EVALUASI EFEKTIVITAS MITIGASI TERHADAP IMPLEMENTASI PMS DAN IS-LIMITER DALAM MENGELIMINASI POTENSI BLACKOUT PADA SISTEM CAPTIVE POWER HYBRID: STUDI KASUS PT. FAJAR PAPER, Tbk

TESIS

DISUSUN OLEH:

ANTONIUS SIMANGUNSONG

2305190009

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

JAKARTA

2026

EVALUASI EFEKTIVITAS MITIGASI TERHADAP IMPLEMENTASI PMS DAN IS-LIMITER DALAM MENGELIMINASI POTENSI BLACKOUT PADA SISTEM CAPTIVE POWER HYBRID: STUDI KASUS PT. FAJAR PAPER, Tbk

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Akademik Guna memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Program Studi Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana
Universitas Kristen Indonesia

OLEH:

ANTONIUS SIMANGUNSONG

NIM: 2305190009

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

JAKARTA

2026

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama	: Antonius Simangunsong
NIM	: 2305190009
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Fakultas	: Program Pascasarjana

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis yang berjudul "**Evaluasi Efektivitas Mitigasi terhadap Implementasi *PMS dan Is-limiter* dalam mengeliminasi potensi blackout pada sistem Captive Power Hybrid**" studi kasus di **PT. FAJAR PAPER,TBK** adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku dan jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka Tesis ini dianggap batal.

Jakarta, 06 juni 2026



Antonius Simangunsong
NIM: 2305190009

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TESIS

"Evaluasi Efektifitas Mitigasi terhadap Implementasi *PMS* dan *Is-limiter* dalam Mengeliminasi Potensi Blackout pada Sistem Captive Power Hybrid" Study kasus: Di pabrik kertas PT. Fajar Paper,Tbk

Oleh:

Nama : ANTONIUS SIMANGUNSONG

NIM : 2305190009

Progran Study : Magister Teknik Elektro

Peminatan : Energi Terbarukan

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam sidang Tesis, guna mencapai gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia (UKI).

Jakarta, 06 Juni 2026

Menyetujui

Pembimbing I	**Pembimbing II**
Dr. Rismen Sinambela, S.T., M.T., IPM.	**Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph**
NIDN:0137116903	NIDN : 32704625
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro	Direktur Pascasarjana UKI
Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph	**Prof. Dr. dr. Bernadetha Nadeak, M. Pd., P. A**
NIDN : 191633/32704625	NIP/NIDN: 001473/ 0320116402

UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TESIS

Pada 06 Juni 2026 telah diselanggarakan Sidang Tesis untuk memenuhi Sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, atas nama:

Nama : ANTONIUS SIMANGUNSONG

NIM : 2305190009

Progran Study : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Program Pascasarjana

Termasuk ujian TESIS yang berjudul "EVALUASI EFEKTIFITAS MITIGASI TERHADAP IMPLEMENTASI PMS DAN IS-LIMITER DALAM MENGELIMINASI POTENSI BLACKOUT PADA SISTEM CAPTIVE POWER HYBRID"
STUDY KASUS: DI PABRIK KERTAS PT. FAJAR PAPER,Tbk

Oleh tim penguji yang terdiri dari :

	Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda Tangan
1.	Dr. Rismen Sinambela, S.T., M.T., IPM	Sebagai Ketua	.....
2.	Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., PhD	Sebagai Anggota	.....
3.	Dr.Ichsan, ST, BSc (Hons), Msc	Sebagai Anggota	.....

Jakarta, 13 Agustus 2026

Antonius Simangunsong

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS

Saya Sebagai mahasiswa Universitas Kristen Indonesia, yang bertanda tangan dibawah:

Nama	: Antonius Simangunsong
NIM	: 2305190009
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Fakultas	: Program Pascasarjana
Jenis Tugas Akhir	: TESIS
Judul	: EVALUASI EFEKTIVITAS MITIGASI TERHADAP IMPLEMENTASI *PMS* DAN *IS-LIMITER* DALAM MENGELIMINASI POTENSI BLACKOUT PADA SISTEM CAPTIVE POWER HYBRID: Studi kasus di PT. FAJAR PAPER, TBK

Menyatakan bahwa:

1. TESIS tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipubliksaikan Atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun;
2. TESIS tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan di cantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Non-eksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Tesis saya, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih hak cipta.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan intelektual atau peraturan perundangan-undangan Republik Indonesia lainnya dan ntegritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Jakarta, 06 juni 2026



