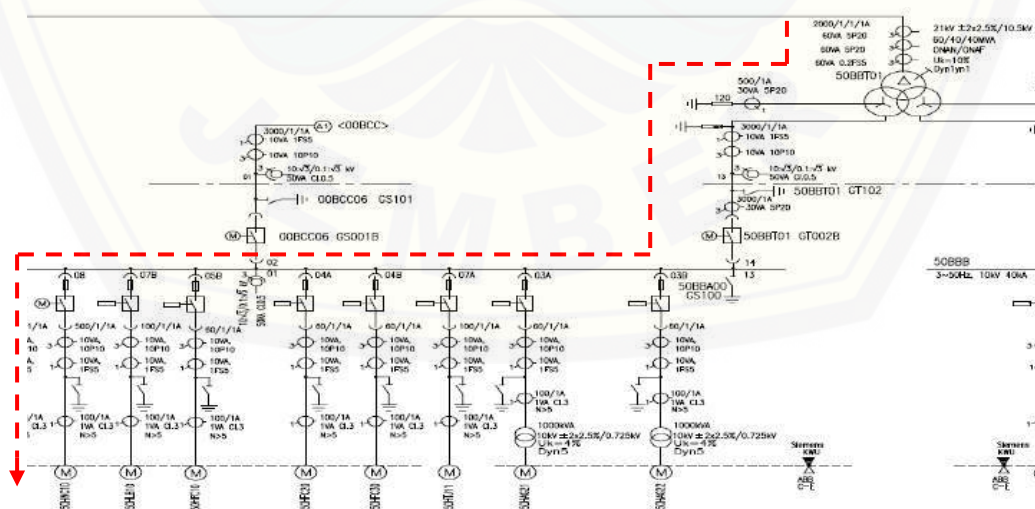


Gambar 3.3 Single line diagram unit 5 PT. YTL Jawa Timur

(Sumber: YTL, 2019)

3.2.2 Single Line Tipikal Koordinasi BBT Auxiliary Transformer step-down 21 kV / 10,5 kV di PT. YTL Jawa Timur

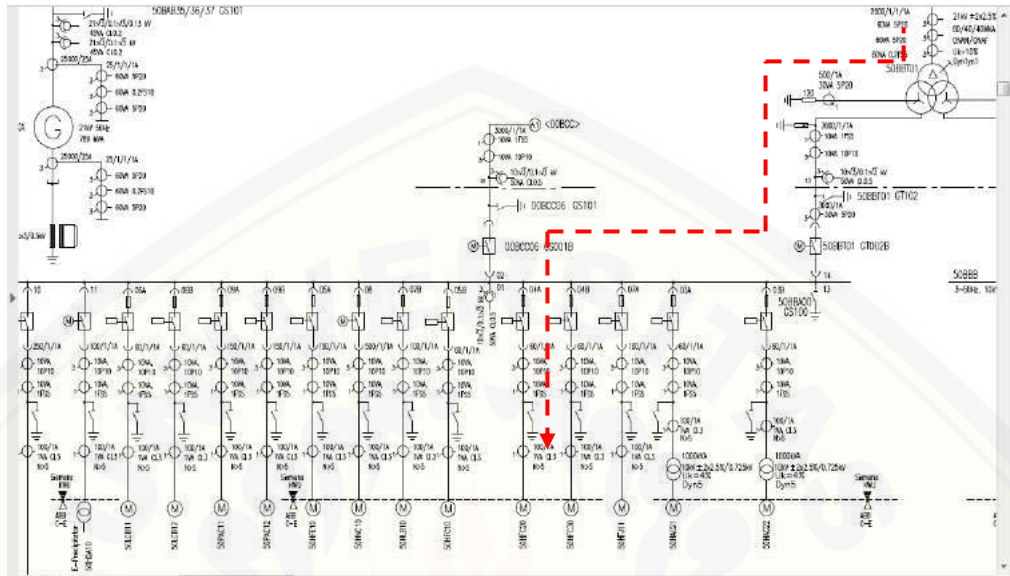
Pada penelitian analisis *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih terhadap hubung singkat 1 fasa ke tanah pada Auxiliary Transformer di PT. YTL Jawa Timur berbasis *fuzzy logic* ini dilakukan dengan asumsi lokasi gangguan pertama di busbar 50BBA beban motor ID-fan 50HNC10 dengan single line diagram dapat dilihat pada (Gambar 3.4) berikut:



Gambar 3.4 Single line tipikal koordinasi 1

(Sumber: YTL, 2019)

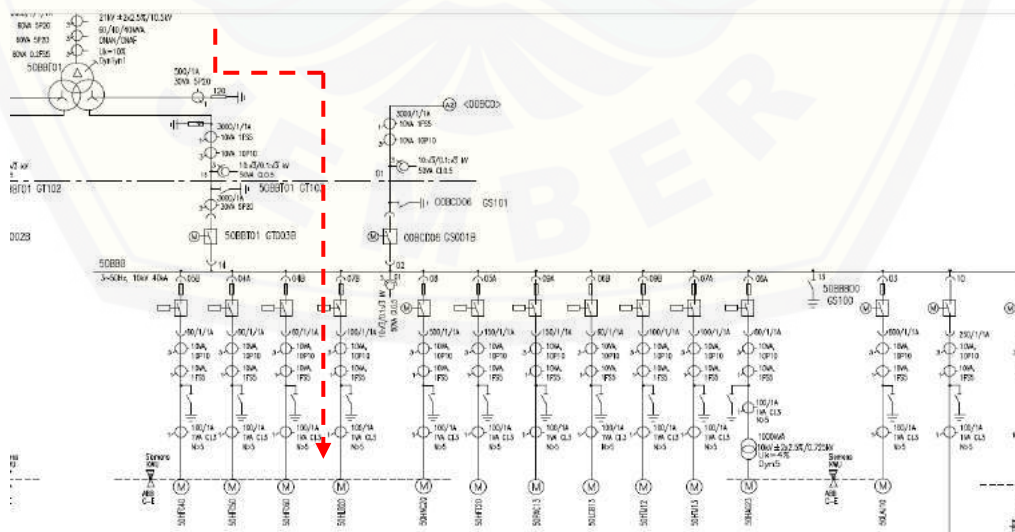
Lokasi gangguan yang kedua adalah pada busbar 50BBA dengan *feeder* MV-motor *coal mill* 50HFC20 dengan *single line* diagram yang dapat dilihat pada (Gambar 3.5) berikut:



Gambar 3.5 Single line tipikal koordinasi 2

(Sumber: YTL, 2019)

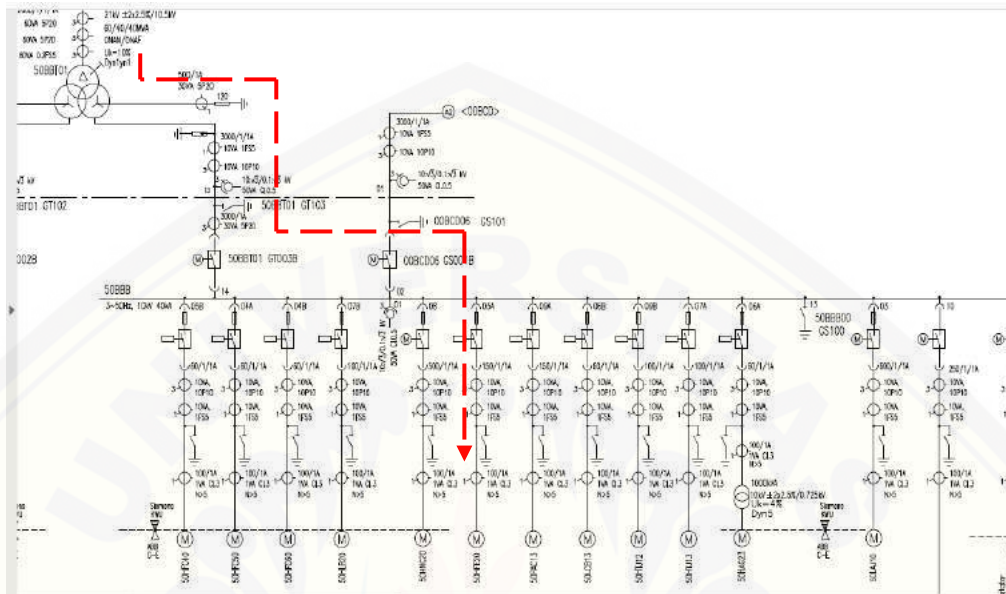
Lokasi gangguan ketiga adalah pada busbar 50BBB dengan *feeder* 50HLB20 MV-motor FD-fan dengan *single line* diagram yang dapat dilihat pada (Gambar 3.6) berikut:



Gambar 3.6 Single line tipikal koordinasi 3

(Sumber: YTL, 2019)

Lokasi gangguan keempat adalah pada busbar 50BBB beban motor *PA-fan* 50HFE20 dengan *single line* diagram yang dapat dilihat pada (Gambar 3.7) berikut:



Gambar 3.7 *Single line* tipikal koordinasi 4

(Sumber: YTL, 2019)

3.2.3 BBT *Auxiliary Transformer step-down* 21 kV / 10,5 kV di PT. YTL Jawa Timur

Trasformator dengan kode BBT atau unit *Auxiliary Transformer* merupakan salah satu transformator daya yang ada pada PLTU Paiton unit 5 dan unit 6. Transformator ini berfungsi untuk mentransformasikan tegangan keluaran dari generator sebesar 21 kV menjadi 10,5 kV. Tegangan keluaran yang dihasilkan transformator ini digunakan untuk mensuplai berbagai beban motor tegangan tinggi dan transformator lain dengan tegangan yang lebih rendah yang ada di PLTU unit 5 dan unit 6 untuk pemakaian daya sendiri. Pada penelitian ini penulis menentukan objek transformator daya yang diteliti adalah transformator daya *Auxiliary Transformer* unit 5 yang ada di PT. YTL Jawa Timur (Hariyono, R.A., 2018). Pada penelitian analisis *setting* rele GFR dan rele OCR terhadap hubung singkat 1 fasa ke tanah pada *Auxiliary Transformer* PT. YTL Jawa Timur, gambar transformator dapat dilihat pada (Gambar 3.8) berikut:



Gambar 3.8 BBT (*Auxiliary Transformer*) 21 kV / 10,5 kV

(Sumber: penulis, 2018)

Berikut merupakan spesifikasi singkat unit BBT (*Auxiliary Transformer*) yang ada pada PLTU unit 5, yang dapat dilihat pada (Tabel 3.1) berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi *Auxiliary Transformer* 21 kV / 10,5 kV

Dibuat oleh	SIEMENS
Tipe dan nomor seri	TLUN 7844 : 308 008
Rating daya maksimum	60/40/40 MVA
Sistem pendingin	ONAN/ONAF
Tegangan tinggi nominal antar fasa	21 kV \pm 2 steps
Tegangan rendah nominal antar fasa	10,5 kV / 10,5 kV
Impedansi	6,14%
Hubungan pada fasa	
<ul style="list-style-type: none"> • Vektor grup • Pentanahan pada sisi star point 	Dyn1yn1 ditanahkan dengan tahanan (NGR)
Jenis tap pada Transformator	<i>Off load tap changer</i>
Taps pada Transformator	
<ul style="list-style-type: none"> • Besarnya steps dalam persen • Jumlah tap 	5% \pm 2 (5)
Durasi hubung singkat	2 s
Total berat	\pm 73 ton
Frekuensi	50 Hz

(Sumber: YTL, 2018)

Bagian-bagian peralatan pada unit BBT (*Auxiliary Transformer*) pada PLTU Paiton unit 5 dan unit 6 hampir sama seperti transformator pada umumnya. Beberapa peralatan yang terdapat pada BBT (*Auxiliary Transformer*) *step-down* 21 kV / 10,5 kV berdasarkan buku manual yaitu:

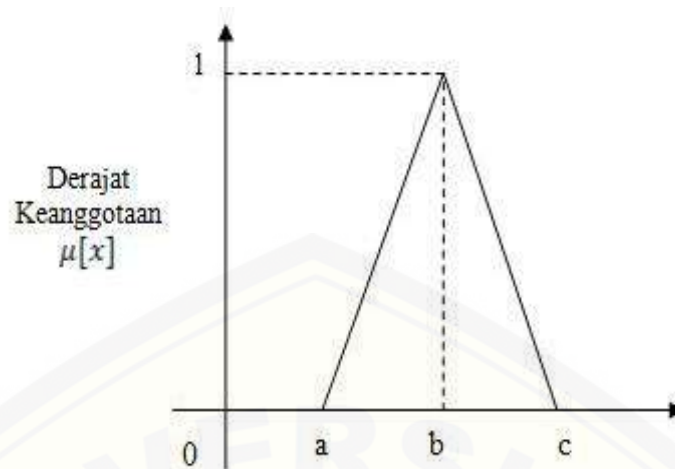
1. *Tap Changer*
2. *Bushings*
3. Kotak terminal untuk transformator arus (CT)
4. Minyak transformator dan sistem pendingin
5. Rele *Buchholz*
6. Termometer
7. Pengukur level oli
8. Proteksi tekanan oli
9. Monitor aliran oli
10. *Dehydrating Breather*

3.3 Struktur *Fuzzy Logic*

Dalam penelitian analisis *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada *Auxiliary Transformer* di PT. YTL berbasis *fuzzy logic* ini, terlebih dahulu menentukan kurva karakteristik *input* dan *output* atau target yang akan diolah sebagai berikut:

3.3.1 Karakteristik Kurva

Dalam penelitian analisis *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada *Auxiliary Transformer* di PT. YTL berbasis *fuzzy logic* ini, digunakan representasi karakteristik kurva segitiga. Pada karakteristik ini, pemetaan *input* ke derajat keanggotaannya digambarkan dengan bentuk segitiga yang pada dasarnya merupakan gabungan dari 2 garis linear (Widodo, 2012:42). Pemilihan representasi dari kurva segitiga dimaksudkan agar data yang diperoleh pada saat menentukan nilai batas bawah dan batas atasnya merupakan bilangan konstan. Representasi keanggotaan kurva segitiga dapat diamati pada (Gambar 3.9) berikut:

Gambar 3.9 Kurva segitiga *fuzzy logic*

(Sumber: Widodo, 2012:42)

dimana rumus representasi kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu [x. a. b. c] = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

dimana:

a = nilai domain terkecil dengan derajat keanggotaan nol.

b = nilai domain dengan derajat keanggotaan 1.

c = nilai domain terbesar dengan derajat keanggotaan 0.

3.3.2 Karakteristik *Input*

Pada penentuan karakteristik *input* dari *fuzzy logic* ini penulis menyesuaikan dengan referensi jurnal dari Dani Brami Purwostyo, Margo Pujiantara, Heri Suryoatmojo dengan judul “Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dengan Metode *Fuzzy Logic* Menggunakan *Plant* PT. KPI (Kaltim Parna Industri)”, dan skripsi dari Mohammad Aris Munandar dengan judul “Koordinasi *Setting* Rele Proteksi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Terhadap Penambahan *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor Daya pada Jaringan Distribusi

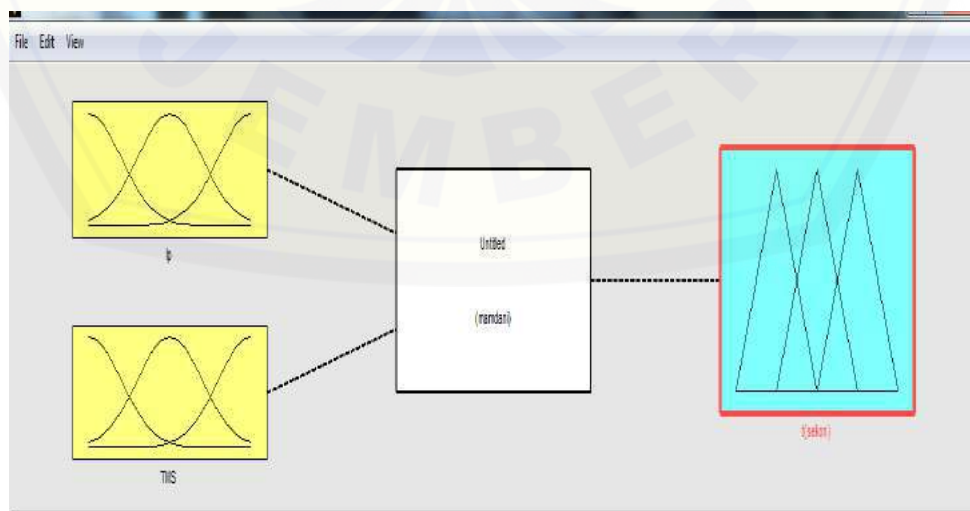
Radial”. Pada kedua referensi diatas digunakan nilai I_p dan nilai TMS yang diperoleh dari perhitungan konvensional. Kemudian membuat semesta pembicaraan untuk membatasi nilai dari setiap variabel (Munandar, 2018).

Dikarenakan dalam penelitian analisis setting rele gangguan tanah dan rele arus lebih pada *Auxiliary Transformer* di PT. YTL berbasis *fuzzy logic* ini rele yang digunakan adalah rele gangguan tanah dan rele arus lebih dengan jumlah masing-masing 5, maka karakteristik input sistem *fuzzy logic* terdiri dari nilai I_p (EFR1, EFR2, EFR3, EFR4 dan EFR5), TMS (EFR1, EFR2, EFR3, EFR4, dan EFR5) pada rele EFR, dan nilai IP (OCR1, OCR2, OCR3, OCR4 dan OCR5), serta TMS (OCR1, OCR2, OCR3, OCR4 dan OCR5). Karakteristik input *fuzzy logic* dapat dilihat pada (Tabel 3.2) berikut:

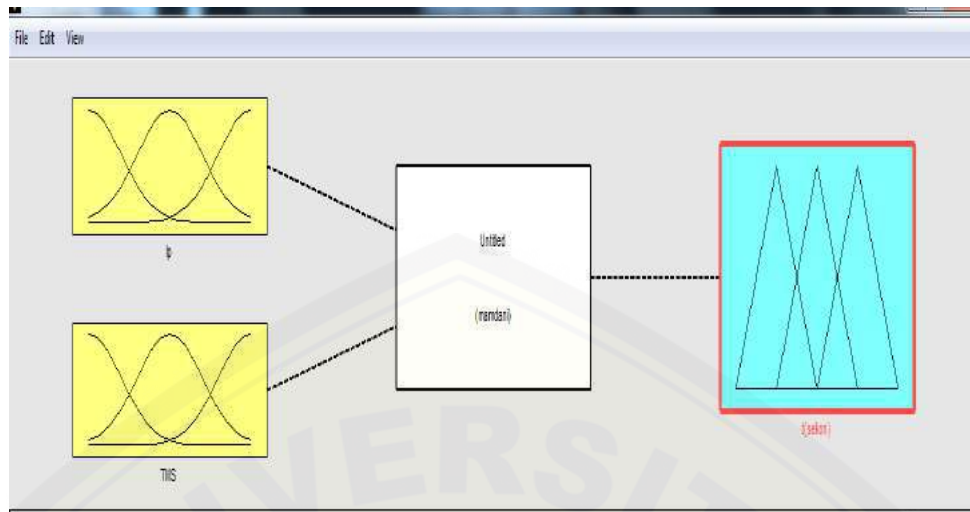
Tabel 3.2 Data masukan *fuzzy logic*

Karakteristik Input	
$I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{p4}, \text{ dan } I_{p5}$ (EFR)	TMS1, TMS2, TMS3, TMS4 dan TMS5 (EFR)
$I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{p4}, \text{ dan } I_{p5}$ (OCR)	TMS1, TMS2, TMS3, TMS4, dan TMS5 (OCR)

Setelah diklasifikasikan, selanjutnya membentuk FIS *editor fuzzy logic* yang terdiri dari 2 input dan 1 output seperti (Gambar 3.10) dan (Gambar 3.11) berikut:



Gambar 3.10 FIS *editor fuzzy logic* GFR

Gambar 3.11 FIS editor *fuzzy logic* OCR

Pada FIS *Editor fuzzy logic* GFR dan OCR masing-masing digunakan 2 *input* sesuai dengan referensi yaitu nilai I_p dan nilai TMS. Untuk mendapat nilai IP harus diketahui dulu besar arus beban maksimal (FLA). Pada rele gangguan tanah nilai I_p diperoleh dari rumus I_p (GFR) = 0,2 x I nominal (FLA), sedangkan pada rele arus lebih nilai I_p diperoleh dari rumus I_p (OCR) = 1,05 x I nominal (FLA). Dari perhitungan tersebut akan diperoleh nilai I_p pada masing-masing rele seperti (Tabel 3.3) dibawah ini:

