PENENTUAN *BREAKING CAPACITY* BERDASARKAN ANALISIS TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH

SKRIPSI

Dibuat untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:
M. GILANG RAMADHAN
(03041381722106)

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN *BREAKING CAPACITY* BERDASARKAN ANALISIS TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarja Teknik

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

M. GILANG RAMADHAN

(03041381722106)

Palembang, 29 September 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197108141999031005

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Ir. Antonius Hamdadi, M.S.

NIP.195612141986031002

LEMBAR PERNYATAAN DOSEN

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (SI)

Tanda Tangan : _____

Pembimbing Utama : Ir. Antonius Hamdadi, M.S.

Tanggal : 29 / 9 / 2021

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: M. Gilang Ramadhan
NIM	: 03041381722106
Jurusan	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik
Jenis Karya	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENENTUAN *BREAKING CAPACITY* BERDASARKAN ANALISIS TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Palembang

Pada tanggal: 29 September 2021

Yang Menyatakan,

M. Gilang Ramadhan

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama	: M. Gilang Ramadhan
NIM	: 03041381722106
Fakultas	: Teknik
Jurusan/ Prodi	: Teknik Elektro
Universitas	: Universitas Sriwijaya

Hasil pengecekan software *iThenticate/ Turnitin*: 5%

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul "Penentuan *Breaking Capacity* Berdasarkan Analisis Terhadap Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20 kV Gardu Induk Seduduk Putih" merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/Plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikianlah penyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Palembang, 29 September 2021

M. Gilang Ramadhan

NIM. 03041381722106

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT yang mana berkat ridho dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul "Penentuan *Breaking Capacity* Berdasarkan Analisis Terhadap Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang 20 KV Gardu Induk Seduduk Putih". Shalawat beriring salam tak lupa penulis haturkan kepada Rasulullah SAW berserta para sahabat, keluarga, dan kita para pengikutnya.

Pada kesempatan ini penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak **Ir. Antonius Hamdadi, M.S.** selaku dosen pebimbing tugas akhir yang telah bersusah payah dan meluangkan waktunya dalam membimbing, memberikan kritik, saran, dan masukkan yang sangat berharga kepada penulis selama penyelesaian skripsi ini. Kemudian penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. Rudyanto Thayib, M.Sc selaku dosen penguji tugas akhir
2. Dr. Ir. H. Syamsuri Zaini, M.M. selaku dosen penguji tugas akhir
3. Dr. Herlina, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir
4. Wirawan Adipradana, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir

Yang telah memberikan banyak sekali saran dan masukkan yang sangat berguna untuk kebaikan skripsi saya.

Selain itu penulis menyadari, bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih juga kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE selaku Rektor Universitas Sriwijaya beserta staff.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta staff.

3. Ketua Jurusan Teknik Elektro, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
4. Ibu Caroline S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik.
5. Bapak Rudi Hartono dan Ibu Yuni Hartini kedua orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan nasihat kepada penulis.
6. Manager ULTG Boom Baru, Bapak Ghandi yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di Gardu Induk Seduduk Putih, arahan, dan juga nasehat kepada penulis agar terselesaikannya tugas akhir ini.
7. Supervisor Gardu Induk Seduduk Putih, Bapak Redha yang telah memberikan data-data penilitian yang diperlukan di Gardu Induk Seduduk Putih.
8. Teman-teman teknik elektro universitas sriwijaya yang telah membersamai dari awal masuk sampai selesainya masa kuliah.
9. Rekan-rekan klub robotika universitas sriwijaya yang telah memberikan banyak pelajaran selama ini.
10. Rekan-rekan keluarga mahasiswa Palembang tempat menghibur diri dikala penat.
11. Rekan-rekan seperjuangan satu konsentrasi (Sistem tenaga listrik) yang telah sangat-sangat membantu penyusunan skripsi ini menjadi lancar.
12. Dan lain-lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga bantuan dan dukungan yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi ini menjadi amal dan ibadah di hadapan Tuhan Yang Maha Esa. Dan diharapkan skripsi ini dapat menjadi sumbangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta dapat menjadi manfaat bagi bangsa dan negara.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Palembang, Juli 2021