Antonius Simangunsong
NIM: 2305190009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kuasa-Nya yang telah memberikan anugerah kesehatan, kesempatan dalam waktu yang sangat padat, dan pemikiran yang penuh dengan inspirasi sepanjang penulis mengolah dan menganalisa hal-hal baru sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **"Evaluasi Efektivitas Mitigasi Terhadap Implementasi *PMS* dan *Is-Limiter* dalam Mengeliminasi Potensi Blackout pada Sistem Pembangkit Captive Power Hybrid"** dengan melakukan studi kasus di perusahaan kertas packaging **PT. Fajar Paper, Tbk**.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tesis pada Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia ini, penulis telah berusaha keras untuk keberhasilan penelitian ini. Penulis berharap tesis ini berguna bagi dunia industri maupun akademisi dalam memberikan informasi mengenai strategi mitigasi gangguan sistem distribusi kelistrikan dan Pembangkitan dalam peningkatan keandalan sistem pembangkitan mode *Captive Power Hybrid*.
Akhirnya, penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyelesaian tesis ini. Secara khusus, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak DR. Rismen Sinambela, ST, MT, PM selaku Dosen Pembimbing 1.
2. Bapak Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D selaku Dosen Pembimbing 2.
3. Pihak manajemen dan staff PT. Fajar Paper, Tbk yang telah membantu dalam penyediaan data dan lokasi penelitian.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, saran beserta kritikan yang membangun sangat diharapkan. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Jakarta, 06 Juni 2026
Antonius Simangunsong

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS i
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TESIS ii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TESIS iii
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
ABSTRAK xi
ABSTRACT xii

BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 A Gambaran Umum Perusahaan 1
1.1 B Lingkungan Perusahaan (*Organizational Enviroment*) 1
1.2 Latar Belakang Masalah *(Research Backgroud))* 2
1.2.1 *Historical blackout* sebelum Implementasi Mitigasi *PMS dan Is-Limiter* periode tahun 2014 sampai 2019 4
1.2.2 *Historical blackout* setelah Implementasi sistem *PMS dan Is-Limiter* periode 2021 sampai medio tahun 2026 6
1.2.3 Jaringan Distribusi Titik Sambungan Supply Sistem internal & External 11
1.3 Rumusan Masalah 13
1.4 Tujuan Penelitian 14
1.5 Batasan Penelitian 15
1.6 Manfaat Penelitian 15
Bagi Perusahaan (PT. Fajar Paper, Tbk): 15

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 16
2.1 Sistem Distribusi Energy Listrik di Sektor industrial 16
2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik 18

2.3 Tipe Gangguan yang sering terjadi dalam Power Distribusi Sistem 18
2.5 Operasional Pembangkit Jenis Captive Power Plant 22
2.6 Perencanaan Mitigasi terhadap Kondisi *Blackout* Berulang 23
2.7 Penelitian Yang Relevan Dengan Studi Kasus 24
2.7.1 Tinjauan Pustaka dengan 5 Literatur Jurnal: 24
2.7.2 Identifikasi Gap dari Tinjauan Pustaka: 30

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 32
3.1 Rancangan Penelitian 32
3.2 Tempat Penelitian 33
3.3 Sumber Data 33
3.3.1 Teknik Pengumpulan Data Primer 34
3.3.2 Teknik Pengumpulan Data sekunder 34
3.4 Tahapan Penelitian 37
3.5 Level Hubung-singkat Dalam Jaringan Distribusi Utama Sistem 37
3.5.1.1 Spesifikasi Grid interkoneksi 150kV 39
3.5.1.2 Spesifikasi Teknis Generator 39
3.5.1.3 Switchgear Data 39
3.5.2 Load Flow (LF) dalam Jaringan Mode Simulasi ETAP 40
3.5.3 Uji Arus Gangguan Pada Saluran Penghantar dan Perangkat Utama 46
3.5.4 Data Pemodelan Pada Beban Induktif Kapasitas Besar 47
3.5.5 Arus Gangguan Transformator & Penghantar Utama (Main Feeder) Dalam Pemodelan ETAP 48
3.6 Teknik Analisis Data 50
3.7 Flowchart tahapan Penelitian. 50