Tabel 3.3 Nilai IP dari perhitungan konvensional

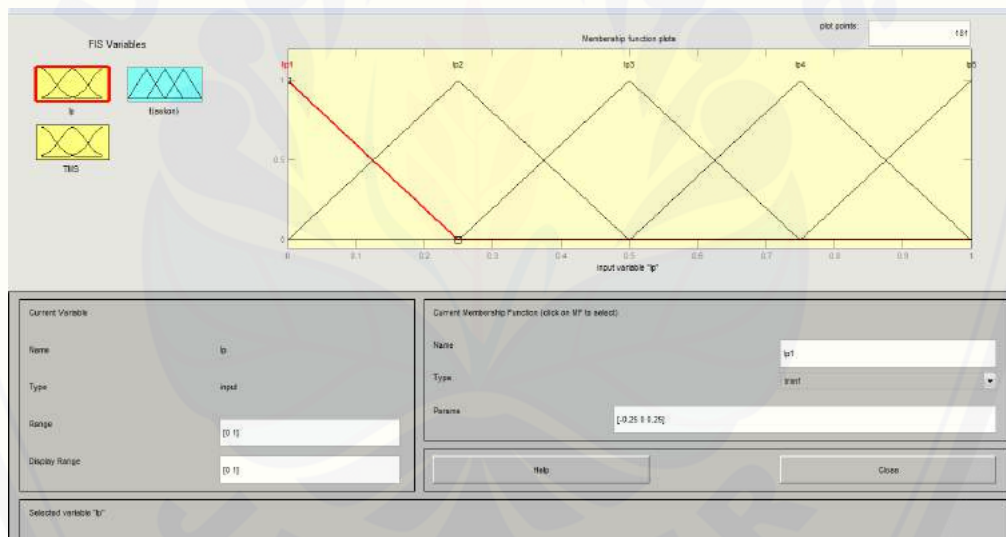
Jenis Rele	I_p (Ampere)
Rele gangguan tanah (EFR)	I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} , I_{p4} , dan I_{p5}
Rele arus lebih (OCR)	I_{p1} , I_{p2} , I_{p3} , I_{p4} dan I_{p5}

Setelah di dapatkan ilai I_p -nya, kemudian membuat semesta pembicaraan dari variabel IP dan membuat batas bawah dan batas atas pada rele sehingga kemudian terdapat nilai dari *membership function* atau *domain fuzzy logic* dari data-data yang telah diperoleh. Nilai dari *membership function* atau *domain fuzzy logic* kemudian dibuat parameter atau interval yang terdiri atas batas bawah, nilai asli, dan batas atas seperti (Tabel 3.4) berikut:

Tabel 3.4 Nilai domain I_p rele gangguan tanah

Jenis Rele	I_p (Ampere)	Interval		
Rele EFR Transformator (I_{p1})	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HNC10 (I_{p2})	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HFC30 (I_{p3})	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HFC50 (I_{p4})	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HNC20 (I_{p5})	X	X	X	X

Setelah membuat parameter dari *membership function* atau *domain fuzzy logic*, selanjutnya akan muncul kotak dialog seperti pada (Gambar 3.12) berikut:

Gambar 3.12 *Membership function* I_p rele gangguan tanah

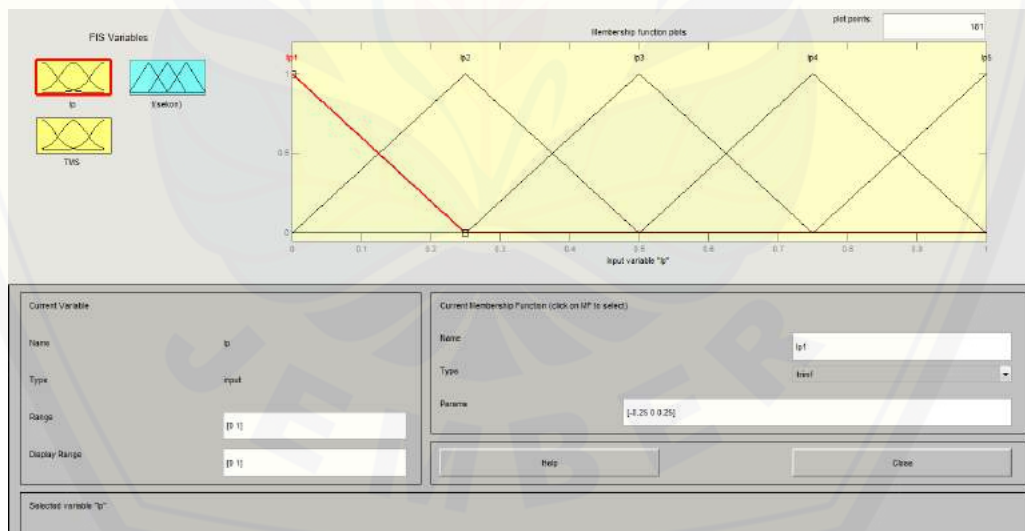
Nilai *range* dan nilai parameter diatas hanya dibuat sebagai percobaan dan nilai sesungguhnya akan diterapkan pada *membership function* nilai I_p rele gangguan tanah setelah di dapatkan nilai I_p dari perhitungan konvensional dengan memperhatikan batas bawah dan batas atas. Karakteristik kurva *fuzzy logic* yang digunakan pada penrlitian ini adalah kurva jenis segitiga. Karena pada *input* dan *output fuzzy logic* akan ditentukan batas bawah dan batas atas dari nilai yang diketahui melalui perhitungan konvensional. Selain pada rele GFR, rele OCR juga

mengalami perlakuan yang sama. Yaitu setelah di dapatkan nilai I_p nya, maka langkah selanjutnya adalah membuat nilai parameter *membership function* atau *domain fuzzy logic* seperti pada (Tabel 3.5) berikut:

Tabel 3.5 Nilai domain I_p rele arus lebih

Jenis Rele	I_p (Ampere)	Interval		
Rele OCR Transformator (I_{p1})	X	X	X	X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HNC10 (I_{p2})	X	X	X	X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HFC30 (I_{p3})	X	X	X	X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HFC50 (I_{p4})	X	X	X	X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HNC20 (I_{p5})	X	X	X	X

Setelah membuat parameter dari *membership function* atau *domain fuzzy logic*, selajutnya akan muncul kotak dialog seperti pada (Gambar 3.13) berikut:



Gambar 3.13 *Membership function* I_p rele arus lebih

Nilai *range* dan nilai parameter pada gambar diatas hanya digunakan pada percobaan. Dan nilai *range* dan parameter yang sesungguhnya akan diterapkan pada *membership function* nilai I_p rele arus lebih setelah di dapatkan nilai I_p dari perhitungan konvensional dengan memperhatikan batas bawah dan batas atasnya.

Perlakuan yang sama diberikan pada nilai TMS yang diperoleh dari perhitungan konvensional pada masing-masing rele GFR dan rele OCR. Begitu juga pada karakteristik kurva yang digunakan yaitu sama dengan kurva *input* yang berupa kurva segitiga. Kurva segitiga dipilih karena nilai hasil perhitungan akan langsung ditentukan batas bawah dan batas atasnya sebelum di proses. Dari perhitungan TMS akan diperoleh nilai konvensional seperti pada (Tabel 3.6) berikut:

Tabel 3.6 Nilai TMS dari perhitungan konvensional

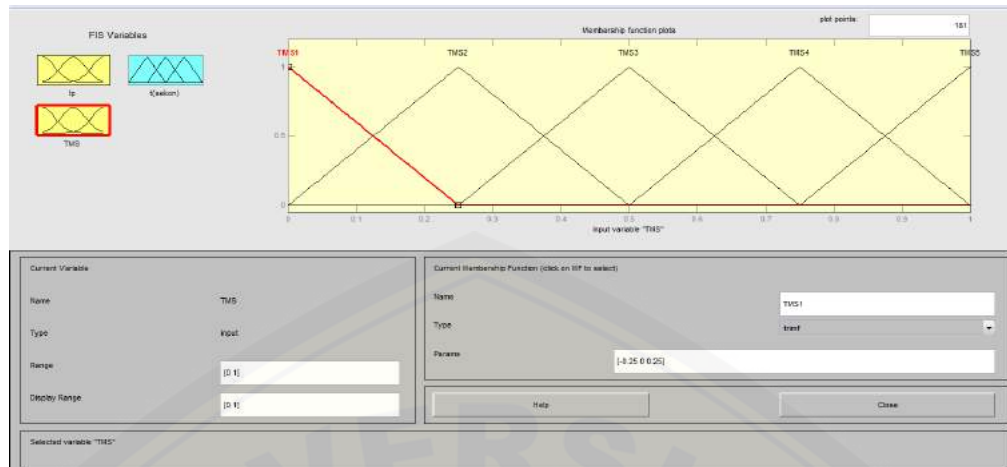
Jenis Rele	TMS
Rele gangguan tanah (EFR)	TMS1, TMS2, TMS3, TMS4, dan TMS5
Rele arus lebih (OCR)	TMS1, TMS2, TMS3, TMS4 dan TMS5

Setelah di dapatkan ilai TMS-nya, kemudian membuat semesta pembicaraan dari variabel TMS untuk membatasi fungsi keanggotaan dari variabel TMS. Kurva karakteristik pada *input* TMS juga menggunakan jenis segitiga dikarenakan setelah di dapatkan nilai TMS dari perhitungan konvensional akan ditentukan nilai batas bawah dan batas atasnya seperti pada (Tabel 3.7) dan (Tabel 3.8) berikut:

Tabel 3.7 Nilai domain TMS rele gangguan tanah

Jenis Rele	TMS	Interval		
Rele EFR Transformator (TMS1)	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HNC10 (TMS2)	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HFC30 (TMS3)	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HFC50 (TMS4)	X	X	X	X
Rele EFR <i>feeder</i> 50HNC20 (TMS5)	X	X	X	X

Setelah diperoleh nilai TMS dan membuat *membership function* dari nilai tersebut, maka kemudian akan muncul kotak dialog *fuzzy logic membership function* seperti pada (Gambar 3.14) berikut:



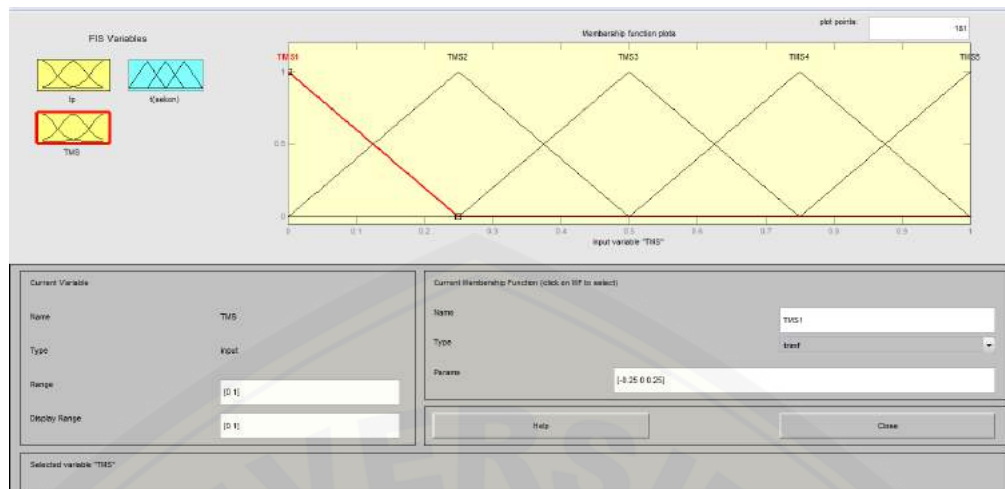
Gambar 3.14 Membership function TMS rele gangguan tanah

Nilai *range* dan nilai parameter diatas adalah nilai *range* dan parameter percobaan. Nilai *range* dan parameter yang sesungguhnya akan diterapkan pada *membership function* nilai TMS rele gangguan tanah setelah di dapatkan nilai TMS dari perhitungan konvensional dengan memperhatikan batas bawah dan batas atasnya sesuai dengan (Tabel 3.8) berikut:

Tabel 3.8 Nilai domain TMS rele arus lebih

Jenis Rele	TMS	Interval
Rele OCR Transformator (TMS1)	X	X X X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HNC10 (TMS2)	X	X X X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HFC30(TMS3)	X	X X X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HFC50 (TMS4)	X	X X X
Rele OCR <i>feeder</i> 50HNC20 (TMS5)	X	X X X

Seperti halnya pada rele gangguan tanah yang setelah ditentukan nilai interval daripada *membership function* atau domain *fuzzy logic*, maka pada rele arus lebih pun demikian. Nilai I_p yang diperoleh dari perhitungan manual atau konvensional juga akan ditentukan batas bawah dan batas atasnya. Skema penentuan batas bawah dan batas akhir adalah acak dan terdekat dengan nilai asli. Skema tersebut dapat dilihat pada (Gambar 3.15) berikut:



Gambar 3.15 Membership function TMS rele arus lebih

Nilai *range* dan nilai parameter diatas adalah nilai *range* dan parameter percobaan. Nilai *range* dan parameter sesungguhnya akan diterapkan pada *membership function* nilai TMS rele arus lebih setelah di dapatkan nilai TMS dari perhitungan konvensional dengan memperhatikan batas bawah dan batas atasnya.

3.3.3 Karakteristik Output

Pada penentuan karakteristik *output* pada *fuzzy logic* ini data yang digunakan adalah nilai t (sekon) waktu operasi yang diperoleh dari perhitungan menggunakan rumus IEC dengan standart IEC 60255-3 or BS 142 untuk menentukan nilai t (sekon) (Munandar, 2018). Kemudian membuat semesta pembicaraan untuk membatasi nilai dari *membership function* variabel t (sekon). Adapun fungsi keanggotaan output t (sekon) dapat dilihat pada persamaan (2) dan (3). Dimana nilai konstanta dari variabel α dan β tergantung kepada jenis rele invers yang dipakai pada transformator BBT dan *feeder* motor ID-fan HNC pada plant unit 5 PT. YTL Jawa Timur (Purwosetyo, D.B., 2011).

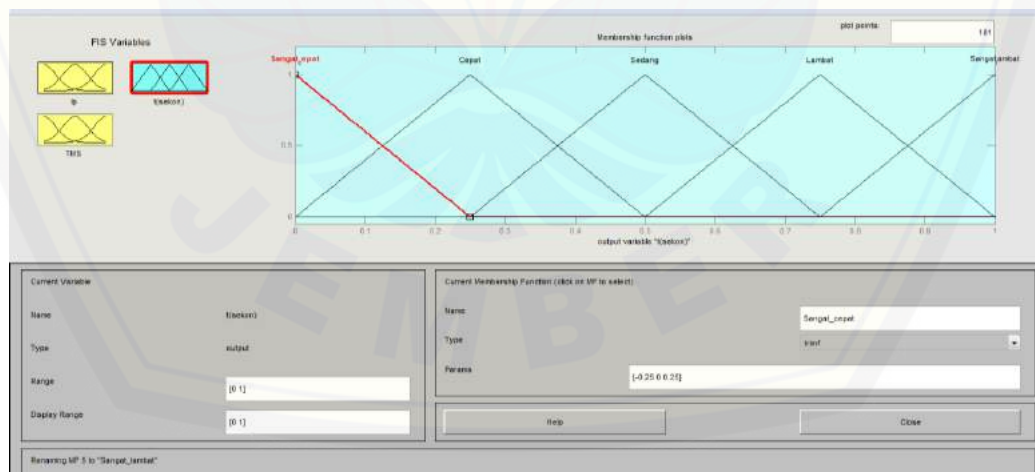
Pada penentuan karakteristik *output* dari *fuzzy logic* ini penulis menyesuaikan dengan referensi jurnal dari Dani Brami Purwostyo, Margo Pujiantara, Heri Suryoatmojo dengan judul “Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dengan Metode *Fuzzy Logic* Menggunakan *Plant* PT. KPI (Kaltim Parna Industri)”, dan skripsi dari Mohammad Aris Munandar dengan judul “Koordinasi

Setting Rele Proteksi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Terhadap Penambahan *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor Daya pada Jaringan Distribusi Radial” dengan membuat semesta pembicaraan dari nilai t (sekon) dijadikan sebagai target pada *fuzzy logic* dan diberikan keterangan berupa parameter kecepatan t (sekon) pada saat rele beroperasi yaitu sangat cepat, cepat, sedang, lambat, dan sangat lambat sebagai berikut (Munandar, 2018) yang dapat dilihat pada (Tabel 3.9) berikut:

Tabel 3.9 Nilai *domain* t (sekon)

t (sekon)	Interval		
Sangat_cepat	X	X	X
Cepat	X	X	X
Sedang	X	X	X
Lambat	X	X	X
Sangat_lambat	X	X	X

Setelah diperoleh klasifikasi atau *membership function* nilai t (sekon) maka akan ditampilkan seperti pada (Gambar 3.16) berikut:



Gambar 3.16 *Membership function* t (sekon) GFR dan OCR

Nilai *range* dan nilai parameter diatas merupakan nilai *range* dan parameter percobaan. Nilai *range* yang sesungguhnya akan diterapkan pada *membership function output* t (sekon) rele gangguan tanah dan rele arus lebih

setelah di dapatkan nilai output t (sekon) dari perhitungan konvensional dengan memperhatikan batas bawah dan batas atasnya.

3.3.4 Rules

Pada penelitian analisis *setting* rele gangguan tanah dan rele arus lebih terhadap hubung singkat 1 fasa ke tanah pada *Auxiliary Transformer* di PT. YTL Jawa Timur berbasis *fuzzy logic* ini, *rule* yang digunakan untuk mencari nilai t (sekon) melibatkan nilai I_p dan nilai TMS dengan jumlah 4 rule pada masing-masing rele sebagai berikut:

a) *Rules fuzzy logic* rele gangguan tanah

Rules fuzzy logic dapat diwakilkan dengan (Tabel 3.10) dan (Tabel 3.11) dibawah ini:

Tabel 3.10 *Rules fuzzy logic* rele gangguan tanah

IP \ TMS	TMS1	TMS2	TMS3	TMS4	TMS5
IP1	A1	B1	C1	D1	E1
IP2	F1	G1	H1	I1	J1
IP3	K1	L1	M1	N1	O1
IP4	P1	Q1	R1	S1	T1
IP5	U1	V1	W1	X1	Y1

b) *Rules fuzzy logic* rele arus lebih

Pada rele arus lebih, *rules fuzzy logic* dapat diwakilkan dengan tabel dibawah ini:

Tabel 3.11 *Rules fuzzy logic* rele arus lebih

IP \ TMS	TMS1	TMS2	TMS3	TMS4	TMS5
IP1	A2	B2	C2	D2	E2
IP2	F2	G2	H2	I2	J2
IP3	K2	L2	M2	N2	O2
IP4	P2	Q2	R2	S2	T2
IP5	U2	V2	W2	X2	Y2

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, kesimpulan yang diperoleh adalah:

1. *Setting* rele GFR dan OCR dengan menggunakan *fuzzy logic* dapat mewakili *setting* rele secara konvensional dan cenderung memiliki waktu kerja t (sekon) yang lebih cepat daripada metode konvensional. Seperti pada (Tabel 4.38) untuk GFR1 nilai t (sekon) konvensional 1,98 s dan t (sekon) *fuzzy logic* 1,55 s. Selanjutnya pada (Tabel 4.39) untuk OCR1 nilai t (sekon) konvensional 2,32 s dan t (sekon) *fuzzy logic* 2,28 s.
2. Pada saat gangguan tidak terjadi bersamaan sesuai dengan standar koordinasi, maka rele yang berkoordinasi adalah rele yang bebannya mengalami gangguan dengan rele pada *incoming* BBT atau GFR1 dan OCR1 secara langsung.
3. Pada saat terjadi gangguan secara bersamaan pada 4 *feeder* sesuai dengan standar koordinasi, maka koordinasi terjadi pada keempat rele *feeder* tersebut dengan rele *incoming BBT*. Untuk urutan *trip* tercepat berdasarkan data masing-masing koordinasi pada rele GFR adalah GFR2, GFR5, GFR4, GFR3, dan GFR1, sedangkan pada rele OCR adalah OCR2, OCR5, OCR4, OCR3, dan OCR1. Namun kekurangannya adalah pada proses pengujian di *software* ETAP 12.6.0 hanya bisa diberikan gangguan yang tidak bersamaan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada skripsi ini, penulis menyadari pada serangkaian proses masih banyak kekurangan. Sehingga penyempurnaan penelitian berikutnya sangat disarankan meningkatkan pada aspek berikut:

1. Memasukkan data yang lebih detail pada proses simulasi sehingga pada saat dijalankan proses simulasi, agar nilai error % yang diperoleh kecil.
2. Lebih meningkatkan *membership function* pada metode *fuzzy logic* agar didapat variasi data yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

Affandi, Irfan. (2009). Analisa *Setting* Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang. Skripsi. Depok: FT-Universitas Indonesia.

Badarudin, dan Budi Wirawan. (2014). *Setting Koordinasi Over Current Relay* Pada Trafo 60 MVA 150/20 kV dan Penyulang 20 kV. *SINERGI Vol. 18, No. 3*, 134-140.

Hariyono, R.A., Andhika Reyfaldi. (2018). *Maintenance Inspection* dan Sitem Proteksi pada *Generator Transformer 21 kV / 500 kV* PLTU Paiton Unit 5 & 6 PT. YTL Jawa Timur. Jember: Jurusan Teknik Elektro, UNEJ.

Indonesia, U. R. (2009).