Penulis

ABSTRAK

PENENTUAN *BREAKING CAPACITY* BERDASARKAN ANALISIS TERHADAP GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA PENYULANG 20 KV GARDU INDUK SEDUDUK PUTIH

(M. Gilang Ramadhan, 03041381722106, 2021, 51 halaman)

Dalam sistem kelistrikan gangguan pasti akan terjadi. Ada banyak jenis gangguan dalam sistem kelistrikan salah satunya adalah hubung singkat yang waktu terjadinya tidak dapat diprediksi serta sangat berbahaya baik itu bagi sistem kelistrikan maupun bagi konsumen. Untuk mengatasi gangguan pada sistem kelistrikan ini adalah dengan memasang alat proteksi, salah satu jenis alat proteksi yang biasa digunakan dalam sistem kelistrikan adalah pemutus tenaga. Pemutus tenaga bekerja untuk memutuskan rangkaian listrik agar mampu meminimalisir lokasi gangguan sehingga tidak merusak peralatan sistem kelistrikan, tidak mengganggu pendistribusian tenaga listrik, dan tidak membahayakan konsumen. Pemutus tenaga ini punya batasan sehingga perlu menentukan kapasitas pemutus tenaga untuk beberapa titik pada sistem pendistribusian tenaga listrik. Penulis mengambil lokasi untuk penelitian ini di gardu induk Seduduk Putih Palembang dimana untuk titik-titik gangguan yang dipilih yaitu pada penyulang Beo, penyulang Kenari, busbar, dan trafo dengan besarnya arus gangguan hubung singkat pada masing-masing titik secara berurut yaitu : 5,776 kA, 5,412 kA, 5,773 kA, 8,086 kA. Untuk kapasitasnya yaitu : pada trafo sebesar 31,5 kA, pada busbar sebesar 12,5 kA, pada penyulang Kenari sebesar 12,5 kA, pada penyulang Beo sebesar 12,5.

Kata kunci : Hubung Singkat tiga phasa, Pemutus tenaga, Rating pemutus tenaga

ABSTRACT
DETERMINATION OF BREAKING CAPACITY BASED ON ANALYSIS OF SHORT CIRCUIT DISORDERS AT 20 KV FEEDER SEDUKUK PUTIH SUBSTATION

(M. Gilang Ramadhan, 03041381722106, 2021, 51 *pages*)

In the electrical system disturbances will inevitably occur. There are many types of disturbances in the electrical system, one of which is a short circuit whose time of occurrence is unpredictable and very dangerous both for the electrical system and for consumers. To overcome this disturbance in the electrical system is to use a protective device, one type of protection device commonly used in the electrical system is a circuit breaker. The circuit breaker works to disconnect the electrical circuit in order to minimize the location of the disturbance so that it does not damage the electrical system equipment, does not interfere with the distribution of electric power, and does not endanger consumers. This circuit breaker has limitations so it is necessary to determine the breaker capacity for several points in the electric power distribution system. The author took the location for this research at seduduk putih Palembang substation that for selected disturbance points are Beo feeder, Kenari feeder, busbar, transformer with the magnitude of the short circuit fault current at each point in sequence are: 5,776 kA, 5,412 kA, *5,773 kA, 8,086 kA. For the capacity, namely: the transformer is 31.5 kA, the busbar is 12.5 kA, the Kenari feeder is 12.5 kA, the Beo feeder is 12.5.*

Keywords *: Three-phase short circuit, circuit breaker, circuit breaker rating.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....**Error! Bookmark not defined.**
LEMBAR PERNYATAAN DOSEN.....**Error! Bookmark not defined.**
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....**Error! Bookmark not defined.**
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....**Error! Bookmark not defined.**
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR PERSAMAAN xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belekang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Metodelogi Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Sistem Tenaga Listrik 5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik 6
2.2.1 Gardu Induk 7
2.2.2 Jaringan Distribusi Primer 7
2.2.3 Gardu Distribusi 8
2.2.4 Jaringan Distribusi Sekunder 8
2.3 Gangguan Sistem Tenaga Listrik 9
2.4 Gangguan Hubung Singkat 10
2.5 Sistem Proteksi pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik 11
2.5.1 Definisi Sistem Proteksi 11
2.5.2 Tujuan Sistem Proteksi 12