Muhan., Budi Yanto Husodo. (2014) Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20kV di PT. XYZ. *SINERGI, Vol. 18, No. 3*, 165-170.

Munandar, Mohammad Aris. (2018). Koordinasi *Setting* Rele Proteksi Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* Terhadap Penambahan *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor Daya pada Jaringan Distribusi Radial. Skripsi. Jember: Jurusan Teknik Elektro, UNEJ.

Purwosetyo, Dani Brami, Margo Pujiantara, dan Heri Suryoatmojo. (2011). Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dengan Metode *Fuzzy Logic* Menggunakan *Plant* PT. KPI (Kaltim Parna Industri). Surabaya: *Undergraduate Thesis, Electrical Engineering*, ITS.

Putra, A.I., Karnoto, dan Bambang Winardi. (2017). Evaluasi *Setting Relay* Arus Lebih dan *Setting Relay* Gangguan Tanah Pada Gardu Induk 150kV Bawen. *TRANSIENT, Vol. 6, No. 3*, 454-460.

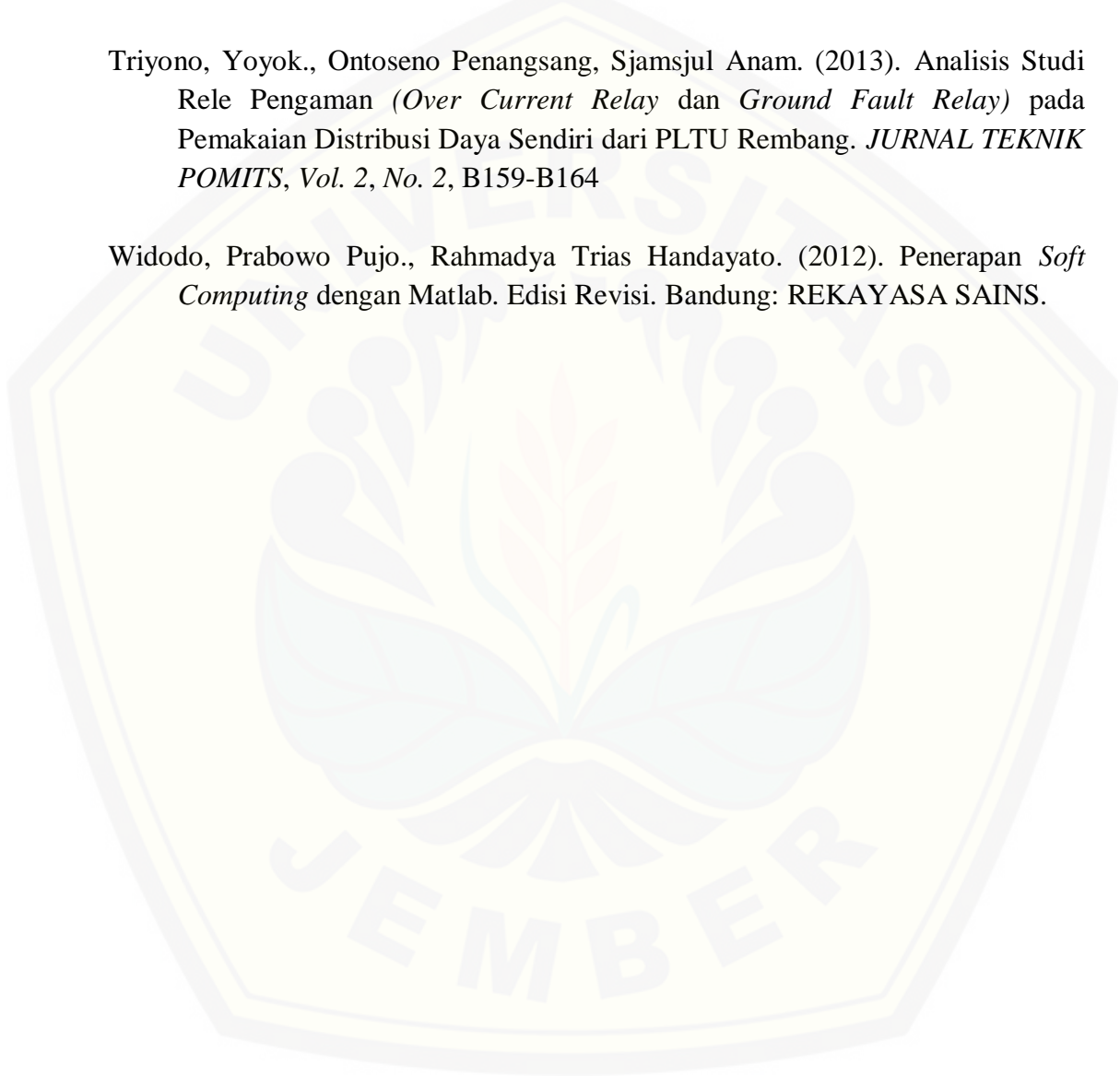
Risangpajar, Ladislaus., Yunistyastusti, dan Agung Nugroho. (2015). Evaluasi Koordinasi *Setting* Rele Proteksi OCR Pada Jaringan Distribusi Daya Pemakaian Sendiri di PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan Semarang Tambak Lorok Blok I dengan ETAP 7.5.0. *Transient, Vol. 4, No. 3*, 816-825.

Setiajie, Prayoga., Juningtyastuti, dan Susatyo Handoko. (2015). Evaluasi *Setting Relay Arus Lebih* dan *Setting Relay Gangguan Tanah* Pada Gardu Induk Sronдол. *TRANSIENT*, Vol. 4, No. 2, 236-243.

Teddy, L. (2012, 7 Maret). *Transformator*. Diakses 1 April 2019 di <https://lumbanrajateddy.wordpress.com/2012/03/07/transformator/>

Triyono, Yoyok., Ontoseno Penangsang, Sjamsjul Anam. (2013). Analisis Studi Rele Pengaman (*Over Current Relay* dan *Ground Fault Relay*) pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri dari PLTU Rembang. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 2, No. 2, B159-B164

Widodo, Prabowo Pujo., Rahmadya Trias Handayato. (2012). Penerapan *Soft Computing* dengan Matlab. Edisi Revisi. Bandung: REKAYASA SAINS.





LAMPIRAN

LAMPIRAN PERHITUNGAN

1. Perhitungan manual FLA

- **Incoming BBT**

$$S = 60000 \text{ kVA}$$

$$V = 21000 \text{ kV}$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$I = 1649,5 \text{ A}$$

- **50_HNC10**

$$P = 5,48 \text{ MW}$$

$$V = 10 \text{ kV}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,866$$

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi} = 6327,9 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$I = 365,7 \text{ A}$$

- **50_HFC20**

$$P = 0,597 \text{ MW}$$

$$V = 10 \text{ kV}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,705$$

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi} = 846,8 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$I = 48,94 \text{ A}$$

- **50_HLB20**

$$P = 1,19 \text{ MW}$$

$$V = 10 \text{ kV}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,825$$

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi} = 1442,4 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$I = 83,37 \text{ A}$$

- **50_HFE20**

$$P = 1,66 \text{ MW}$$

$$V = 10 \text{ kV}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,9$$

$$S = \frac{P}{\text{Cos}\phi} = 1844,4 \text{ kVA}$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$I = 106,612 \text{ A}$$

2. E% FLA simulasi dengan FLA perhitungan manual

- **Incoming BBT**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1649,57 - 1649,5}{1649,57} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 0,04\%$$

- **50_HNC10**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{376 - 365,7}{376} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 2,73\%$$

- **50_HFC20**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{54 - 48,94}{54} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 9,37\%$$

- **50_HLB20**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{88 - 83,37}{88} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 5,26\%$$

- **50_HFE20**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{111 - 106,6}{111} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 3,96\%$$

3. Perhitungan manual Isc

- **Incoming BBT**

$$I_{sc} = \frac{3 \times \frac{V}{\sqrt{3}}}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{17320}{6,14}$$

$$I_{sc} = 2,820 \text{ kA}$$

- **50_HNC10**

$$I_{sc} = \frac{3 \times \frac{V}{\sqrt{3}}}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{17320}{44,63}$$

$$I_{sc} = 0,388 \text{ kA}$$

- **50_HFC20**

$$I_{sc} = \frac{3 \times \frac{V}{\sqrt{3}}}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{17320}{303,08}$$

$$I_{sc} = 0,057 \text{ kA}$$

- **50_HLB20**

$$I_{sc} = \frac{3 \times \frac{V}{\sqrt{3}}}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{17320}{274,92}$$

$$I_{sc} = 0,063 \text{ kA}$$

- **50_HFE20**

$$I_{sc} = \frac{3 \times \frac{V}{\sqrt{3}}}{Z}$$

$$I_{sc} = \frac{17320}{216,5}$$

$$I_{sc} = 0,08 \text{ kA}$$

4. E% I_{sc} simulasi dengan I_{sc} perhitungan manual

- **Incoming BBT**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{2,820 - 2,735}{2,820} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 3,01\%$$

- **50_HNC10**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,388 - 0,352}{0,388} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 9,27\%$$

- **50_HFC20**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,057 - 0,049}{0,057} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 14,03\%$$

- **50_HLB20**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,063 - 0,056}{0,063} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 11,11\%$$

- **50_HFE20**

$$E\% = \left| \frac{H_t - H_s}{H_t} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,08 - 0,071}{0,08} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 11,25\%$$

5. Perhitungan nilai I_{pg} rele GFR konvensional

- **Perhitungan I_{pg1} pada rele GFR1**

rele GFR1 berdekatan dengan bus001 dimana arus beban maksimum yang melewati rele GFR1 adalah sebesar 1649,4 A yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p1} = 0,2 \times FLA$$

$$I_{p1} = 0,2 \times 1649,4 \text{ A}$$

$$I_{p1} = 329,88 \text{ A}$$

- **Perhitungan I_{pg2} pada rele GFR2**

rele GFR2 berdekatan dengan bus011 *feeder* 50_HNC10 dimana arus beban maksimum yang melewati rele GFR2 adalah sebesar 376,7 kA yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p2} = 0,2 \times FLA$$

$$I_{p2} = 0,2 \times 376,7 \text{ A}$$

$$I_{p2} = 75,34 \text{ A}$$

- **Perhitungan I_{pg3} pada rele GFR3**

rele GFR3 berdekatan dengan bus014 *feeder* 50_HFC20 dimana arus beban maksimum yang melewati rele GFR3 adalah sebesar 53,3 kA yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p3} = 0,2 \times FLA$$

$$I_{p3} = 0,2 \times 53,3 \text{ A}$$

$$I_{p3} = 10,66 \text{ A}$$

- **Perhitungan I_{pg4} pada rele GFR4**

rele GFR4 berdekatan dengan bus022 *feeder* 50_HLB20 dimana arus beban maksimum yang melewati rele GFR4 adalah sebesar 88,0 kA yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p4} = 0,2 \times FLA$$

$$I_{p4} = 0,2 \times 88,0 \text{ A}$$

$$I_{p4} = 17,6 \text{ A}$$

- **Perhitungan I_{p5} pada rele GFR5**

rele GFR5 berdekatan dengan bus024 *feeder* 50_HFE20 dimana arus beban maksimum yang melewati rele GFR5 adalah sebesar 111,0 kA yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p5} = 0,2 \times FLA$$

$$I_{p5} = 0,2 \times 111,0 \text{ A}$$

$$I_{p5} = 22,2 \text{ A}$$

6. Perhitungan *setting* arus (I_{setg}) rele GFR konvensional

- **Rele GFR1**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 329,88 \times \frac{1}{500}$$

$$I(\text{set}) = 0,659 \text{ A}$$

- **Rele GFR2**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 75,34 \times \frac{1}{100}$$

$$I(\text{set}) = 0,753 \text{ A}$$

- **Rele GFR3**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 10,66 \times \frac{1}{100}$$

$$I(\text{set}) = 0,106 \text{ A}$$

- **Rele GFR4**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 17,6 \times \frac{1}{100}$$

$$I(\text{set}) = 0,176 \text{ A}$$

- **Rele GFR5**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 22,2 \times \frac{1}{100}$$

$$I(\text{set}) = 0,222 \text{ A}$$

7. Perhitungan TMS_g rele GFR konvensional

- **Rele GFR2** (dipilih nilai t = 0,3)

$$0,3 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{75,34} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,067 \text{ s}$$

- **Rele GFR5** (t = 0,3 + 0,4) sesuai dengan standar CTI.

$$0,7 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{22,2} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,117 \text{ s}$$

- **Rele GFR4** (t = 0,7 + 0,4) sesuai dengan standar CTI.

$$1,1 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{17,6} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,183 \text{ s}$$

- **Rele GFR3** (t = 1,1 + 0,4) sesuai dengan standar CTI.

$$1,5 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{10,66} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,326 \text{ s}$$

- **Rele GFR1** (t = 1,5 + 0,4) sesuai dengan standar CTI.

$$1,9 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{329,88} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,583 \text{ s}$$

8. Perhitungan t(sekon)_g rele GFR konvensional

• **Rele GFR1**

(Ip = 329,88 dan TMS = 0,583)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{329,88} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,583$$

$$t = 1,98 \text{ s}$$

(Ip = 329,88 dan TMS = 0,067)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{329,88} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,067$$

$$t = 0,218 \text{ s}$$

(Ip = 329,88 dan TMS = 0,326)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{329,88} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,326$$

$$t = 1,061 \text{ s}$$

(Ip = 329,88 dan TMS = 0,183)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{329,88} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,183$$

$$t = 0,595 \text{ s}$$

(Ip = 329,88 dan TMS = 0,117)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{329,88} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,117$$

$$t = 0,38 \text{ s}$$

• **Rele GFR2**

(Ip = 75,34 dan TMS = 0,583)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{75,34} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,583$$

$$t = 2,632 \text{ s}$$

(Ip = 75,34 dan TMS = 0,067)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{75,34} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,067$$

$$t = 0,29 \text{ s}$$

(Ip = 75,34 dan TMS = 0,326)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{75,34} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,326$$

$$t = 1,472 \text{ s}$$

(Ip = 75,34 dan TMS = 0,183)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{75,34} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,183$$

$$t = 0,826 \text{ s}$$

(Ip = 75,34 dan TMS = 0,117)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{75,34} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,117$$

$$t = 0,528 \text{ s}$$

- **Rele GFR3**

(Ip = 10,66 dan TMS = 0,583)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{10,66} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,583$$

$$t = 2,632 \text{ s}$$

(Ip = 10,66 dan TMS = 0,067)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{10,66} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,067$$

$$t = 0,302 \text{ s}$$

(Ip = 10,66 dan TMS = 0,326)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{10,66} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,326$$

$$t = 1,52 \text{ s}$$

(Ip = 10,66 dan TMS = 0,183)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{10,66}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,183$$

$$t = 0,826 \text{ s}$$

(Ip = 10,66 dan TMS = 0,117)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{10,66}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,117$$

$$t = 0,528 \text{ s}$$

- **Rele GFR4**

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,583)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{17,6}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,583$$

$$t = 3,548 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,067)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{17,6}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,067$$

$$t = 0,407 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,326)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{17,6}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,326$$

$$t = 1,984 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,183)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{17,6}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,183$$

$$t = 1,09 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,117)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{17,6}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,117$$

$$t = 0,712 \text{ s}$$

- **Rele GFR5**

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,583)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{22,2}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,583$$

$$t = 3,473 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,067)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{22,2}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,067$$

$$t = 0,399 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,326)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{22,2}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,326$$

$$t = 1,942 \text{ s}$$

(Ip = 17,6 dan TMS = 0,183)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{22,2}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,183$$

$$t = 1,09 \text{ s}$$

(Ip = 22,2 dan TMS = 0,117)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{22,2}\right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,117$$

$$t = 0,69 \text{ s}$$

9. Perhitungan nilai Error % t(sekon) konvensional dan fuzzy logic GFR

- **GFR1**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1,98 - 1,55}{1,98} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 21,7\%$$

- **GFR2**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,29 - 0,625}{0,29} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 8,62\%$$

- **GFR3**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1,52 - 1,5}{1,52} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 1,31\%$$

- **GFR4**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1,09 - 0,87}{1,09} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 20,1\%$$

- **GFR5**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,69 - 0,55}{0,69} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 20,28\%$$

10. Perhitungan nilai I_{p0} rele OCR konvensional

- **Perhitungan I_{p01} pada rele OCR1**

rele OCR1 berdekatan dengan bus001 dimana arus beban maksimum yang melewati rele OCR1 adalah sebesar 1649,4 A yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p1} = 1,05 \times FLA$$

$$I_{p1} = 1,05 \times 1649,4 \text{ A}$$

$$I_{p1} = 1731,87 \text{ A}$$

- **Perhitungan $I_{p,2}$ pada rele OCR2**

rele OCR2 berdekatan dengan bus011 *feeder* 50_HNC10 dimana arus yang melewati rele OCR2 adalah 376,7 A yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p2} = 1.05 \times FLA$$

$$I_{p2} = 1,05 \times 376,7 \text{ A}$$

$$I_{p2} = 395,535 \text{ A}$$

- **Perhitungan $I_{p,3}$ pada rele OCR3**

rele OCR3 berdekatan dengan bus014 *feeder* 50_HFC20 dimana arus beban maksimum yang melewati rele OCR3 adalah sebesar 53,3 A yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p3} = 1,05 \times FLA$$

$$I_{p3} = 1,05 \times 53,3 \text{ A}$$

$$I_{p3} = 55,965 \text{ A}$$

- **Perhitungan $I_{p,4}$ pada rele OCR4**

rele OCR4 berdekatan dengan bus022 *feeder* 50_HLB20 dimana arus beban maksimum yang melewati rele OCR4 adalah sebesar 88,0 A yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p4} = 1,05 \times FLA$$

$$I_{p4} = 1,05 \times 88,0 \text{ A}$$

$$I_{p4} = 92,4 \text{ A}$$

- **Perhitungan $I_{p,5}$ pada rele OCR5**

rele OCR5 berdekatan dengan bus024 *feeder* 50_HFE20 dimana arus beban maksimum yang melewati rele OCR5 adalah sebesar 111,0 A yang merupakan nilai FLA.

$$I_{p5} = 1,05 \times FLA$$

$$I_{p5} = 1,05 \times 111,0 \text{ A}$$

$$I_{p5} = 116,55 \text{ A}$$

11. Perhitungan *setting* arus (I_{set0}) rele OCR konvensional

- **Rele OCR1**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 1731,87 \times \frac{1}{2000}$$

$$I(\text{set}) = 0,865 \text{ A}$$

- **Rele OCR2**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 395,535 \times \frac{1}{500}$$

$$I(\text{set}) = 0,791 \text{ A}$$

- **Rele OCR3**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 55,965 \times \frac{1}{60}$$

$$I(\text{set}) = 0,932 \text{ A}$$

- **Rele OCR4**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 92,4 \times \frac{1}{100}$$

$$I(\text{set}) = 0,924 \text{ A}$$

- **Rele OCR5**

$$I(\text{set}) = I_p \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

$$I(\text{set}) = 116,15 \times \frac{1}{150}$$

$$I(\text{set}) = 0,774 \text{ A}$$

12. Perhitungan nilai TMS_0 OCR konvensional

- **Rele OCR2 (dipilih nilai $t = 0,7$)**

$$0,7 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{395,535} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,012 \text{ s}$$

- **Rele OCR5** ($t = 0,7 + 0,4$) sesuai dengan standar CTI.

$$1,1 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{116,55} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,077 \text{ s}$$

- **Rele OCR4** ($t = 0,11 + 0,4$) sesuai dengan standar CTI.

$$1,5 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{92,4} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,106 \text{ s}$$

- **Rele OCR3** ($t = 1,5 + 0,4$) sesuai dengan standar CTI.

$$1,9 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{55,965} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,135 \text{ s}$$

- **Rele OCR1** ($t = 1,9 + 0,4$) sesuai dengan standar CTI.