2.5.3 Syarat Sistem Proteksi yang baik 12
2.6 Sistem Satuan (Per Unit System) 14
2.6.1 Penentuan Nilai Dasar 14
2.7 Komponen Simetris 15
2.8 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 19
2.8.1 Menghitung Impedansi 20
2.8.2. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga 22
2.9 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa 24
2.10 Pengaman Pada Sistem Distribusi 25
2.11 Pemutus Tenaga 26
2.12 Rating Arus Pemutus Tenaga 28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 32
3.1 Umum 32
3.2 Lokasi Penelitian 33
3.3 Waktu Pengambilan Data 33
3.4 Analisa Data 33
3.5 Flowchart 35
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 36
4.1 Umum 36
4.2 Data Teknis Jaringan Gardu Induk Seduduk Putih 37
4.3 Data Teknis Peralatan Gardu Induk Seduduk Putih 37
4.4 Perhitungan Impedansi 38
4.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat 40
4.6 Penentuan Kapasitas Pemutusan (Breaking Capacity) 46
4.7 Rating PMT 48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 50
5.1 Kesimpulan 50
5.2 Saran 50
DAFTAR PUSTAKA 52
LAMPIRAN 54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Garis Sistem Distribusi Tenaga Listrik Secara Umum 6

Gambar 2.2 Diagram Phasor Urutan Positif, Negatif, Serta Nol 16

Gambar 2.3 Penjumlahan secara grafis komponen-komponen seimbang pada Gam bar 2.2 untuk mendapatkan fasor tak seimbang 16

Gambar 2.4 Diagram phasor berbagai macam pangkat dari Operator a 17

Gambar 2.5 Rangkaian hubung singkat tiga fasa generator tak berbeban yang titik netralnya ditanahkan dengan reaktansi 22

Gambar 2.6 Durasi Hubung Singkat Tiga Fasa 25

Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian.....35

Gambar 4.1 Diagram Satu Garis dari Sumber ke Penyulang GI Seduduk Putih ...36

Gambar 4.2 Diagram Urutan Positif Untuk Gangguan di Penyulang Beo 41

Gambar 4.3 Diagram Urutan Positif Untuk Gangguan di Penyulang kenari 42

Gambar 4.4 Diagram Urutan Positif Untuk Gangguan di Busbar 43

Gambar 4.5 Diagram Urutan Positif Untuk Gangguan didalam Trafo 45

Gambar 4.6 Diagram Satu Garis GI Seduduk Putih Beserta Rating Masing-Masing PMT 50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Gangguan 11

Tabel 2.2 Faktor Pengali dan Lama Waktu Membuka Alat Pemutus Tenaga 31

Tabel 4.1 Data Transformator I.....37

Tabel 4.2 Data Jenis Kawat Penghantar beserta Impedansi Urutan Positif, dan Panjang Penyulang yang digunakan 37

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pemilihan Pemutus Tenaga 48

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 11

Persamaan 2.2 15

Persamaan 2.3 15

Persamaan 2.4 15

Persamaan 2.5 16

Persamaan 2.6 17

Persamaan 2.7 17

Persamaan 2.8 18

Persamaan 2.9 18

Persamaan 2.10 18

Persamaan 2.11 18

Persamaan 2.12 19

Persamaan 2.13 20

Persamaan 2.14 20

Persamaan 2.15 20

Persamaan 2.16 21

Persamaan 2.17 21

Persamaan 2.18 22

Persamaan 2.19 23

Persamaan 2.20 23

Persamaan 2.21 23

Persamaan 2.22 24

Persamaan 2.23 24

Persamaan 2.24 24

Persamaan 2.25 29

Persamaan 2.26 30

Persamaan 2.27 30

Persamaan 2.28 30

Persamaan 2.29 30

Persamaan 2.30 30

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belekang

Listrik merupakan suatu energi yang berperan paling penting dan banyak diperlukan dalam kehidupan masyarakat modern saat ini. Data dari kementrian ESDM menunjukkan bahwa dalam 5 tahun terakhir konsumsi energi listrik di Indonesia menunjukkan peningkatan. Pada tahun 2015 konsumsi energi listrik sebesar 910 kwh per kapita, tahun 2016 naik menjadi 956 kwh per kapita, tahun 2017 naik lagi menjadi 1021 kwh per kapita, meningkat kembali pada tahun 2018 1064 kwh per kapita, tahun 2019 naik menjadi 1084 kwh per kapita, dan ditahun 2020 naik menjadi 1142 kwh per kapita[1]. Seiring dengan terus meningkatnya kebutuhan akan energi listrik di Indonesia inilah maka kualitas dari energi listrik ini haruslah meningkat pula.

Perusahaan listrik negara (PLN) dalam hal ini sebagai penyedia layanan listrik di Indonesia tentunya berupaya keras agar dapat melayani kebutuhan listrik di Indonesia secara profesional baik dalam segi kualitas maupun kuantitas. Salah satu cara yang dilakukan oleh PLN adalah dengan mengantisipasi setiap kemungkinan permasalahan yang akan terjadi, salah satunya kemungkinan akan terjadinya gangguan pada sistem tenaga.

Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua faktor yaitu dari dalam sistem dan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain yaitu tegangan dan arus abnormal, beban lebih, hubung singkat, sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem diakibatkan pengaruh cuaca diantaranya yaitu surja petir. Gangguan yang sering terjadi yaitu gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada yang tidak terganggu, Gangguan hubung singkat juga berakibat pada kestabilan daya dan kontinuitas ke beban pada suatu sistem listrik[2]

Untuk mengantisipasi kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan hubung singkat ini PT. PLN (persero) menggunakan pemutus tenaga guna memutuskan

rangkaian didekat lokasi terjadinya gangguan, agar meminimalisir meluasnya lokasi gangguan sehingga kemudian dapat diperbaiki oleh petugas PT. PLN (persero) nantinya. Pemutus tenaga ini harus lah dipasang berdasarkan ketahanan yang paling sesuai dengan besarnya arus gangguan. Tentunya dalam penentuan kapasitas pemutusan (breaking capacity) ini tidak boleh sembarang agar nantinya ketika terjadinya gangguan hubung singkat, pemutus tenaga ini tidak rusak dan dapat bekerja secara efektif dalam memproteksi saluran.

Oleh karena pentingnya penentuan kapasitas pemutus tenaga ini terhadap gangguan hubung singkat juga berdasar pada penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh saudara Farekh Huzair dari Universitas Indonesia yang berjudul **Analisis Gangguan Hubung Singkat untuk Penentuan Breaking Capacity Pada Penyulang Kutai, Ludruk, dan Reog di GIS Gambir Lama** yang telah dilakukan pada tahun 2014 serta penelitian yang dilakukan oleh saudara Hendra dari Universitas Sriwijaya yang berjudul **Studi Penentuan Kapasitas Pemutus Tenaga Sisi 20 KV Pada Gardu Induk Sekayu** maka penulis akan membahas tentang **Penentuan Breaking Capacity Berdasarkan Analisis Terhadap Gangguan Hubung Singkat pada Sisi 20 KV.**

1.2 Rumusan Masalah

Pemulis dalam hal ini merumuskan beberapa permasalahan yang akan dibahas yaitu sistem proteksi dalam gardu induk seduduk putih meliputi berapa besar nilai arus gangguan hubung singkat 3 fasa, dan kemudian berapa besar kapasitas arus untuk pemutus tenaga.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam melakukan penelitian ini adalah menentukan kapasitas dari pemutus tenaga pada sisi 20 kv agar pemutus tenaga mampu menahan arus gangguan dan tidak rusak agar dapat menunjang kualitas dari tenaga listrik yang disalurkan.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini penulis menetapkan batasan masalah guna menunjang tercapainya tujuan penelitian ini yaitu penentuan kapasitas pemutus tenaga berdasar kepada besarnya arus hubung singkat 3 fasa karena arus hubung singkat 3 fasa merupakan arus hubung singkat yang paling besar diantara jenis hubung singkat yang lain.