$$2,3 = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{1731,87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TMS$$

$$TMS = 0,151 \text{ s}$$

13. Perhitungan nilai $t(\text{sekon})_o$ rele OCR konvensional

- **Rele OCR1**

$$(I_p = 1731,88 \text{ dan } TMS = 0,151)$$

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{1731,87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,151$$

$$t = 2,32 \text{ s}$$

$$(I_p = 1731,88 \text{ dan } TMS = 0,012)$$

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{1731,87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,012$$

$$t = 0,186 \text{ s}$$

(Ip = 1731,88 dan TMS = 0,135)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{1731,87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,135$$

$$t = 2,1 \text{ s}$$

(Ip = 1731,88 dan TMS = 0,106)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{1731,87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,106$$

$$t = 1,648 \text{ s}$$

(Ip = 1731,88 dan TMS = 0,077)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{2735}{1731,87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,077$$

$$t = 1,197 \text{ s}$$

- **Rele OCR2**

(Ip = 395,535 dan TMS = 0,151)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{395,535} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,151$$

$$t = 9,07 \text{ s}$$

(Ip = 395,535 dan TMS = 0,012)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{395,535} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,012$$

$$t = 0,73 \text{ s}$$

(Ip = 395,535 dan TMS = 0,135)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{395,535} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,135$$

$$t = 8,11 \text{ s}$$

(Ip = 395,535 dan TMS = 0,106)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{395,535} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,106$$

$$t = 6,36 \text{ s}$$

(Ip = 395,535 dan TMS = 0,077)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{352}{395,535} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,077$$

$$t = 4,62 \text{ s}$$

- **Rele OCR3**

(Ip = 55,965 dan TMS = 0,151)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{55,965} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,151$$

$$t = 8,13 \text{ s}$$

(Ip = 55,965 dan TMS = 0,012)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{55,965} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,012$$

$$t = 0,646 \text{ s}$$

(Ip = 55,965 dan TMS = 0,135)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{55,965} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,135$$

$$t = 1,89 \text{ s}$$

(Ip = 55,965 dan TMS = 0,106)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{55,965} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,106$$

$$t = 5,7 \text{ s}$$

(Ip = 55,965 dan TMS = 0,077)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{49}{55,965} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,077$$

$$t = 4,14 \text{ s}$$

- **Rele OCR4**

(Ip = 92,4 dan TMS = 0,151)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{92,4} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,151$$

$$t = 2,348 \text{ s}$$

(Ip = 92,4 dan TMS = 0,012)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{92,4} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,012$$

$$t = 0,186 \text{ s}$$

(Ip = 92,4 dan TMS = 0,135)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{92,4} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,135$$

$$t = 2,1 \text{ s}$$

(Ip = 92,4 dan TMS = 0,106)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{92,4} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,106$$

$$t = 1,64 \text{ s}$$

(Ip = 92,4 dan TMS = 0,077)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{56}{92,4} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,077$$

$$t = 1,19 \text{ s}$$

- **Rele 0CR5**

(Ip = 116,55 dan TMS = 0,151)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{116,55} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,151$$

$$t = 2,157 \text{ s}$$

(Ip = 116,55 dan TMS = 0,012)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{116,55} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,012$$

$$t = 0,171 \text{ s}$$

(Ip = 116,55 dan TMS = 0,135)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{116,55} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,135$$

$$t = 1,928 \text{ s}$$

($I_p = 116,55$ dan $TMS = 0,106$)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{116,55} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,106$$

$$t = 1,514 \text{ s}$$

($I_p = 116,55$ dan $TMS = 0,077$)

$$t = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{71}{116,55} \right)^{0,02} - 1} \right] \times 0,077$$

$$t = 1,1 \text{ s}$$

14. Perhitungan nilai Error % t(sekon) konvensional dan fuzzy logic GFR

- **OCR1**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{2,32 - 2,28}{2,32} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 1,72\%$$

- **OCR2**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{0,73 - 0,348}{0,73} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 52,3\%$$

- **OCR3**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1,89 - 1,8}{1,89} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 4,76\%$$

- **OCR4**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1,64 - 1,18}{1,64} \right| \times 100\%$$

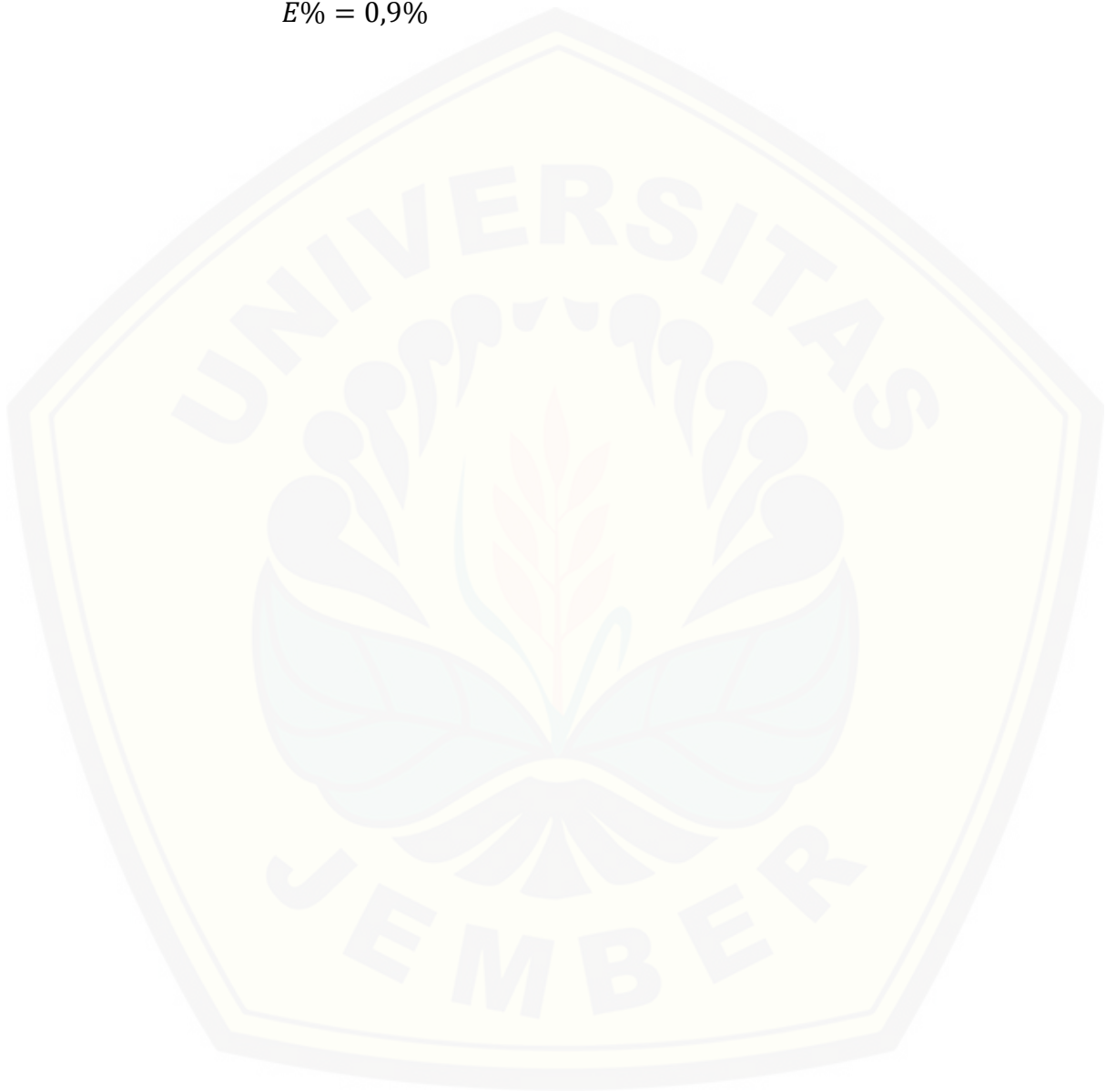
$$E\% = 28\%$$

- **OCR5**

$$E\% = \left| \frac{H_k - H_f}{H_k} \right| \times 100\%$$

$$E\% = \left| \frac{1,1 - 1,09}{1,1} \right| \times 100\%$$

$$E\% = 0,9\%$$



Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: BISMILLAH

ETAP
12.6.0H

Study Case: LF

Page: 1
Date: 07-08-2019
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

LOAD FLOW REPORT

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow				XFMR	
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
50BBA	10.500	92.381	0.4	0	0	0	0	Bus017	0.495	0.382	37.2	79.2	
								Bus018	0.495	0.382	37.2	79.2	
								Bus014	0.590	0.675	53.3	65.8	
								Bus015	0.590	0.675	53.3	65.8	
								Bus010	1.640	0.873	110.6	88.3	
								Bus013	0.590	0.687	53.9	65.1	
								Bus006	0.998	0.610	69.6	85.3	
								Bus007	0.998	0.610	69.6	85.3	
								Bus016	0.988	0.770	74.6	78.9	
								Bus012	1.176	0.883	87.5	80.0	
								Bus011	5.415	3.275	376.7	85.6	
								Bus008	1.878	1.508	143.3	78.0	
								Bus009	1.878	1.508	143.3	78.0	
								Bus004	1.322	0.816	92.5	85.1	
								Bus005	0.541	0.544	45.6	70.5	
								Bus003	1.108	1.107	93.2	70.8	
								Bus002	0.988	0.770	74.6	78.9	
Spare	0.000	0.000	0.0	0.0									
50BBB								-21.690	-16.075	1606.9	80.3	2.000	
								& Bus001					
50BBB	10.500	92.099	0.4	0	0	0	0	Bus033	0.539	0.561	46.5	69.3	
								Bus029	0.495	0.382	37.3	79.2	
								Bus019	0.589	0.686	54.0	65.1	
								Bus020	0.589	0.686	54.0	65.1	
								Bus021	0.579	0.706	54.5	63.4	
								Bus022	1.184	0.877	88.0	80.4	
								Bus023	5.409	3.232	376.2	85.8	
								Bus024	1.638	0.878	111.0	88.1	
								Bus025	1.875	1.466	142.1	78.8	
								Bus026	0.997	0.610	69.8	85.3	
								Bus027	0.888	0.733	68.8	77.1	
								Bus028	0.873	0.763	69.2	75.3	
								Bus030	7.403	3.727	494.8	89.3	
								Bus031	1.321	0.815	92.7	85.1	
								Bus032	0.540	0.543	45.7	70.5	
								BUS SPARE	0.000	0.000	0.0	0.0	

Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: BISMILLAH

ETAP
12.6.0H

Study Case: LF

Page: 2
Date: 07-08-2019
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow				XFMR	
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
								Bus001	-24.920	-16.666	1789.9	83.1	2.000
								& 50BBA					
BUS SPARE	10.500	92.099	0.4	0	0	0	0	50BBB	0.000	0.000	0.0	0.0	
* Bus001	21.000	100.000	0.0	49.352	34.112	0	0	50BBA	49.352	34.112	1649.4	82.3	5.000
								& 50BBB					
Bus002	10.500	92.381	0.4	0	0	0.988	0.770	50BBA	-0.988	-0.770	74.6	78.9	
Bus003	10.500	92.381	0.4	0	0	0	0	50BBA	-1.108	-1.107	93.2	70.8	
								Bus034	1.108	1.107	93.2	70.8	
								& Bus035					
Bus004	10.500	92.381	0.4	0	0	0	0	50BBA	-1.322	-0.816	92.5	85.1	
								Bus036	1.322	0.816	92.5	85.1	
								& Bus037					
Bus005	10.500	92.381	0.4	0	0	0.541	0.544	50BBA	-0.541	-0.544	45.6	70.5	
Bus006	10.500	92.381	0.4	0	0	0.998	0.610	50BBA	-0.998	-0.610	69.6	85.3	
Bus007	10.500	92.381	0.4	0	0	0.998	0.610	50BBA	-0.998	-0.610	69.6	85.3	
Bus008	10.500	92.381	0.4	0	0	1.878	1.508	50BBA	-1.878	-1.508	143.3	78.0	
Bus009	10.500	92.381	0.4	0	0	1.878	1.508	50BBA	-1.878	-1.508	143.3	78.0	
Bus010	10.500	92.381	0.4	0	0	1.640	0.873	50BBA	-1.640	-0.873	110.6	88.3	
Bus011	10.500	92.381	0.4	0	0	5.415	3.275	50BBA	-5.415	-3.275	376.7	85.6	
Bus012	10.500	92.381	0.4	0	0	1.176	0.883	50BBA	-1.176	-0.883	87.5	80.0	
Bus013	10.500	92.381	0.4	0	0	0.590	0.687	50BBA	-0.590	-0.687	53.9	65.1	
Bus014	10.500	92.381	0.4	0	0	0.590	0.675	50BBA	-0.590	-0.675	53.3	65.8	
Bus015	10.500	92.381	0.4	0	0	0.590	0.675	50BBA	-0.590	-0.675	53.3	65.8	
Bus016	10.500	92.381	0.4	0	0	0.988	0.770	50BBA	-0.988	-0.770	74.6	78.9	
Bus017	0.725	89.679	-0.8	0	0	0.489	0.360	50BBA	-0.489	-0.360	539.1	80.5	
Bus018	0.725	89.679	-0.8	0	0	0.489	0.360	50BBA	-0.489	-0.360	539.1	80.5	
Bus019	10.500	92.099	0.4	0	0	0.589	0.686	50BBB	-0.589	-0.686	54.0	65.1	
Bus020	10.500	92.099	0.4	0	0	0.589	0.686	50BBB	-0.589	-0.686	54.0	65.1	
Bus021	10.500	92.099	0.4	0	0	0.579	0.706	50BBB	-0.579	-0.706	54.5	63.4	
Bus022	10.500	92.099	0.4	0	0	1.184	0.877	50BBB	-1.184	-0.877	88.0	80.4	
Bus023	10.500	92.099	0.4	0	0	5.409	3.232	50BBB	-5.409	-3.232	376.2	85.8	
Bus024	10.500	92.099	0.4	0	0	1.638	0.878	50BBB	-1.638	-0.878	111.0	88.1	
Bus025	10.500	92.099	0.4	0	0	1.875	1.466	50BBB	-1.875	-1.466	142.1	78.8	
Bus026	10.500	92.099	0.4	0	0	0.997	0.610	50BBB	-0.997	-0.610	69.8	85.3	
Bus027	10.500	92.099	0.4	0	0	0.888	0.733	50BBB	-0.888	-0.733	68.8	77.1	
Bus028	10.500	92.099	0.4	0	0	0.873	0.763	50BBB	-0.873	-0.763	69.2	75.3	
Bus029	0.725	89.391	-0.9	0	0	0.488	0.360	50BBB	-0.488	-0.360	540.2	80.5	
Bus030	10.500	92.099	0.4	0	0	7.403	3.727	50BBB	-7.403	-3.727	494.8	89.3	
Bus031	10.500	92.099	0.4	0	0	0	0	50BBB	-1.321	-0.815	92.7	85.1	

Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: BISMILLAH

ETAP
12.6.0H

Study Case: LF

Page: 3
Date: 07-08-2019
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow				XFMR	
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap
								Bus038	1.321	0.815	92.7	85.1	
								& Bus039					
Bus032	10.500	92.099	0.4	0	0	0.540	0.543	50BBB	-0.540	-0.543	45.7	70.5	
Bus033	0.725	89.933	-0.5	0	0	0.536	0.539	50BBB	-0.536	-0.539	672.8	70.5	
Bus034	0.725	89.491	1.1	0	0	0.531	0.542	Bus035	-0.531	-0.542	675.0	70.0	
								& Bus003					
Bus035	0.420	89.491	1.1	0	0	0.531	0.542	Bus003	-0.531	-0.542	1165.2	70.0	
								& Bus034					
Bus036	0.725	90.543	0.5	0	0	0.647	0.401	Bus037	-0.647	-0.401	669.8	85.0	
								& Bus004					
Bus037	0.420	90.543	0.5	0	0	0.647	0.401	Bus004	-0.647	-0.401	1156.2	85.0	
								& Bus036					
Bus038	0.725	90.256	0.5	0	0	0.647	0.401	Bus039	-0.647	-0.401	671.2	85.0	
								& Bus031					
Bus039	0.420	90.256	0.5	0	0	0.647	0.401	Bus031	-0.647	-0.401	1158.6	85.0	
								& Bus038					
Spare	10.500	92.381	0.4	0	0	0	0	50BBA	0.000	0.000	0.0	0.0	

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)

Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Project:
 Location:
 Contract:
 Engineer:
 Filename: BISMILLAH

ETAP
 12.6.0H

 Study Case: SC

Page: 1
 Date: 07-08-2019
 SN:
 Revision: Base
 Config.: Normal

SHORT- CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus001**

Prefault voltage = 21.000 kV

= 100.00 % of nominal bus kV (21.000 kV)
 = 100.00 % of base kV (21.000 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus001	Total	0.00	110.044	0.00	88.20	89.00	140.652	140.652	1.69E-001	2.49E+000	1.39E-001	9.75E-001
# 50BBA	Bus001	19.10	3.263	62.50	45.13	95.84	2.716	0.000	2.60E+001	8.01E+001		
# 50BBB	Bus001	20.25	3.287	63.30	44.94	95.88	2.735	0.000	2.55E+001	7.97E+001		
GENERATOR	Bus001	100.00	103.700	100.00	100.00	100.00	135.335	140.652	1.39E-001	2.65E+000	1.39E-001	9.75E-001

Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: BISMILLAH

ETAP
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 2
Date: 07-08-2019
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Fault at bus: Bus011

Prefault voltage = 10.500 kV = 100.00 % of nominal bus kV (10.500 kV)
= 102.94 % of base kV (10.200 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus011	Total	0.00	53.482	0.00	146.16	154.02	15.183	15.183	7.89E+000	7.51E+000	8.46E+001	4.11E+001
50_HNC10	Bus011	105.00	1.854	105.00	105.00	105.00	0.352	0.000	3.13E+001	3.13E+002		
Bus017	50BBBA	11.23	0.124	89.93	86.18	100.05	0.023	0.000	1.77E+003	4.37E+003		
Bus018	50BBBA	11.23	0.124	89.93	86.18	100.05	0.023	0.000	1.77E+003	4.37E+003		
# Bus001	50BBBA	91.62	31.306	100.31	103.00	103.22	6.052	0.390 *	1.49E+001	1.11E+001	3.66E+003	1.27E+001
# 50BBB	50BBBA	51.12	16.485	91.39	95.97	99.93	3.120	0.001	2.68E+001	2.30E+001	1.25E+006	6.19E+005
50_HTJ14	Bus002	105.00	0.395	105.00	105.00	105.00	0.075	0.000	2.19E+002	1.46E+003		
# Bus034	Bus003	9.70	0.148	42.61	116.12	123.22	0.651	1.873	1.75E+003	3.52E+003	6.82E+002	3.41E+002
# Bus035	Bus003	9.70	0.148	90.47	85.28	100.06	1.275	3.745 *	1.75E+003	3.52E+003	3.41E+002	1.71E+002
ESP	Bus005	100.00	0.206	100.00	100.00	100.00	0.039	0.000	4.19E+002	2.79E+003		
# Bus036	Bus004	6.09	0.153	41.95	115.98	122.92	1.051	3.071	1.62E+003	3.46E+003	4.16E+002	2.08E+002
# Bus037	Bus004	6.09	0.153	89.90	84.93	100.06	2.075	6.142 *	1.62E+003	3.46E+003	2.08E+002	1.04E+002
50_PAC12	Bus009	105.00	0.706	105.00	105.00	105.00	0.134	0.000	8.22E+001	8.22E+002		
50_PAC11	Bus008	105.00	0.706	105.00	105.00	105.00	0.134	0.000	8.22E+001	8.22E+002		
50_HLB10	Bus012	105.00	0.428	105.00	105.00	105.00	0.081	0.000	2.02E+002	1.35E+003		
50_HTJ11	Bus016	105.00	0.365	105.00	105.00	105.00	0.069	0.000	2.37E+002	1.58E+003		
50_LCB12	Bus007	105.00	0.341	105.00	105.00	105.00	0.065	0.000	2.54E+002	1.69E+003		
50_LCB11	Bus006	105.00	0.341	105.00	105.00	105.00	0.065	0.000	2.54E+002	1.69E+003		
50_HFC10	Bus013	105.00	0.264	105.00	105.00	105.00	0.050	0.000	3.28E+002	2.19E+003		
50_HFE10	Bus010	105.00	0.544	105.00	105.00	105.00	0.103	0.000	1.06E+002	1.06E+003		
50_HFC30	Bus015	105.00	0.261	105.00	105.00	105.00	0.049	0.000	3.31E+002	2.21E+003		
50_HFC20	Bus014	105.00	0.261	105.00	105.00	105.00	0.049	0.000	3.31E+002	2.21E+003		

Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: BISMILLAH

ETAP
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 3
Date: 07-08-2019
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Fault at bus: Bus014

Prefault voltage = 10.500 kV = 100.00 % of nominal bus kV (10.500 kV)
= 102.94 % of base kV (10.200 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus014	Total	0.00	53.482	0.00	146.16	154.02	15.183	15.183	7.89E+000	7.51E+000	8.46E+001	4.11E+001
50_HFC20	Bus014	105.00	0.261	105.00	105.00	105.00	0.049	0.000	3.31E+002	2.21E+003		
Bus017	50BBBA	11.23	0.124	89.93	86.18	100.05	0.023	0.000	1.77E+003	4.37E+003		
Bus018	50BBBA	11.23	0.124	89.93	86.18	100.05	0.023	0.000	1.77E+003	4.37E+003		
# Bus001	50BBBA	91.62	31.306	100.31	103.00	103.22	6.052	0.390 *	1.49E+001	1.11E+001	3.66E+003	1.27E+001
# 50BBB	50BBBA	51.12	16.485	91.39	95.97	99.93	3.120	0.001	2.68E+001	2.30E+001	1.25E+006	6.19E+005
50_HTJ14	Bus002	105.00	0.395	105.00	105.00	105.00	0.075	0.000	2.19E+002	1.46E+003		
# Bus034	Bus003	9.70	0.148	42.61	116.12	123.22	0.651	1.873	1.75E+003	3.52E+003	6.82E+002	3.41E+002
# Bus035	Bus003	9.70	0.148	90.47	85.28	100.06	1.275	3.745 *	1.75E+003	3.52E+003	3.41E+002	1.71E+002
ESP	Bus005	100.00	0.206	100.00	100.00	100.00	0.039	0.000	4.19E+002	2.79E+003		
# Bus036	Bus004	6.09	0.153	41.95	115.98	122.92	1.051	3.071	1.62E+003	3.46E+003	4.16E+002	2.08E+002
# Bus037	Bus004	6.09	0.153	89.90	84.93	100.06	2.075	6.142 *	1.62E+003	3.46E+003	2.08E+002	1.04E+002
50_PAC12	Bus009	105.00	0.706	105.00	105.00	105.00	0.134	0.000	8.22E+001	8.22E+002		
50_PAC11	Bus008	105.00	0.706	105.00	105.00	105.00	0.134	0.000	8.22E+001	8.22E+002		
50_HNC10	Bus011	105.00	1.854	105.00	105.00	105.00	0.352	0.000	3.13E+001	3.13E+002		
50_HLB10	Bus012	105.00	0.428	105.00	105.00	105.00	0.081	0.000	2.02E+002	1.35E+003		
50_HTJ11	Bus016	105.00	0.365	105.00	105.00	105.00	0.069	0.000	2.37E+002	1.58E+003		
50_LCB12	Bus007	105.00	0.341	105.00	105.00	105.00	0.065	0.000	2.54E+002	1.69E+003		
50_LCB11	Bus006	105.00	0.341	105.00	105.00	105.00	0.065	0.000	2.54E+002	1.69E+003		
50_HFC10	Bus013	105.00	0.264	105.00	105.00	105.00	0.050	0.000	3.28E+002	2.19E+003		
50_HFE10	Bus010	105.00	0.544	105.00	105.00	105.00	0.103	0.000	1.06E+002	1.06E+003		
50_HFC30	Bus015	105.00	0.261	105.00	105.00	105.00	0.049	0.000	3.31E+002	2.21E+003		

Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project:	ETAP	Page: 4
Location:	12.6.0H	Date: 07-08-2019
Contract:		SN:
Engineer:	Study Case: SC	Revision: Base
Filename: BISMILLAH		Config.: Normal

Fault at bus: Bus022

Prefault voltage = 10.500 kV = 100.00 % of nominal bus kV (10.500 kV)
 = 102.94 % of base kV (10.200 kV)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
		% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
From Bus ID	To Bus ID			Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus022	Total	0.00	52.769	0.00	154.46	160.27	10.251	10.251	7.92E+000	7.69E+000	1.35E+002	6.44E+001
50_HLB20	Bus022	105.00	0.430	105.00	105.00	105.00	0.056	0.000	2.01E+002	1.34E+003		
Bus033	50BBB	8.36	0.147	92.96	90.11	100.04	0.019	0.000	1.46E+003	3.68E+003		
Bus029	50BBB	11.23	0.124	93.23	90.42	100.04	0.016	0.000	1.77E+003	4.37E+003		
# Bus001	50BBB	91.85	29.813	101.22	102.98	103.20	3.997	0.418 *	1.57E+001	1.16E+001	3.66E+003	1.27E+001
# 50BBA	50BBB	51.49	16.605	94.24	97.23	100.00	2.151	0.001	2.70E+001	2.25E+001	1.25E+006	6.19E+005
ESP 50_HQA20	Bus032	100.00	0.206	100.00	100.00	100.00	0.027	0.000	4.19E+002	2.79E+003		
# Bus038	Bus031	6.09	0.153	44.54	120.87	126.02	1.116	3.291	1.62E+003	3.46E+003	4.16E+002	2.08E+002
# Bus039	Bus031	6.09	0.153	93.20	89.58	100.05	2.213	6.583 *	1.62E+003	3.46E+003	2.08E+002	1.04E+002
50_LAJ10	Bus030	105.00	2.431	105.00	105.00	105.00	0.315	0.000	2.38E+001	2.38E+002		
50_HTJ13	Bus028	100.00	0.312	100.00	100.00	100.00	0.040	0.000	2.77E+002	1.85E+003		
50_HTJ12	Bus027	105.00	0.336	105.00	105.00	105.00	0.044	0.000	2.57E+002	1.72E+003		
50_LCB13	Bus026	105.00	0.341	105.00	105.00	105.00	0.044	0.000	2.54E+002	1.69E+003		
50_PAC13	Bus025	105.00	0.698	105.00	105.00	105.00	0.091	0.000	8.30E+001	8.30E+002		
50_HFE20	Bus024	105.00	0.545	105.00	105.00	105.00	0.071	0.000	1.06E+002	1.06E+003		
50_HNC20	Bus023	105.00	1.848	105.00	105.00	105.00	0.240	0.000	3.14E+001	3.14E+002		
50_HFC60	Bus021	100.00	0.246	100.00	100.00	100.00	0.032	0.000	3.52E+002	2.34E+003		
50_HFC50	Bus020	105.00	0.264	105.00	105.00	105.00	0.034	0.000	3.28E+002	2.19E+003		
50_HFC40	Bus019	105.00	0.264	105.00	105.00	105.00	0.034	0.000	3.28E+002	2.19E+003		

Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project:
Location:
Contract:
Engineer:
Filename: BISMILLAH

ETAP
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 5
Date: 07-08-2019
SN:
Revision: Base
Config.: Normal

Fault at bus: Bus024

Prefault voltage = 10.500 kV = 100.00 % of nominal bus kV (10.500 kV)
= 102.94 % of base kV (10.200 kV)

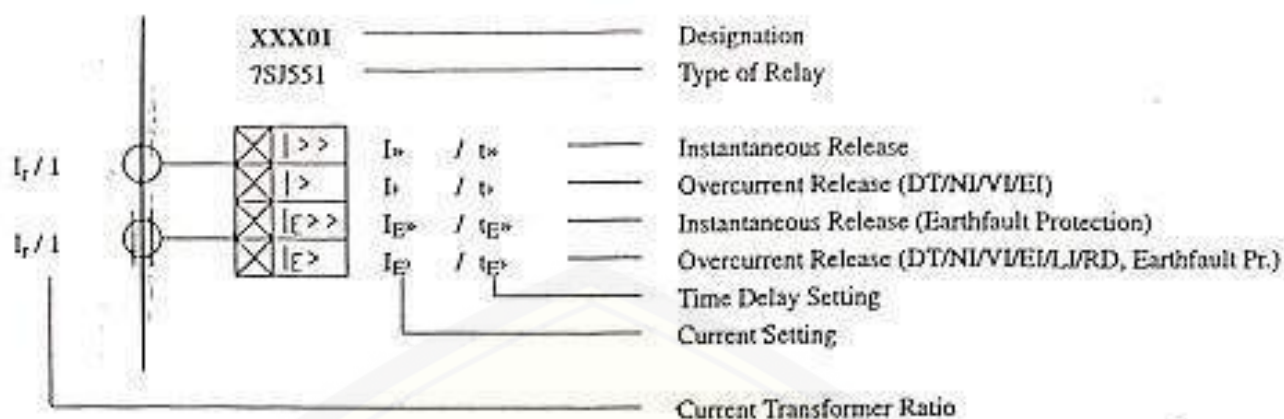
Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus024	Total	0.00	52.769	0.00	154.46	160.27	10.251	10.251	7.92E+000	7.69E+000	1.35E+002	6.44E+001
50_HFE20	Bus024	105.00	0.545	105.00	105.00	105.00	0.071	0.000	1.06E+002	1.06E+003		
Bus033	50BBB	8.36	0.147	92.96	90.11	100.04	0.019	0.000	1.46E+003	3.68E+003		
Bus029	50BBB	11.23	0.124	93.23	90.42	100.04	0.016	0.000	1.77E+003	4.37E+003		
# Bus001	50BBB	91.85	29.813	101.22	102.98	103.20	3.997	0.418 *	1.57E+001	1.16E+001	3.66E+003	1.27E+001
# 50BBA	50BBB	51.49	16.605	94.24	97.23	100.00	2.151	0.001	2.70E+001	2.25E+001	1.25E+006	6.19E+005
ESP 50_HQA20	Bus032	100.00	0.206	100.00	100.00	100.00	0.027	0.000	4.19E+002	2.79E+003		
# Bus038	Bus031	6.09	0.153	44.54	120.87	126.02	1.116	3.291	1.62E+003	3.46E+003	4.16E+002	2.08E+002
# Bus039	Bus031	6.09	0.153	93.20	89.58	100.05	2.213	6.583 *	1.62E+003	3.46E+003	2.08E+002	1.04E+002
50_LAJ10	Bus030	105.00	2.431	105.00	105.00	105.00	0.315	0.000	2.38E+001	2.38E+002		
50_HTJ13	Bus028	100.00	0.312	100.00	100.00	100.00	0.040	0.000	2.77E+002	1.85E+003		
50_HTJ12	Bus027	105.00	0.336	105.00	105.00	105.00	0.044	0.000	2.57E+002	1.72E+003		
50_LCB13	Bus026	105.00	0.341	105.00	105.00	105.00	0.044	0.000	2.54E+002	1.69E+003		
50_PAC13	Bus025	105.00	0.698	105.00	105.00	105.00	0.091	0.000	8.30E+001	8.30E+002		
50_HNC20	Bus023	105.00	1.848	105.00	105.00	105.00	0.240	0.000	3.14E+001	3.14E+002		
50_HLB20	Bus022	105.00	0.430	105.00	105.00	105.00	0.056	0.000	2.01E+002	1.34E+003		
50_HFC60	Bus021	100.00	0.246	100.00	100.00	100.00	0.032	0.000	3.52E+002	2.34E+003		
50_HFC50	Bus020	105.00	0.264	105.00	105.00	105.00	0.034	0.000	3.28E+002	2.19E+003		
50_HFC40	Bus019	105.00	0.264	105.00	105.00	105.00	0.034	0.000	3.28E+002	2.19E+003		

Indicates fault current contribution is from three-winding transformers

* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

SIEMENS		ISPITNI LIST TRANSFORMATORA - RUTINSKA ISPITIVANJA TRANSFORMER TEST REPORT - ROUTINE TESTS					Ispitni list br. - Test Report N° : 00598					
Naručilac - Purchaser : * DKW - PABON * INDONESIA		Proizvođač - Manufacturer : SIEMENS - Zagreb					Ispitano prema Tested in accordance with : IEC					
Stranica br. - Page N° : 1 / 4												
1.0. NAZIVNI PODACI - RATING												
Tip - Type		Transformator - Transformer					Reg. sklopka - On-load tap changer					
Tvornički br. - Serial N°		TLUN 7844										
Namot - Winding		VN - HV		NN1 - LV1		NN2 - LV2		Frekvencija Frequency				
Stupanj izolacije Insulation level		LI 125 - AC 50		LI 75 - AC 28		LI 75 - AC 28		50 Hz				
Nazivna snaga Rated power (kVA)		60000		40000		40000		Način hlađenja Cooling method				
Nazivni napon Rated voltage (V)		1. 22050						ONAN / ONAF 60 % / 100 %				
		3. 21000		10500		10500		Grupa spoja Vector group				
		5. 19950						Dyn1yn1				
Nazivna struja Rated current (A)		1. 1571.02										
		3. 1649.57		2199.43		2199.43						
		5. 1736.39										
2.0. PREGLED PODATAKA TRANSFORMATORA - TRANSFORMER DATA SPECIFICATION												
2.1. Gubici zbog tereta - Load loss Pri - at 100 % P. i - and 75 °C												
Namot - Winding :		HV / (LV1+LV2)					HV / LV1			HV / LV2		
Položaj regul. - Tap position		1	3	5		1	3	5	1	3	5	
Mjereno - Measured kW		192.2	195.8	201.5		110.8	112.6	115.1	145.6	145.9	147.7	
Garant. - Guaranteed kW			200									
Tolerancija - Tolerance %												
2.2. Napon kratkog spoja - Impedance voltage Pri - at 100 % i - and 75 °C												
Mjereno - Measured %		5.98	6.14	6.32		9.44	9.87	10.42	10.23	9.91	9.68	
Garant. - Guaranteed %							10.00			10.00		
Tolerancija - Tolerance %							±7.5			±7.5		
2.3. Gubici i struja praznog hoda - No - load loss and current												
		Gubici - Loss					Struja - Current					
Napon - Voltage %		80.1	89.5	100.1	105.1	110.2	%	80.1	89.5	100.1	105.1	110.2
Mjereno - Measured kW		16.6	21.5	30.2	36.8	45.9	%	0.04	0.06	0.11	0.21	0.59
Garant. - Guaranteed kW				35.5			%			0.25		
Tolerancija - Tolerance %							%					
2.4. Gubici rashladnog uređaja - Cooling apparatus loss iznose - amounts to 2.67 kW												
2.5. Stupanj djelovanja i promjena napona - Efficiency and regulation												
Namot - Winding HV/(LV1+LV2)		Položaj regulacije - Tap position					Promjena napona - Regulation					
Teret - Load		%	125	100	75	50	25	125				100
cos φ = 1		Mjereno - Measured %	99.55	99.62	99.69	99.74	99.72					0.514
		Garant. - Guaranteed %										
cos φ = 0.8		Mjereno - Measured %	99.44	99.53	99.61	99.67	99.65					4.053
		Garant. - Guaranteed %										

7SJ551 Universal Digital Overcurrent Relay (3p+e)



This document is subject to the restrictions set forth on the first or side page

All Releases are insensitive for transients and de-components

	$I_{fsc} = (7, 14, 28) \cdot I_r$		max. detectable Phase Current (full scale, $k_{fsc} = I_{fsc}/I_r$)
	$I_w = (k_{fsc}/140 - k_{fsc}) \cdot I_r$	Step:	numeric, 3 significant digits
	$t_w = .000s - 166min$	Step:	numeric, 3 significant digits
	$I_e = (k_{fsc}/140 - k_{fsc}) \cdot I_r$	Step:	numeric, 3 significant digits
<i>DT</i>	$t_e = .000s - 166min$	Step:	numeric, 3 significant digits (DT)
<i>or IT</i>	$t_e = .000s - 10.0s$	Step:	numeric, 3 significant digits (NI/VI/EI)

	$I_{E^*} = (7, 14, 28) \cdot I_r$	(7SJ551-1 & -2)	max. detectable Earth Current (full scale, $k_{E^*} = I_{E^*}/I_r$)
<i>or sensitive</i>	$I_{E^*} = (0.35, 0.7, 1.35) \cdot I_r$	(7SJ551-3 & -4)	
	$I_{E^*} = (k_{E^*}/140 - k_{E^*}) \cdot I_r$	Step:	numeric, 3 significant digits
	$t_{E^*} = .000s - 166min$	Step:	numeric, 3 significant digits
	$I_{E^*} = (k_{E^*}/140 - k_{E^*}) \cdot I_r$	Step:	numeric, 3 significant digits
<i>DT</i>	$t_{E^*} = .000s - 166min$	Step:	numeric, 3 significant digits (DT)
<i>or IT</i>	$t_{E^*} = .000s - 10.0s$	Step:	numeric, 3 significant digits (NI/VI/EI/LI/RD)

Keiner Blatt enthält den Volltext der Beschränkungen wie auf der Titelseite, usw. der von Seite angegeben

3 Technical data

3.1 General data

3.1.1 Inputs / outputs

Setting ranges

Full scale phase current	I_{max}	7 / 14 / 28	A
Full scale regular earth current	I_{max}	7 / 14 / 28	A
Full scale sensitive earth current	$I_{s,max}$	0.35 / 0.7 / 1.4	A
Current transformer ratio		1 to 9999	
Voltage transformer ratio		1 to 9999	

Measuring circuits

Rated current I_n (3 x I_{n1} + 1 x I_{n2})		1 A or 5 A	
Rated current $I_{s,sensitive}$		1 A	
Rated voltage U_n (1 x U)		100 V or 110 V	
Rated frequency f_n		50 Hz or 60 Hz (selectable)	
Burden at I_n / U_n			
- 1 A current inputs	≤ 0.01	VA	
- 5 A current inputs	≤ 0.15	VA	
- 1 A sensitive earth current input	≤ 0.2	VA	
- voltage input	≤ 0.05	VA	
Overload capability phase current and regular earth current path			
- thermal (RMS)	100	x I_n	for 1 s
	30	x I_n	for 10 s
	6	x I_n	continuous
- dynamic (pulse current)	250	x I_n	one half cycle
Overload capability sensitive earth current path			
- thermal (RMS)	75	x I_n	for 1 s
	20	x I_n	for 10 s
	4	x I_n	continuous
- dynamic (pulse current)	200	x I_n	one half cycle

Accuracy**Phase currents and regular earth currents**

- for full scale current $I_{e,max} = 7 \times I_n$			
• 0.05 to 0.5 $\times I_n$	≤ 0.025	$\times I_n$	
• 0.5 to 7 $\times I_n$	≤ 5	% of setting value	
- for full scale current $I_{e,max} = 14 \times I_n$			
• 0.1 to 1 $\times I_n$	≤ 0.05	$\times I_n$	
• 1 to 14 $\times I_n$	≤ 5	% of setting value	
- for full scale current $I_{e,max} = 28 \times I_n$			
• 0.2 to 2 $\times I_n$	≤ 0.1	$\times I_n$	
• 2 to 28 $\times I_n$	≤ 5	% of setting value	

Sensitive earth current

- for full scale current $I_{e,max} = 0.35 \times I_n$			
• 0.003 to 0.025 $\times I_n$	≤ 0.00125	$\times I_n$	
• 0.025 to 0.35 $\times I_n$	≤ 5	% of setting value	
- for full scale current $I_{e,max} = 0.7 \times I_n$			
• 0.005 to 0.05 $\times I_n$	≤ 0.0025	$\times I_n$	
• 0.05 to 0.7 $\times I_n$	≤ 5	% of setting value	
- for full scale current $I_{e,max} = 1.4 \times I_n$			
• 0.01 to 0.1 $\times I_n$	≤ 0.005	$\times I_n$	
• 0.1 to 1.4 $\times I_n$	≤ 5	% of setting value	

Voltage

• 0.005 to 0.01 $\times U_n$	≤ 0.0005	$\times U_n$
• 0.01 to 1.2 $\times U_n$	≤ 5	% of setting value

Auxiliary supply voltage

Power supply via integrated AC/DC or DC/DC converter

Rated auxiliary voltage U_n	24 - 60 V DC	110 - 250 V DC	110 - 230 V AC
Permissible variations	19.2 - 72 V DC	88 - 300 V DC	88 - 256 V AC

Superimposed AC voltage, peak to peak	≤ 12 %	at rated voltage
	6 %	at limits of admissible voltage

Power consumption

- quiescent	15 W
- energized	20 W
- picked up	17/22 W

Bridging time during failure or short circuit of auxiliary voltage	20 ms at 24 V DC
	500 ms at 60 V DC
	40 ms at 110 V DC
	500 ms at 250 V DC
	40 ms at 110 V AC
	500 ms at 230 V AC

Heavy duty command and signal contacts
Command (trip) and signal relays

- basic version
 - number 4 command or signal relays
1 monitor relay
 - contacts per relay output 1 - 4 : 1 NO
monitor : 1 NC
- version with extended I/O
 - number 6 command or signal relays
1 monitor relay
 - contacts per relay output 1 : 2 NO
output 2 - 5 : 1 NO
monitor : 1 NC

Switching capacity	MAKE BREAK	1000 W/VA 30 W/50 VA
Switching voltage	DC AC	300 V 250 V
Permissible current		5 A continuous 30 A for 0.5 sec

Binary control inputs, number

- basic version 2 (can be marshalled)
 - version with extended I/O 5 (can be marshalled)
- Operating voltage 24 - 250 V DC
110 - 230 V AC
- Current consumption approx. 3 mA, independent of the operating voltage
- Minimum signal time \geq 5 ms
- Detection time \leq 10 ms

Interface module

- RS485 serial interface
 - Floating interface for data communication with PC or substation management system isolated by opto-couplers
 - Protocol standards IEC 870-5 with VDEW/ZVEI recommendation or protocol DIN 19244
 - Transmission speed 2400 Baud
4800 Baud
9600 Baud
19200 Baud
38400 Baud
 - Hamming distance $d = 4$
 - Connection 9 pole female D connector
 - Transmission distance \leq 1000 m
 - Test voltage 500 V DC, 2 kV with rated frequency for 1 min

- Fibre optic serial interface	
• Floating interface for data communication with a control centre	isolated according IEC 874-2
• Protocol standards	IEC 870-5 with VDEW/ZVEI recommendation or protocol DIN 19244
• Transmission speed	2400 Baud 4800 Baud 9600 Baud 19200 Baud 38400 Baud
• Hamming distance	d = 4
• Connection	integrated F-SMA connector for direct optical fibre connection e.g. glass fibre 62.5/125 μm
• Optical wave length	820 nm
• Permissible line attenuation	max. 8 dB
• Transmission distance	2 km
• Signal setting	factory setting 'light off' (configurable with 2 jumpers)
- Temperature sensors	
• Floating interface isolated from the main relay and the serial interfaces	
• Number of temperature sensors	2 or 8
• Type	Pt100 or Ni100 or Ni120
• Temperature range	0 to 200°C
• Connection terminals	3 for each sensor
• Distance	≤ 150 m
• Cable resistance	$\leq 25 \Omega$ pro wire
• Accuracy	≤ 3 °C