1.5 Metodelogi Penelitian

Penulis melakukan penelitian ini dengan beberapa metode yaitu studi literatur, observasi, pengambilan data yang akan dianalisis terkait dengan gangguan hubung singkat, melakukan pengolahan dan analisis terhadap data yang telah didapatkan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab yang berisi latar belakang masalah yang diambil oleh penulis, perumusan masalah terkait penelitian, tujuan penelitian yang dilaku kan oleh penulis, batasan masalah, metodelogi yang dipakai oleh pe nulis dalam penelitian ini, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab yang berisi tentang berbagai teori yang berkaitan dengan gang guan pada sistem tenaga dan peralatan proteksi.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Bab yang berisi penjelasan mengenai metode apa saja yang akan di gunakan penulis dalam menulis dan menyusun skripsi ini

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab yang memuat data-data yang telah diambil penulis dan juga ana lisa yang dilakukan penulis dalam menyelesaikan permasalahan di dalam skripsi ini

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab yang berisi kesimpulan yang diambil setelah melakukan analisa terhadap data yang telah diambil juga saran yang diberikan penulis kepada pembaca berkaitan dengan skripsi ini

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

[1] Tim, “Capaian Kinerja Subsektor Ketenagalistrikan,” Jakarta, 2020. Acces sed: Sep. 27, 2021. [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets /uploads/download_index/files/9d9e1-00-200730-1709-bahan-forum-ko munikasi-media-rev24-untuk-media-.pdf.

[2] H. P. Nugraha, “Studi Koordinasi Sistem Proteksi Pada Jaringan Distribusi Pt Pln (Persero) Apj Gilimanuk Terhadap Pengaruh Penerapan Sfcl (Su perconducting Fault Current Limiter) Studi Coordination of Protection Sys tem Againts the Mounting Influence of Installation Su,” 2015.

[3] S. Sudirham, *Analisis Sistem Tenaga*. Bandung: Darpublic, 2012.

[4] A. Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia, 2000.

[5] D. Suswanto, *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, 1st ed., vol. 7. Padang: Universitas Negeri Padang, 2009.

[6] H. Lubis, “Analisa Simulasi Pemisahan Beban Berdasarkan Peningkatan Fluktuasi Beban di Subsistem 150kV,” *Univ. Sriwijya*, 2020.

[7] Badaruddin and M. I. Arsyad, “Analisa Gangguan Hubung Singkat Dengan Menggunakan Etap 12.6.0 Pada Pt X,” *J. Tek.*, vol. 5, 2016.

[8] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, *Power System Analysis*. Carolina: North Carolina State University, 2017.

[9] A. Khoiriatis, “Beban Akibat Penambahan Pembangkit pada Sistem Kelistrikan New Island Tursina PT . Pupuk Kalimantan,” 2017.

[10] H. H. Goh *et al.*, “Transmission line fault detection: A review,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 8, 2017.

[11] F. Oktaviani Erfandi, “Evaluasi Koordinasi Rele Pengaman Pada Penyu lang 20 KV Transformator III Gardu Induk Bukit Siguntang Palembang,” *Univ. Sriwij.*, pp. 13–14, 2016.

[12] A. R. Irsyadillah, “Amalisa Koordinasi Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah Pada Penyulang Sungkai 20 KV Gardu Induk Bungaran,” *Univ. Sriwij.*, 2019.

[13] I. M. Ardita and F. Huzair, “Analisis Gangguan Hubung Singkat untuk Pe nentuan Breaking Capacity Pada Penyulang Kutai , Ludruk , dan Reog di GIS Gambir Lama Abtrak Analysis of Short Circuit for the Determination of Breaking Capacity at Feeders Kutai , Ludruk , and Reog in GIS Gambir L,” 2014.

[14] F. . Tasiam, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Teknosain, 2017.

[15] S. A. Ward and E. M. Shaalan, *Circuit Breakers and Substations*. Egypt: Benha University, 2013.

[16] Y. Alfianto, “Studi penentuan kapasitas pemutus tenaga sisi penyulang pada transformator 60 mva gardu induk jajar 150 kv,” 2019.

[17] A. Hasibuan, “Penentuan Nilai Arus Pemutusan Pemutus Tenaga Sisi 20 KV pada Gardu Induk 30 MVA Pangururan,” vol. 3, 2018.

[18] T. Gonen, *Modern Power system analisys*. Taylor & Francis Group, 2013.