3.11.2 Inverse time overcurrent protection

Setting ranges / steps

Phase overcurrent pick-up

- Setting range	I_p/I_n	0.05	to	28
- Steps		0.001		
•	$0.05 \leq I_p/I_n < 1$	0.001		
•	$1 \leq I_p/I_n < 10$	0.01		
•	$10 \leq I_p/I_n \leq 28$	0.1		

Regular earth overcurrent pick-up

- Setting range	I_{ep}/I_n	0.05	to	28
- Steps		0.001		
•	$0.05 \leq I_{ep}/I_n < 1$	0.001		
•	$1 \leq I_{ep}/I_n < 10$	0.01		
•	$10 \leq I_{ep}/I_n \leq 28$	0.1		

Sensitive earth overcurrent pick-up

- Setting range	I_{ep}/I_n	0.003	to	1.4
- Steps		0.001		
•	$0.025 \leq I_{ep}/I_n < 1$	0.001		
•	$1 \leq I_{ep}/I_n < 1.4$	0.01		

Overcurrent time multiplier

- Setting range	t_p	0	to	10
- Steps		0.001		
•	$0 \leq t_p < 1$	0.001		
•	$1 \leq t_p < 10$	0.01		

Trip time calculation

Normally inverse

$$t_{trip} = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0.02} - 1} \cdot t_p$$

Very inverse

$$t_{trip} = \frac{13.5}{\frac{I}{I_p} - 1} \cdot t_p$$

Extremely inverse

$$t_{trip} = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \cdot t_p$$

t_{trip}	trip time
I	phase or earth current
I_p	pick-up current (phase or earth)
t_p	time multiplier (phase or earth)

Additionally for earth current:

Long time earth fault

$$t_{\text{trip}} = \frac{120}{\frac{I_e}{I_{ep}} - 1} \cdot t_{ep}$$

Residual dependent time

$$t_{\text{trip}} = 5.8 - 1.35 \cdot \ln\left(\frac{I_e}{I_{e>}}\right)$$

t_{trip}	trip time
I_e	earth current
I_{ep}	earth current pick-up
t_{ep}	earth overcurrent time multiplier
$I_{e>}$	residual dependent time pick-up

Reset time approximately 40 ms

Tolerances

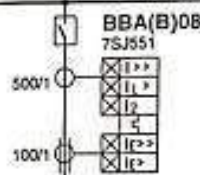
Pick-up value ≤ 5 % of setting value
 Delay time maximum from 10 ms and 2% of t_{trip}

Drop off / pick up ratio

Referring to phase overcurrent pick-up value I_p or
 earth overcurrent pick-up value I_{ep} 0.95 ± 0.01

Current	Ref.	[kA]
I_r	I_g	0.376
I_{st}	I_g	2.447
I_{amin3p}	I_{sa}	12.63
I_{amin2p}	I_{sb}	10.94

10 kV 50[60]BBA(B)



This document is subject to the restrictions set forth on the first of this page

Rated Motor Data			
Symbol	Ref.	Value	Unit
U_r		10.0	kV
P_r		5.48	MW
η		0.965	1
$\cos\phi$		0.866	1
k_{st}	k_1	6.5	1
pp		4	1
n		748	min ⁻¹

Motor Operating Limits					
Symbol	Ref.	Value	Unit	Extreme	Conditions
k_b	k_2	1.0	1	max	$I_b = k_b \cdot I_r$
I_{nl}		0.05	kA	min	No Load
I_n		0.376	kA	rated	Full Load
k_{st}		6.5	1	max	Start Up at U_r
t_{st}		6.57	s	max	at U_r (nominal)
$k_{st-0.8}$		5.03	1	max	Start Up at 0.8- U_r
$t_{st-0.8}$		11.46	s	max	at 0.8- U_r
n_{st-c}		3	1	max	from cold state
n_{st-h}		2	1	max	from hot state
t_{tr}		14.0	s	min	from hot state

() estimated value, data not provided

Unbalance (Neg. Sequence Current) Protection			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{i2}	{0.1}	1	$I_2 = k_{i2} \cdot I_r$
t_{i2}	{20.0}	s	max. permissible Time

Re-Start Inhibit Function			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{ri}	0.0	1	min. free th. Capacity Θ
t_{ri}	7.5	min	re-start inh. Time (t-inh)

Thermal Overload Protection (5-Parameter-Model)			
Symbol	Value	Unit	Description
τ_{Cu}	{15}	min	Warm-Up Stator-Cu [1]
τ_{Fe}	{30}	min	Warm-Up Stator-Fe [2]
W_{th}	1	1	Weight Factor
C_{Sta}	{4}	1	$\tau_{Cool-Down} / \tau_{Warm-Up}$
C_{Rot}	{4}	1	$\tau_{Cool-Down} / \tau_{Warm-Up}$
W_{i2}	{3}	1	Weight Factor Influence I_2 of eq. heating current

τ_{XX} is decisive for [1]short- / [2]long-term stress cycles

Protection	Device	Rel.	Protection Setting Currents in kA		Sett. in kA	Setting Values	Curve
			higher than	lower than			
BBA(B)08	7SJ551	I_{fsc} I_r I_L I_2 I_b	$1.2 \cdot I_g = 2.94$ (s. Fig.4.2b) (s. Fig.4.2b) (s. Fig.4.2b)	$0.8 \cdot I_{sb} = 8.75$ Relay Setting Table Relay Setting Table Relay Setting Table	14.0 3.5 --	28.0 7.0 I_r $I_r / 0.05$ s not active active active active	a

Dieses Blatt unterliegt den Weisungsbeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

DEVICE DATA		ROTOR PROTECTION	
LINE FREQ. [Hz]	50	00	
I-flc [In]	0.752		
DEVICE TYPE	ROTATING	NON-ROT.	
I-load [In]	0.05		
I-start [In]	4.89		
t-start [s]	6.57		
k-stat	1.0		
k-inv	3		
n-warm	2		
n-cold	3		

CHANNELS			
L1		E	D
L2		E	D
L3		E	D
In	[A]	1	6
CT-RATIO		500	
I _{max}	[In]	28	
e		E	D
In		1	5
CT-RATIO		100	
I _{max}		7	
U _{in}		E	D
U _n	[V]		
CONNECTION		U₁ U₂ U₃	
VT-RATIO			

THERM. OVERL.		STATOR PROTECTION	
TH. OVERLOAD		E	D
t1, stat [s]		900	
t2, stat [s]		1800	
p-weight		1	
c-stop, stat		4	
c-stop, rot		4	
θ-warm [%]		1	
START INHIBIT		E	D
t-inh [s]		450	
θ-stator [%]		0	
EMERG. RESTART		E	D

LOW SET OVERCURRENT					
LOW SET O. C. CURVE CHAR		PHASE		EARTH	
		E 1	D 2	E 1	D 2
I>	[In]			0.1	
tI>	[s]			0.1	
Ip	[In]				
tp	[s]				
NR. OF POINTS					
I1	[In]				
tI1	[s]				
I2	[In]				
tI2	[s]				
I3	[In]				
tI3	[s]				
I4	[In]				
tI4	[s]				
I5	[In]				

HIGH SET OVERCURRENT					
HIGH SET O. C. CURVE		PHASE		EARTH	
		E 1	D 2	E 1	D 2
I>>	[In]	7.0			
tI>>	[s]	0.05			

UNDERCURRENT		
UNDERCURRENT	E	D
t-bypass [s]		
I<	[In]	
tI<	[s]	

UNDERVOLTAGE		
UNDERVOLTAGE	E	D
U<	[Un]	
tU<	[s]	

OVERVOLTAGE		
OVERVOLTAGE	E	D
U>	[Un]	
tU>	[s]	
U>>	[Un]	
tU>>	[s]	

UNBALANCE		
UNBALANCE	E	D
t-bypass [s]		1.0
I2/In		0.1
t2p [s]		1.0

LOCKED ROTOR		
LOCKED ROTOR	E	D
t-lr [s]		10.0

BREAKER FAILURE THIP		
BF TRIP	E	D
EXTERN	E	D
t-bf [In]		
t-bf [s]		

CURVE SWITCH			
CURVE SWITCH	E	D	
MODE		C	P S
t-CS [s]			
STATUS		S	R

BLOCK			
BLOCK	E	D	
MODE		C	P S
t-BLOCK [s]			
STATUS		S	D
TIMER	E	D	
I<	E	D	
I>/Ip	E	D	
I>>	E	D	
Ie>/lep	E	D	
Ie>>	E	D	
U<	E	D	

CIRCUIT BREAKER POSITION		
CB POSITION	E	D

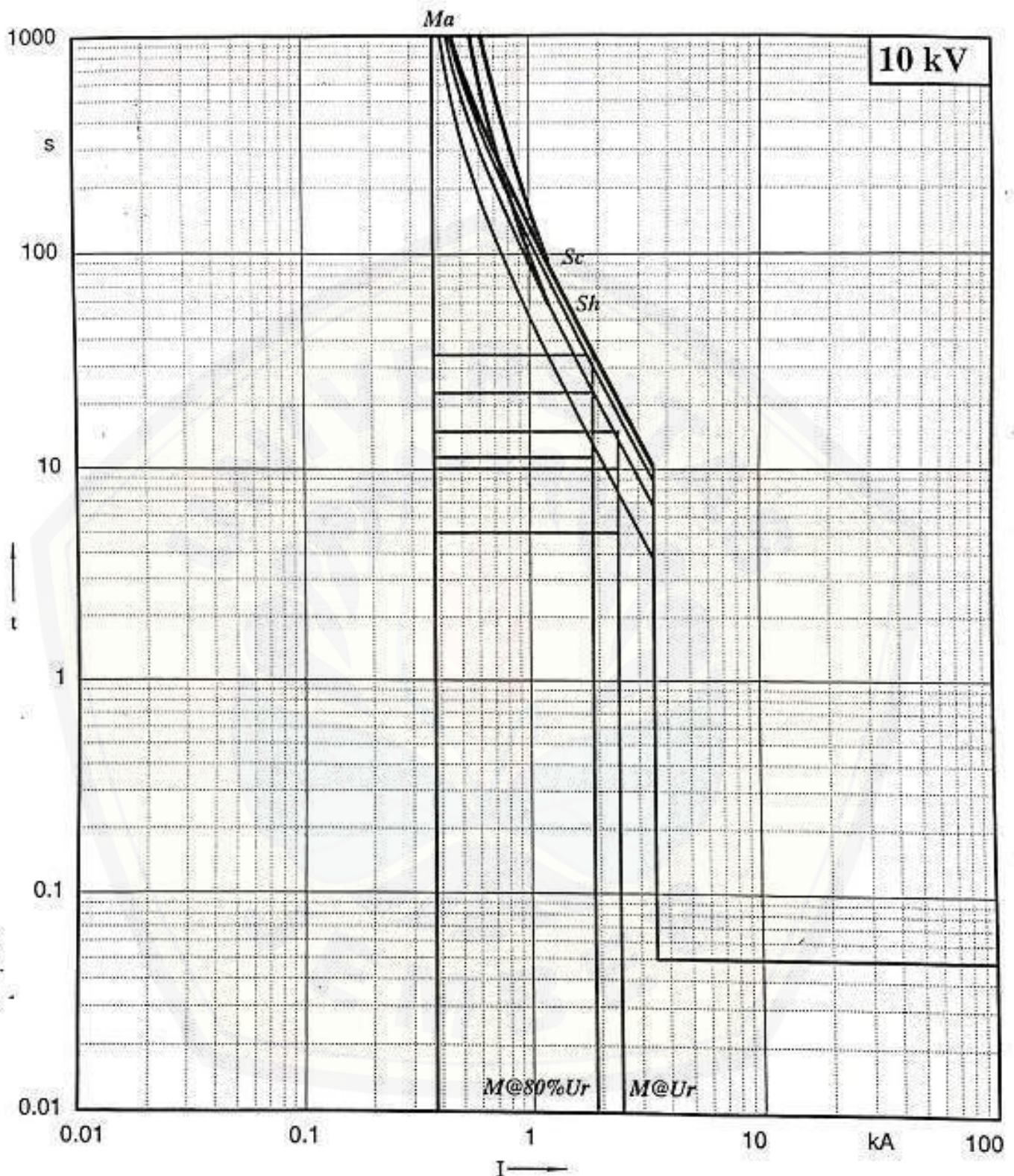
EXTERNAL COMMAND		
EXT. COMMAND	E	D
t-EXT [s]		

REAL TIME CLOCK		
RTC	E	D
FORMAT	DMY	MDY
RTC SYNC	E	D

TRANSIENT DATA		
TRANSIENT DATA	E	D
START	INTERN	EXTERN
t-trip [s]		1.0
t-alarm [s]		2.0

document is submitted to the library for archiving on first or second page

set Blatt erlegt den itergabe- chränkun- wie auf Thielseite v. der en Seite geben



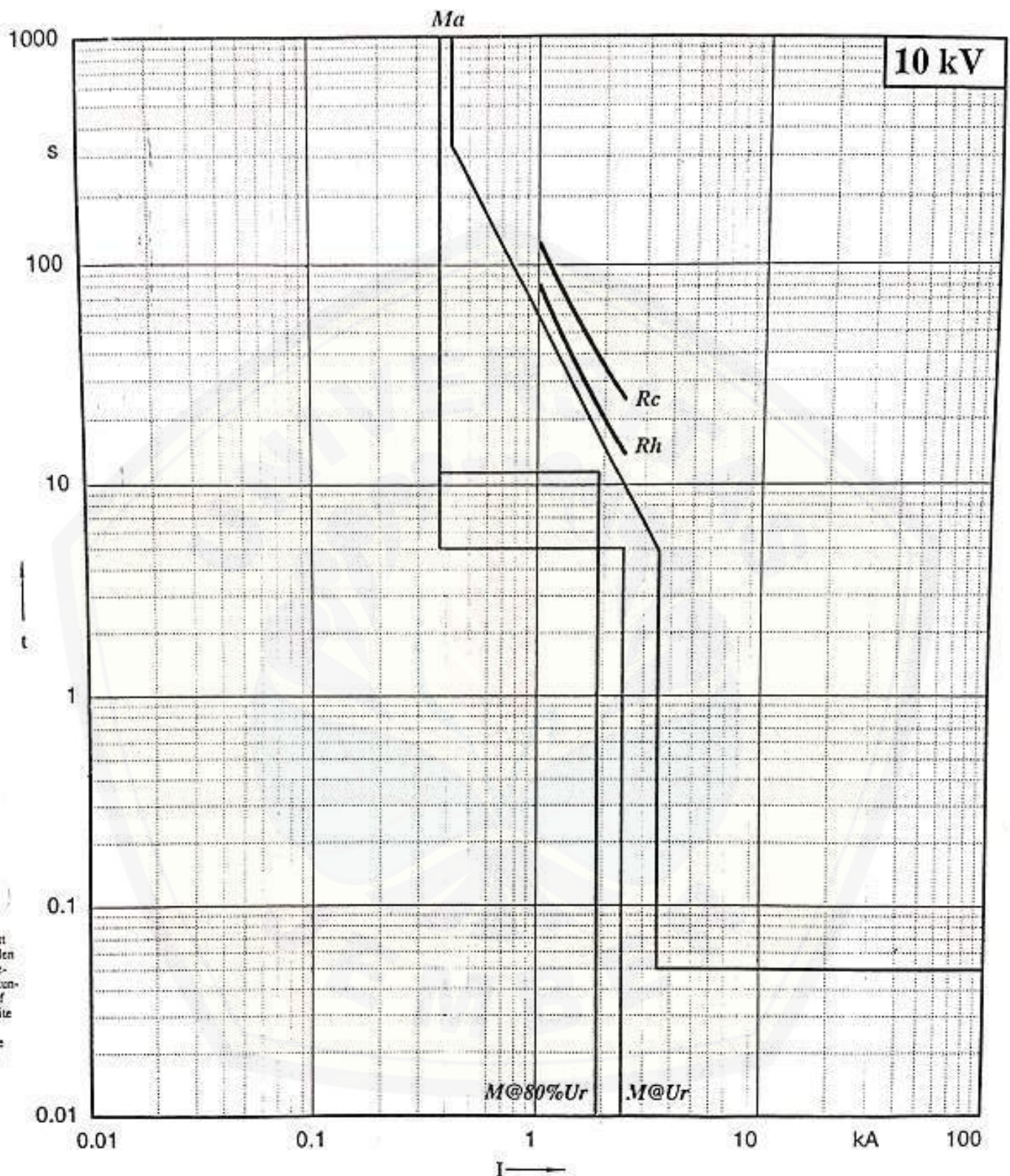
This document is subject to the restrictions set forth on the first or the page

Dieses Blatt unterliegt den Abgabebeschränkungen wie auf der Titelseite zw. der ersten Seite angegeben

- M@Ur/ Normal (I_r) and Startup ($I_{st}, n_{st} \cdot t_{st}$) Operation Limit
- M@80%Ur at Rated (U_r) and Minimum (80% U_r) Voltage
- Sc/Sh Thermal Withstand Curve Stator (cold/hot)
- a Thermal Overload Protection (Relay 7SJ551)
Parameter: Preload $m = [0, .2, .4, .6, .8, 1]$

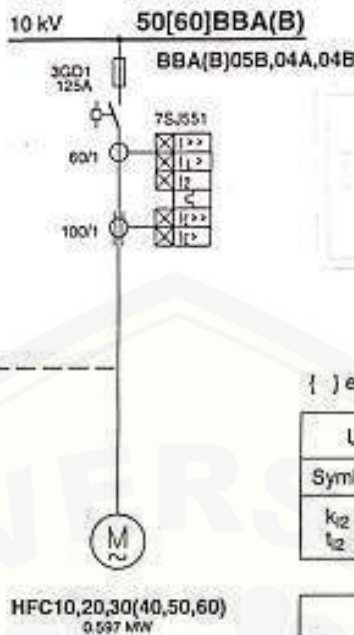
OCUs
 s sub-
 the
 tions
 P
 n
 Ag-

ies Blatt
 fliegt den
 tergabe-
 braenken-
 wie auf
 Titelseite
 der
 n Seite
 geben



- M@Ur/ Normal (I_r) and Startup (I_{st}, t_{st}) Operation Limit
- M@80%Ur at Rated (U_r) and Minimum (80% U_r) Voltage
- Rc/Rh Thermal Withstand Curve Rotor (cold/hot)
- a Locked Rotor Protection (Relay 7SJ551)

Current	Ref.	[kA]
I_r	I_5	0.054
I_{st}	I_b	0.307
I_{kmin3p}	I_{sa}	12.63
I_{kmin2p}	I_{sb}	10.94



{ } estimated value, data not provided

Rated Motor Data			
Symbol	Ref.	Value	Unit
U_r		10.0	kV
P_r		0.597	MW
η		0.91	1
$\cos\phi$		0.705	1
k_{st}	k_1	5.68	1
pp		3	1
n		962	min ⁻¹

Unbalance (Neg. Sequence Current) Protection			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{i2}	{0.1}	1	$I_2 = k_{i2} \cdot I_r$
t_{i2}	{20.0}	s	max. permissible Time

Re-Start Inhibit Function			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{r1}	0.24	1	min. free th. Capacity @ re-start inh.
t_{r1}	0.88	min	Time (t-inh)

Motor Operating Limits					
Symbol	Ref.	Value	Unit	Extreme	Conditions
k_b	k_2	1.15	1	max	$I_b = k_b \cdot I_r$
I_{nl}		{0.01}	kA	min	No Load
I_{fl}		0.054	kA	rated	Full Load
k_{st}		5.68	1	max	Start Up at U_r
t_{st}		1.02	s	max	at U_r (nominal)
$k_{st-0.8}$		4.37	1	max	Start Up at 0.8 U_r
$t_{st-0.8}$		2.14	s	max	at 0.8 U_r
n_{rst-c}		3	1	max	from cold state
n_{rst-h}		2	1	max	from hot state
t_r		9.0	s	min	from hot state

Thermal Overload Protection (5-Parameter-Model)			
Symbol	Value	Unit	Description
t_{Cu}	{5}	min	Warm-Up Stator-Cu [1]
t_{Fe}	{20}	min	Warm-Up Stator-Fe [2]
W_{th}	1	1	Weight Factor
C_{Sta}	{4}	1	$t_{Cool-Down}/t_{Warm-Up}$
C_{Rot}	{4}	1	$t_{Cool-Down}/t_{Warm-Up}$
W_{i2}	{3}	1	Weight Factor Influence
			I_2 of eq. heating current

t_{xx} is decisive for [1]short- / [2]long- term stress cycles

Protection	Device	Rel.	Protection Setting Currents in kA		Sett. in kA	Setting Values	Curve	
			higher than	lower than				
BBA(B)05B, 04A,04B	3GD1 125 A	Fuse	$1.2 \cdot I_5 = 0.065$	$0.8 \cdot I_{sb} = 8.75$	0.125		b	
		7SJ551	I_{sc}			1.68	28.0	I_r
			I_b			--		not active
			I_{L1}	(s. Fig.4.9b)	Relay Setting Table	--		not active
			I_2	(s. Fig.4.9b)	Relay Setting Table			active
		I_b	(s. Fig.4.9b)	Relay Setting Table			active	

This document is subject to the conditions set forth on the first or side page

Dieses Blatt unterliegt den Weitergabebeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

DEVICE DATA		ROTOR PROTECTION	
LINE FREQ. [Hz]	50	60	
I-llc [In]	0.9		
DEVICE TYPE	ROTATING	NON-ROT.	
I-load [In]	0.05		
I-start [In]	5.12		
t-start [s]	1.02		
k-stat	1.15		
k-inv	3		
n-warm	2		
n-cold	3		

CHANNELS			
L1		E	D
L2		E	D
L3		E	D
In	[A]	1	5
CT-RATIO		60	
I _{max}	[In]	28	
e		E	D
In		1	5
CT-RATIO		100	
I _{max}		7	
U _{in}		E	D
U _n	[V]	D	E
CONNECTION		D-llc	D-Rh
VT-RATIO		U0	

THERM. OVERL.		STATOR PROTECTION	
TH. OVERLOAD		E	D
t1, stat [s]	300		
t2, stat [s]	1200		
p-weight	1		
c-stop, stat	4		
c-stop, rot	4		
θ-warm [%]	24		
START INHIBIT		E	D
t-inh [s]	53		
θ-stator [%]	24		
EMERG. RESTAR.		E	D

UNDERCURRENT		
UNDERCURRENT	E	D
t-bypass [s]		
I< [In]		
tI< [s]		

UNDERVOLTAGE		
UNDERVOLTAGE	E	D
U< [Un]		
tU< [s]		

OVERVOLTAGE		
OVERVOLTAGE	E	D
U> [Un]		
tU> [s]		
U>> [Un]		
tU>> [s]		

UNBALANCE		
UNBALANCE	E	D
t-bypass [s]		1.0
I2/In		0.1
t2p [s]		1.0

LOCKED ROTOR		
LOCKED ROTOR	E	D
t-lr [s]		8.0

BREAKER FAILURE THIP		
BF TRIP	E	D
EXTERN	E	D
I-bf [In]		
t-bf [s]		

CURVE SWITCH			
CURVE SWITCH	E	D	
MODE	C	P	S
t-CS [s]			
STATUS	S	R	

BLOCK			
BLOCK	E	D	
MODE	C	P	S
t-BLOCK [s]			
STATUS	S	D	
TIMER	E	D	
I<	E	D	
I>	E	D	
I>>	E	D	
Ie>/Iep	E	D	
Ie>>	E	D	
U<	E	D	

CIRCUIT BREAKER POSITION		
CB POSITION	E	D

EXTERNAL COMMAND		
EXT. COMMAND	E	D
t-EXT [s]		

REAL TIME CLOCK		
RTC	E	D
FORMAT	DMY	MDY
RTC SYNC	E	D

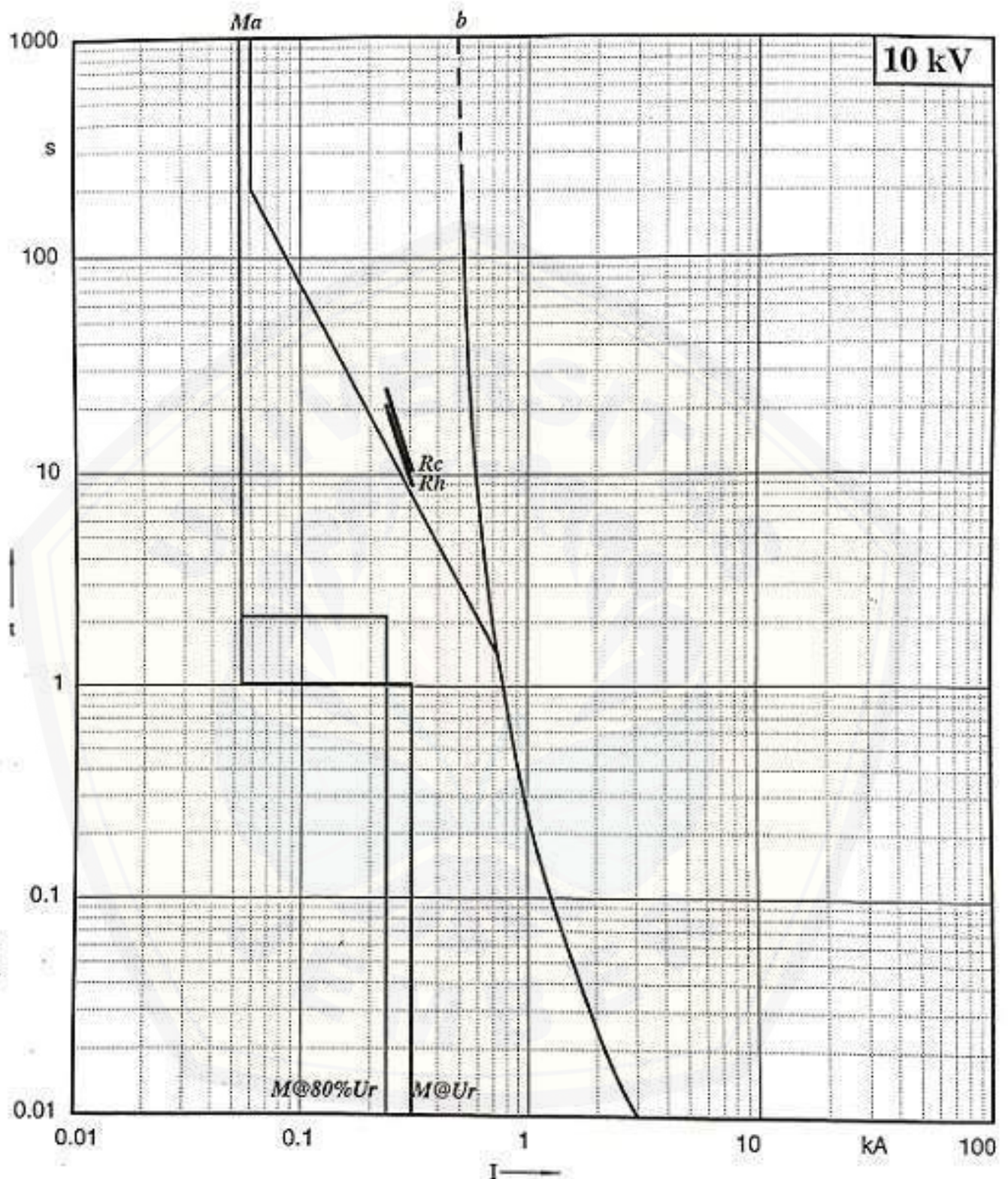
TRANSIENT DATA		
TRANSIENT DATA	E	D
START	INTERN	EXTERN
t-trip [s]		1.0
t-alarm [s]		2.0

LOW SET OVERCURRENT					
LOW SET O. C. CURVE CHAR		PHASE		EARTH	
		E	D	E	D
I>	[In]			0.1	
tI>	[s]			0.1	
Ip	[In]				
tp					
NR. OF POINTS					
I1	[In]				
tI1	[s]				
I2	[In]				
tI2	[s]				
I3	[In]				
tI3	[s]				
I4	[In]				
tI4	[s]				
I5	[In]				

HIGH SET OVERCURRENT					
HIGH SET O. C. CURVE		PHASE		EARTH	
		E	D	E	D
I>>	[In]				
tI>>	[s]				

This document is subject to the restrictions set forth on the first of title page

Dieses Blatt unterliegt den Weitergabebeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

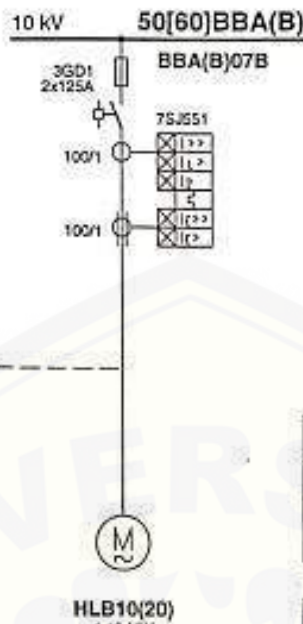


This document is subject to the restrictions set forth on the first or title page

Dieses Blatt stellt die Weirgabegrenzen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

- $M@Ur$ / Normal (I_r) and Startup (I_{st}, t_{st}) Operation Limit
 $M@80\%Ur$ at Rated (U_r) and Minimum ($80\%U_r$) Voltage
 Rc/Rh Thermal Withstand Curve Rotor (cold/hot)
 a Locked Rotor Protection (Relay 7SJ551)

Current	Ref.	[kA]
I_r	I_5	0.088
I_{st}	I_6	0.551
I_{kmin3p}	I_{Ba}	12.63
I_{kmin2p}	I_{Bb}	10.94



This document is subject to the restrictions set forth on the first or title page

Rated Motor Data			
Symbol	Ref.	Value	Unit
U_r		10.0	kV
P_r		1.19	MW
η		0.95	1
$\cos\phi$		0.825	1
k_{st}	k_1	6.26	1
pp		3	1
n		989	min ⁻¹

Motor Operating Limits					
Symbol	Ref.	Value	Unit	Extreme	Conditions
k_b	k_2	1.0	1	max	$I_b = k_b \cdot I_r$
I_{nl}		{0.018}	kA	min	No Load
I_g		0.088	kA	rated	Full Load
k_{st}		6.26	1	max	Start Up at U_r
t_{st}		3.45	s	max	at U_r (nominal)
$k_{st-0.8}$		4.83	1	max	Start Up at 0.8- U_r
$t_{st-0.8}$		6.07	s	max	at 0.8- U_r
n_{st-c}		3	1	max	from cold state
n_{st-h}		2	1	max	from hot state
t_r		16.3	s	min	from hot state

{ } estimated value, data not provided

Unbalance (Neg. Sequence Current) Protection			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{i2}	{0.1}	1	$I_2 = k_{i2} \cdot I_r$
t_{i2}	{20.0}	s	max. permissible Time

Re-Start Inhibit Function			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{r1}	0.0	1	min. free th. Capacity Θ
t_{r1}	3.67	min	re-start inh. Time (t-inh)

Thermal Overload Protection (5-Parameter-Model)			
Symbol	Value	Unit	Description
τ_{Cu}	{8}	min	Warm-Up Stator-Cu [1]
τ_{Fe}	{20}	min	Warm-Up Stator-Fe [2]
w_{th}	1	1	Weight Factor
c_{Sta}	{4}	1	$\tau_{Cool-Down} / \tau_{Warm-Up}$
c_{Rot}	{4}	1	$\tau_{Cool-Down} / \tau_{Warm-Up}$
w_{i2}	{3}	1	Weight Factor Influence
			I_2 of eq. heating current

τ_{xx} is decisive for [1]short- / [2]long-term stress cycles

Dieses Blatt unterliegt den Weitergabebeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

Protection	Device	Rel.	Protection Setting Currents in kA		Sett. in kA	Setting Values	Curve			
			higher than	lower than						
BBA(B)07B	3GD1 2x 125 A	Fuse	1.2	$I_5 = 0.106$	0.25	26.0	b			
			0.8	$I_{Bb} = 8.75$						
								2.8	$-I_r$	a
								--	not active	
								--	not active	
	7SJ551	I_{ec}								
		I_r								
		I_{Lr}	(s. Fig.4.5b)	Relay Setting Table						
		I_2	(s. Fig.4.5b)	Relay Setting Table						
		I_b	(s. Fig.4.5b)	Relay Setting Table						

This document is subject to the restrictions set forth on the first or title page

DEVICE DATA		ROTOR PROTECTION	
LINE FREQ. [Hz]	50	60	
I-flc [In]	0.88		
DEVICE TYPE	ROTATING	NON-ROT.	
Inload [In]	0.05		
I-start [In]	5.51		
t-start [s]	3.45		
k-stat	1.0		
k-inv	3		
n-warm	2		
n-cold	3		

CHANNELS			
L1	E	D	
L2	E	D	
L3	E	D	
In [A]	1	5	
CT-RATIO	100		
I _{max} [In]	28		
e	E	D	
In	1	5	
CT-RATIO	100		
I _{max}	7		
U _{in}	E	D	
U _n [V]			
CONNECTION	Y-Gr D-Gr Y-Gr		
VT-RATIO			

THERM. OVERL.		STATOR PROTECTION	
TH. OVERLOAD	E	D	
τ1, stat [s]	480		
τ2, stat [s]	1200		
p-weight	1		
c-stop, stat	4		
c-stop, rot	4		
θ-warm [%]	1		
START INHIBIT	F	D	
t-inh [s]	220		
θ-stator [%]	0		
EMERG. RESTART	E	D	

UNDERCURRENT		
UNDERCURRENT	E	D
t-bypass [s]		
I _c [In]		
t I _c [s]		

UNDERVOLTAGE		
UNDERVOLTAGE	E	D
U _c [Un]		
t U _c [s]		

OVERVOLTAGE		
OVERVOLTAGE	E	D
U _{>} [Un]		
t U _{>} [s]		
U _{>>} [Un]		
t U _{>>} [s]		

UNBALANCE		
UNBALANCE	E	D
t-bypass [s]	1.0	
I _{2/In}	0.1	
t _{2p} [s]	1.0	

LOCKED ROTOR		
LOCKED ROTOR	E	D
t-tr [s]	10.0	

BREAKER FAILURE THIP		
BF TRIP	E	D
EXTERN	E	D
t-bf [In]		
t-bf [s]		

CURVE SWITCH			
CURVE SWITCH	E	D	
MODE	C	P	S
t-CS [s]			
STATUS	S	R	

BLOCK			
BLOCK	E	D	
MODE	C	P	S
t-BLOCK [s]			
STATUS	S	D	
TIMER	E	D	
I _c	E	D	
t>/p	E	D	
t>>	E	D	
I _{2>/I_{2p}}	E	D	
I _{2>>}	E	D	
U _c	E	D	

CIRCUIT BREAKER POSITION		
CB POSITION	E	D

EXTERNAL COMMAND		
EXT. COMMAND	E	D
t-EXT [s]		

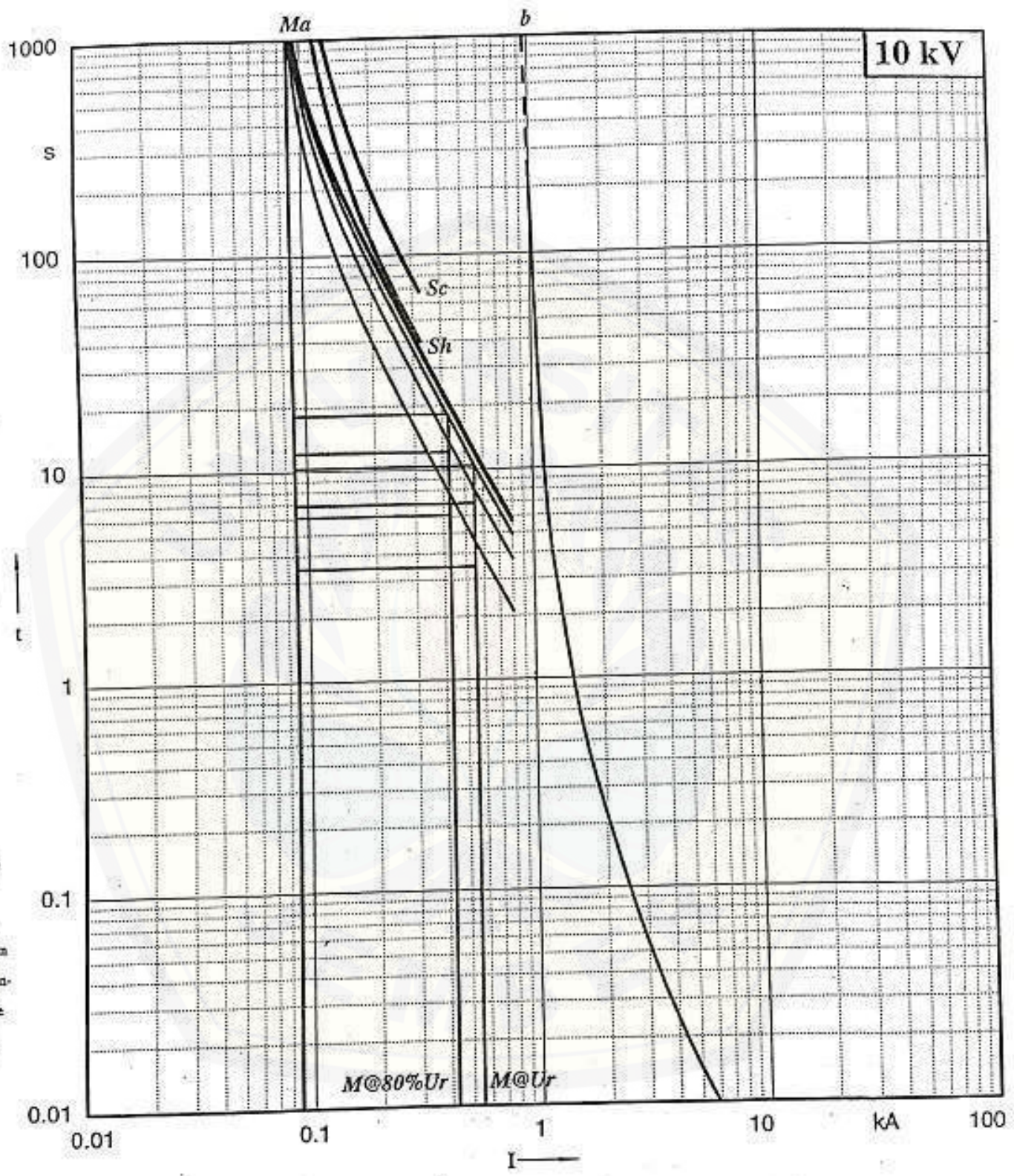
REAL TIME CLOCK		
RTC	E	D
FORMAT	DMY	MDY
RTC SYNC	E	D

TRANSIENT DATA		
TRANSIENT DATA	E	D
START	INTERN	EXTERN
t-trip [s]	1.0	
t-alarm [s]	2.0	

LOW SET OVERCURRENT					
LOW SET O. C. CURVE CHAR		PHASE		EARTH	
		E	D	E	D
I _{1>} [In]				1	2
t I _{1>} [s]				0.1	0.1
I _p [In]					
t _p					
NR. OF POINTS					
I ₁ [In]					
t I ₁ [s]					
I ₂ [In]					
t I ₂ [s]					
I ₃ [In]					
t I ₃ [s]					
I ₄ [In]					
t I ₄ [s]					
I ₅ [In]					

HIGH SET OVERCURRENT					
HIGH SET O. C. CURVE		PHASE		EARTH	
		E	D	E	D
I _{>>} [In]					
t I _{>>} [s]					

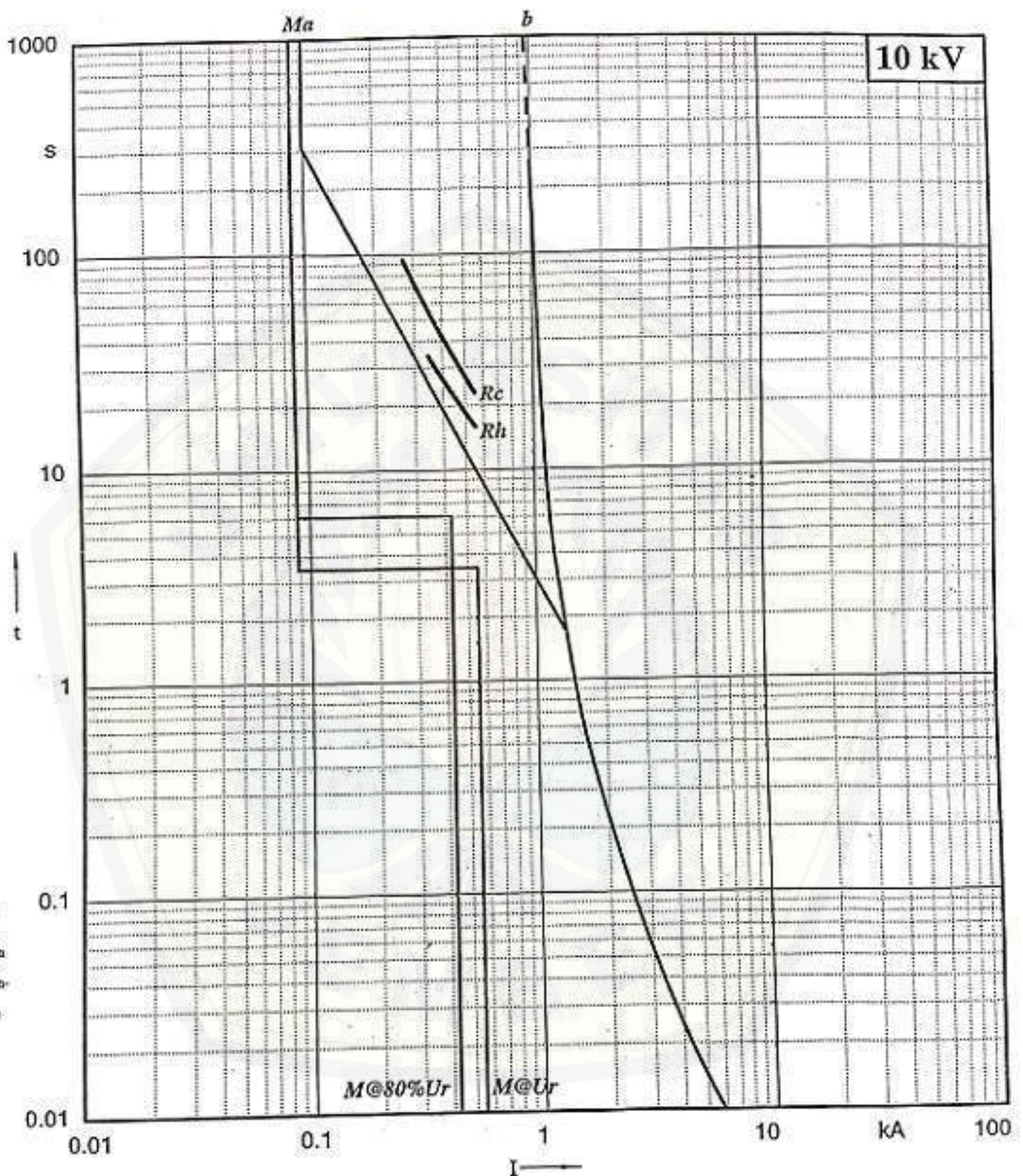
Diese Blatt unterliegt den Abfertigungsbeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben



s docu-
 it is sub-
 to the
 rictions
 forth on
 first or
 page

ieses Blatt
 terliegt dem
 ergebnis-
 schranken-
 n wie auf
 r Titelseite
 w. der
 sten Seite
 gegeben

$M@Ur$ / Normal (I_r) and Startup ($I_{st}, n_{st} \cdot t_{st}$) Operation Limit
 $M@80\%Ur$ at Rated (U_r) and Minimum ($80\%U_r$) Voltage
 Sc/Sh Thermal Withstand Curve Stator (cold/hot)
 a Thermal Overload Protection (Relay 7SJ551)
 Parameter: Preload $m = [0, .2, .4, .6, .8, 1]$

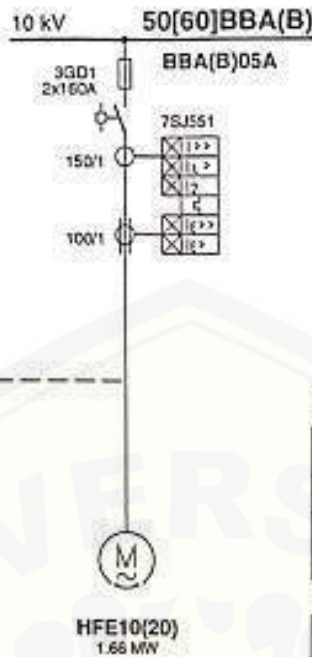


is docu-
ment is sub-
ject to the
restrictions
set forth on
this first or
second page

ieses Blatt
darlegt den
Eitergabe-
beschränkun-
gen wie auf
der Titelseite
oder der
ersten Seite
angegeben

- $M@Ur/$ Normal (I_r) and Startup (I_{st}, t_{st}) Operation Limit
- $M@80\%Ur$ at Rated (U_r) and Minimum ($80\%U_r$) Voltage
- Rc/Rh Thermal Withstand Curve Rotor (cold/hot)
- a Locked Rotor Protection (Relay 7SJ551)

Current	Ref.	[kA]
I_r	I_5	0.111
I_{st}	I_5	0.7
I_{kmin3p}	I_{ga}	12.63
I_{kmin2p}	I_{gb}	10.94



This document is subject to the restrictions set forth on the first or title page

Rated Motor Data			
Symbol	Ref.	Value	Unit
U_r		10.0	kV
P_r		1.66	MW
η		0.956	1
$\cos\phi$		0.9	1
k_{st}	k_1	6.3	1
pp		2	1
n		1484	min ⁻¹

Motor Operating Limits					
Symbol	Ref.	Value	Unit	Extreme	Conditions
k_b	k_2	1.0	1	max	$I_b = k_b \cdot I_r$
I_{rl}		[0.02]	kA	min	No Load
I_{fl}		0.7	kA	rated	Full Load
t_{st}		6.3	1	max	Start Up at U_r
t_{st}		8.44	s	max	at U_r (nominal)
$k_{st-0.6}$		4.87	1	max	Start Up at 0.6· U_r
$t_{st-0.6}$		14.84	s	max	at 0.6· U_r
n_{rst-c}		3	1	max	from cold state
n_{rst-h}		2	1	max	from hot state
t_r		17.0	s	min	from hot state

[] estimated value, data not provided

Unbalance (Neg. Sequence Current) Protection			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{i2}	[0.1]	1	$I_2 = k_{i2} \cdot I_r$
t_{i2}	[20.0]	s	max. permissible Time

Re-Start Inhibit Function			
Symbol	Value	Unit	Description
k_{ri}	0.0	1	min. free th. Capacity \emptyset
t_{ri}	9.0	min	re-start inh. Time (t-inh)

Thermal Overload Protection (5-Parameter-Model)			
Symbol	Value	Unit	Description
T_{Cu}	[15]	min	Warm-Up Stator-Cu [1]
T_{Fe}	[30]	min	Warm-Up Stator-Fe [2]
w_{th}	1	1	Weight Factor
c_{sta}	[4]	1	$T_{Cool-Down}/T_{Warm-Up}$
c_{rot}	[4]	1	$T_{Cool-Down}/T_{Warm-Up}$
w_{i2}	[3]	1	Weight Factor Influence I_2 of eq. heating current

T_{XX} is decisive for [1]short- / [2]long-term stress cycles

Dieses Blatt unterliegt den Weitergabebeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

Protection	Device	Rel.	Protection Setting Currents in kA		Sett. in kA	Setting Values	Curve		
			higher than	lower than					
BBA(B)05A	3GD1 2x 160 A	Fuse	1.2 · I_5	= 0.133	0.6 · I_{gb}	= 8.75	0.32	b	
			7SJ551	I_{sc}			4.2	28.0	I_r
			I_r			--	--	not active	
			I_{L^*}	(s. Fig.4.4b)	Relay Setting Table			not active	
			I_2	(s. Fig.4.4b)	Relay Setting Table			active	
			I_b	(s. Fig.4.4b)	Relay Setting Table			active	

This document is subject to the restrictions set forth on the first or title page

DEVICE DATA		ROTOR PROTECTION	
LINE FREQ. [Hz]	50	E D	
I-lic [In]	0.74		
DEVICE TYPE	ROTATING	NON-ROT.	
Inload [In]	0.05		
I-start [In]	4.67		
t-start [s]	8.44		
k-stat	1.0		
k-inv	3		
n-warm	2		
n-cold	3		

CHANNELS			
L1	E	D	
L2	E	D	
L3	E	D	
In [A]	1	5	
CT-RATIO		150	
I _{max} [In]		28	
e	E	D	
In	1	5	
CT-RATIO		100	
I _{max}		7	
Un	E D		
Un	E D		
CONNECTION	D-Gr D-Flt 3-0		
VT-RATIO			

THERM. OVERL.		STATOR PROTECTION	
TH. OVERLOAD	E	D	
t1, stat [s]		900	
t2, stat [s]		1800	
p-weight		1	
c-stop, stat		4	
c-stop, rot		4	
θ-warm [%]		1	
START INHIBIT	E	D	
t-inh [s]		540	
θ-stator [%]		0	
EMERG. RESTART	E	D	

LOW SET OVERCURRENT				
LOW SET O. C. CURVE CHAR	PHASE		EARTH	
	E 1	D 2	E 1	D 2
I> [In]			0.1	
I< [s]			0.1	
I _p [In]				
t _p				
NRL OF POINTS				
I1 [In]				
t11 [s]				
I2 [In]				
t12 [s]				
I3 [In]				
t13 [s]				
I4 [In]				
t14 [s]				
I5 [In]				

HIGH SET OVERCURRENT				
HIGH SET O. C. CURVE	PHASE		EARTH	
	E 1	D 2	E 1	D 2
I>> [In]				
I1>> [s]				

UNDERCURRENT		
UNDERCURRENT	E	D
t-bypass [s]		
Ic [In]		
tIc [s]		

UNDERVOLTAGE		
UNDERVOLTAGE	E	D
U< [Un]		
tU< [s]		

OVERVOLTAGE		
OVERVOLTAGE	E	D
U> [Un]		
tU> [s]		
U>> [Un]		
tU>> [s]		

UNBALANCE		
UNBALANCE	E	D
t-bypass [s]		1.0
I2/I1		0.1
t2p [s]		1.0

LOCKED ROTOR		
LOCKED ROTOR	E	D
t-Ir [s]		12.0

BREAKER FAILURE TRIP		
BF TRIP	E	D
EXTERN	E	D
t-bf [In]		
t-bf [s]		

CURVE SWITCH		
CURVE SWITCH	E	D
MODE	C	P S
t-CS [s]		
STATUS	S	R

BLOCK			
BLOCK	E	D	
MODE		C	P S
t-BLOCK [s]			
STATUS	S	D	
TIMER	E	D	
Ic	E	D	
I>/Ip	E	D	
I>>	E	D	
Ie>/Iep	E	D	
Ie>>	E	D	
Uc	E	D	

CIRCUIT BREAKER POSITION		
CB POSITION	E	D

EXTERNAL COMMAND		
EXT. COMMAND	E	D
t-EXT [s]		

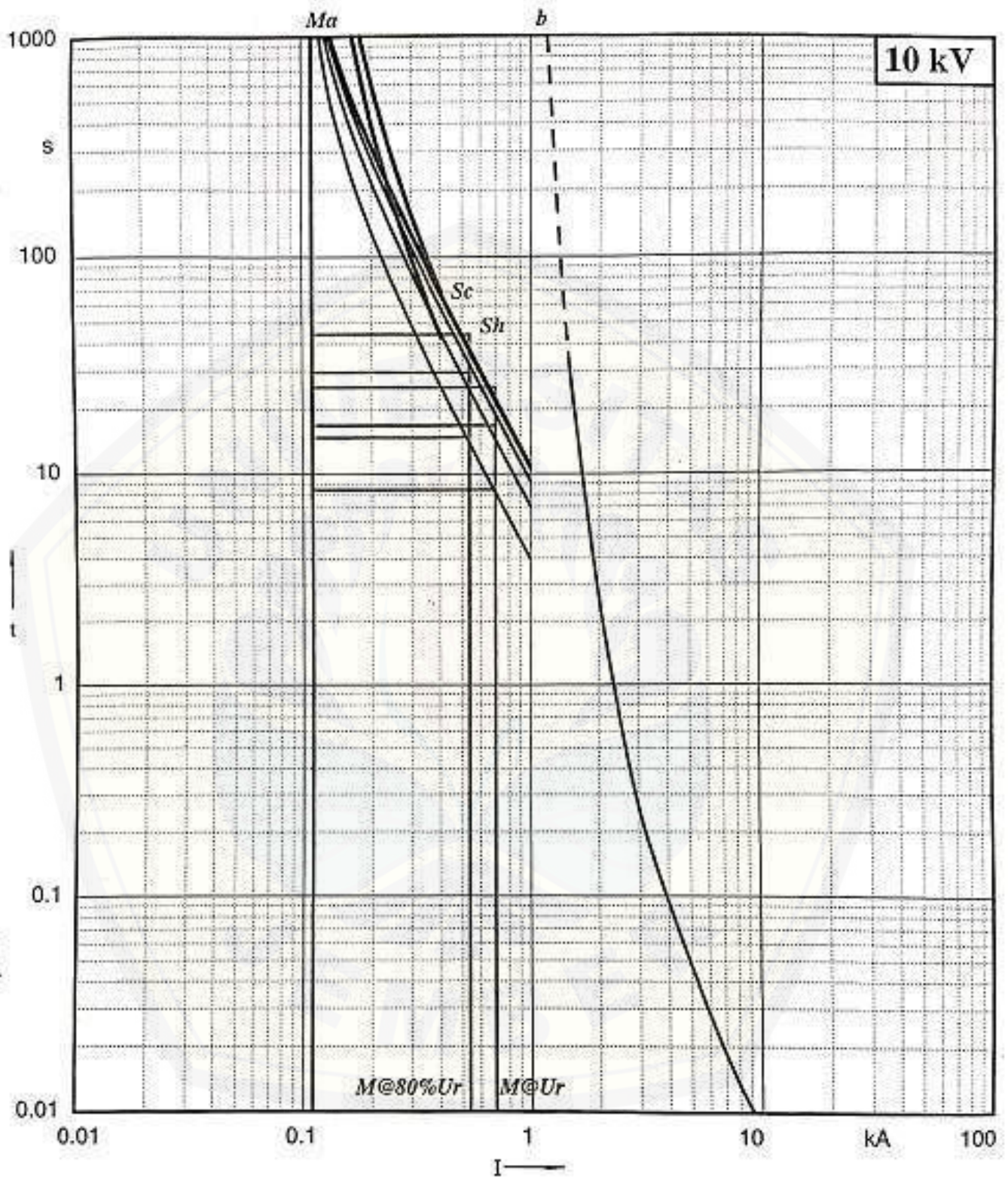
REAL TIME CLOCK		
RTC	E	D
FORMAT	DMY	MDY
RTC SYNC	E	D

TRANSIENT DATA		
TRANSIENT DATA	E	D
START	INTERN	EXTERN
t-trip [s]		1.0
t-alarm [s]		2.0

Dieses Blatt enthält den Weitergabebestimmungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben

This document is subject to the restrictions set forth on the first or side page.

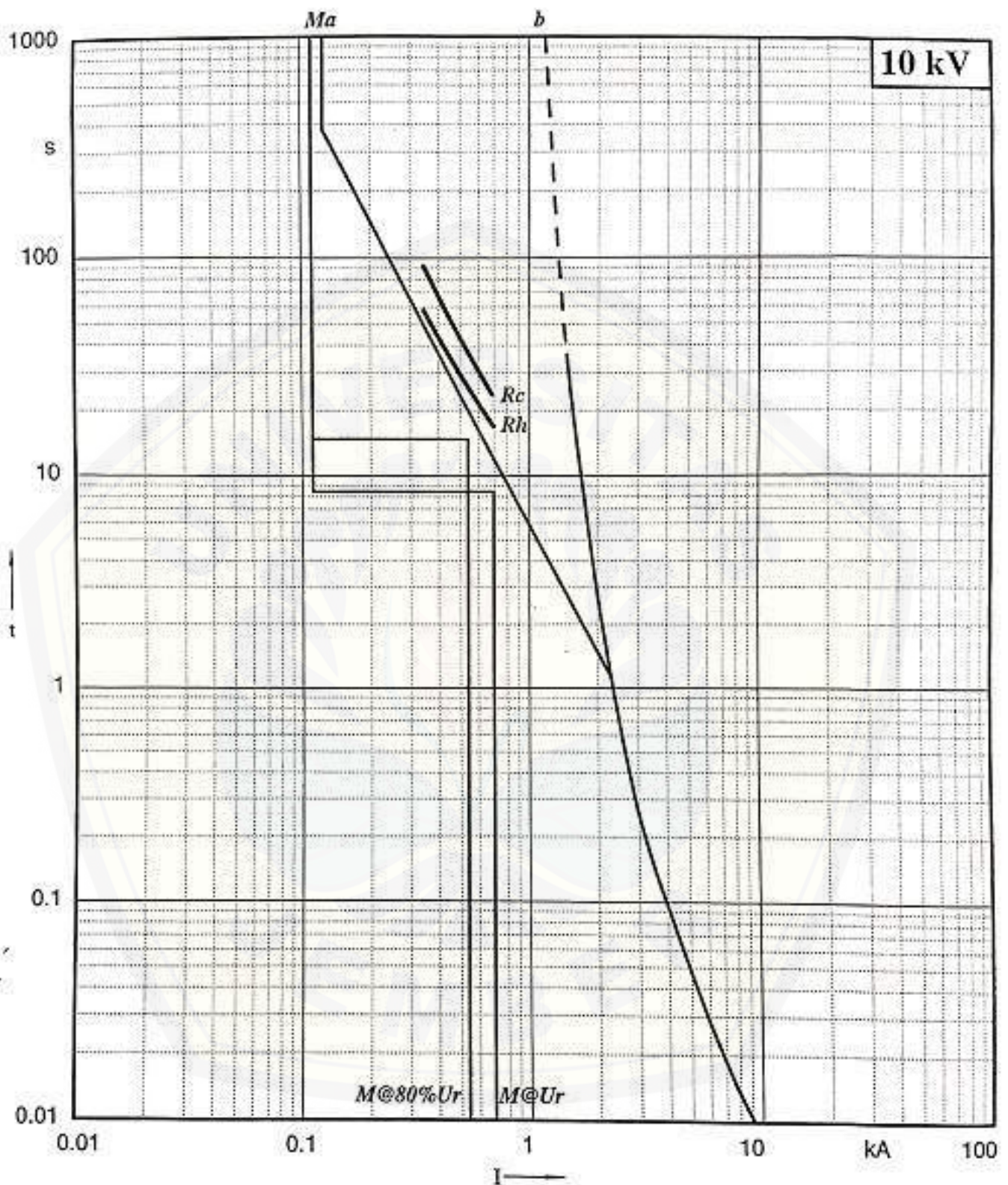
Dieses Blatt unterliegt den Weitergabebeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben.



- $M@U_r$ Normal (I_r) and Startup ($I_{st,nst} \cdot t_{st}$) Operation Limit
- $M@80\%U_r$ at Rated (U_r) and Minimum ($80\%U_r$) Voltage
- S_c/S_h Thermal Withstand Curve Stator (cold/hot)
- a Thermal Overload Protection (Relay 7SJ551)
 Parameter: Preload $m = [0, .2, .4, .6, .8, 1]$

This document is subject to the restrictions set forth on the first or title page

Dieses Blatt unterliegt den Weitergabebeschränkungen wie auf der Titelseite bzw. der ersten Seite angegeben



M@Ur/ Normal (Ir) and Startup (Ist, tst) Operation Limit
 M@80%Ur at Rated (Ur) and Minimum (80%Ur) Voltage
 Rc/Rh Thermal Withstand Curve Rotor (cold/hot)
 a Locked Rotor Protection (Relay 7SJ551)

Paiton, 5 Maret 2019

Nomor : YTLJT/LTR/2019/00195

Perihal : Ijin Pengambilan Data Untuk Tugas Akhir

Kepada Yth:
Sdr. Wakil Dekan I
Fakultas Teknik
Universitas Jember

Dengan Hormat,

Berdasarkan surat Saudara dengan Nomor: 478/UN25.11/EP/2019 Perihal Permohonan Ijin Pengambilan Data, maka dengan ini kami sampaikan bahwa kami mengijinkan Mahasiswa Saudara sebagai berikut:

No	Nama	NIM	Jurusan
1.	Mohammad Saiful B.	151910201051	Teknik Elektro
2.	Andhika Reyfaldi	151910201113	Teknik Elektro

Untuk melaksanakan PKL di **Bagian Electrical**, dengan kondisi dan persyaratan sbb:

1. Mahasiswa **Tugas Akhir** tidak mendapatkan akses ke data / informasi yang kami anggap rahasia.
2. Kami tidak menyediakan akomodasi / kompensasi.
3. Mahasiswa yang melaksanakan **Tugas Akhir** diharuskan menyerahkan 1 salinan laporan Kerja Praktek kepada perusahaan.
4. Waktu pelaksanaan: **12 Maret s/d 19 Maret 2019**
5. Menjelang berakhirnya kegiatan **Tugas Akhir**, mahasiswa diharuskan mengembalikan semua buku – buku dan apapun yang pernah dipinjam dari perusahaan.
6. Mahasiswa **Tugas Akhir** diharap hadir pada acara **Safety Induction** yang akan dilaksanakan pada hari **Rabu tgl. 6 Maret 2019** bertempat di **Training Centre PT. YTL Jawa Timur pukul 07:00 WIB**
7. Mahasiswa diminta melakukan konfirmasi ulang ke Perusahaan, selambat-lambatnya 3 hari sebelum pelaksanaan Safety Induction dengan Koordinator PKL (Sdr. **Edy Suharto**) Tlp. 0335 – 773100 Ext 4031.
8. Karena tidak disediakan oleh Perusahaan, maka selama pelaksanaan Tugas Akhir, Mahasiswa Tugas Akhir **diharuskan membawa PPE sendiri (Sepatu Safety, Kacamata Safety dan Helm Safety).**

Demikian surat ijin dari kami, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Hormat kami,



Herdian Zulkarnain
Section Head of Human Resource

CC: - Section Head of Electrical

PT. YTL Jawa Timur



Jl Raya Surabaya –
 Situbondo KM. 141,
 PO. Box 36, Paiton,
 67291, Probolinggo,
 East Java, Indonesia
 Telp. 62 335 773100
 Fax. 62 335 773161