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 51

4.1 Analisa Data Numerik Historis Blackout Sebelum dan Sesudah Implementasi *PMS & Is-Limiter* 51
4.1.1 Data Numerik Arus hubung singkat Kondisi Blackout Sesudah Implementasi *PMS* dan *Is-Limiter* 56
4.1.2 Tren & Data Historis Respon Tegangan, Frekuensi dan Relay Proteksi Saat Menerima Arus gangguan Saat Implementasi *PMS & Is-Limiter* 57
4.1.3 Tren & Data Historis Respon Peralatan Generation & Kestabilangan Sistem Saat Menerima Arus gangguan dalam Integrasi *PMS* dan *Is-Limiter* 58
4.1.4 Perbandingan Kinerja *PMS* vs *UFR* dalam menjaga Kestabilangan Sistem Saat Merespon Arus Gangguan 60
4.2 Deskripsi Sistem Studi dan Pemodelan 62
4.3 Studi Kasus Arus gangguan Short Circuit dalam Pemodelan ETAP 64
4.3.1 Basis Pengujian Dalam Model Simulasi ETAP 68
4.4 Analisis Kestabilan Sistem dan Akar Masalah Terjadinya Blackout 68
4.5 Analisa Efektivitas Proteksi Sistem Terintegrasi *PMS dan Is-Limiter* 70
4.5.1 Analisa Data Gangguan Yang Terdeteksi 74
4.5.2 Analisa Vektor Fasa (Phasor Diagram) 74
4.5.3 Perhitungan Arus Hubungsingkat Fasa-Fasa 75
4.5.4 Analisa Arus Gangguan Melalui Kurva TCC Relay O/C 76
4.5.5 Evaluasi Efektifitas kinerja Relay Proteksi Non-Directional 77
4.6 Hasil Pengembangan Untuk Perbaikan Kordinasi dan Waktu Respon 77
4.7 Perbandingan Kinerja Sistem Sebelum dan Sesudah Implementasi *PMS* dan *Is-Limiter* 77
4.8 Diskusi Hasil dan Identifikasi Batasan Sistem 78

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 80
5.1 Kesimpulan 80
5.2 Saran 81
DAFTAR PUSTAKA 82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1_1 SLD Grid 150kV PLN External Supply to PT. Fajar Paper 11
Gambar 1_2 SLD Existing Power Generating & Line Distribusi 12
Gambar 3_1 Existing Level Short-Circuit Grid Distribusi 20kV sebelum Mitigasi 38
Gambar 3_2 SLD Main Distribusi PT. Fajar Paper 40
Gambar 3_3 Main Single Line Simulation in ETAP for Result of LF & SC Level System 41
Gambar 3_4 Alur Penelitian (Flowchart) 50
Gambar 4_1 Trend Durasi tiap Peristiwa Blackout Setelah Implementasi 52
Gambar 4_2 Trend Durasi Setiap Peristiwa Blackout 55
Gambar 4_3 Trend Perbandingan Penurunan waktu Downtime Blackout 55
Gambar 4_4 Level Short-Circuit Setiap Feeder 56
Gambar 4_5 Trend Tegangan & Frekuensi Sistem 20kV 57
Gambar 4_6 Trend Respon Time Relay Proteksi 58
Gambar 4_7 Proses Recovery Sistem Saat Salah Satu Unit Keluar Sistem 59
Gambar 4_8 Diagram Simulasi Menjaga Sistem Stabil saat Gangguan 59
Gambar 4_9 Perbandingan Performance PMS vs Under Frequency Relay (UFR) 62
Gambar 4_10 Historical Data Arus Gangguan Pada Perangkat Proteksi Relay External Panel Incoming 20kV (A01) 72
Gambar 4_11 Data Arus Gangguan Dalam Bentuk Kurva & Vektor 73
Gambar 4_12 Kurva Time Current Characteristic (TCC) 76

DAFTAR TABEL

Tabel 3_1 Standar nilai Kordinasi interval Waktu Relay 36
Tabel 3_2 Time Line Tahapan Penelitian 37
Tabel 3_3 Level Grid 39
Tabel 3_4 Spesifikasi Unit Generator 39
Tabel 3_5 Spesifikasi Level Panel Distribusi Switch Gear (SWGR) 39
Tabel 3_6 Nilai Load Flow Kinerja Operasional Hasil Simulasi ETAP 42
Tabel 3_7 Nilai Load Flow Pembebanan Peralatan dalam Jaringan Distribusi 42
Tabel 3_8 Nilai Load Flow Cable Distribution 43
Tabel 3_9 Maximum Load Flow Main Equipment 45
Tabel 3_10 Nilai Level Arus Gangguan Pada Penghantar Utama 46
Tabel 3_11 Beban Induktif Dengan Potensi nilai Arus Gangguan 48
Tabel 3_12 Nilai Potensi Arus Gangguan Pada Transformer 48
Tabel 4_1 Blackout & Durasi Downtime Selama Periode 2021-2026 Setelah Mitigasi .. 51
Tabel 4_2 Blackout & Durasi Downtime Selama Periode 2014-2019 Sebelum Mitigasi 53
Tabel 4_3 Trend Durasi Setiap Peristiwa Blackout Sebelum Masa Mitigasi 54
Tabel 4_4 Tabel Kuantitatif Perbandingan sebelum & Setelah Implementasi Mitigasi ... 54
Tabel 4_5 Tabel nilai Arus Gangguan Hubung Singkat sebelum Mitigasi 56
Tabel 4_6 Nilai Tegangan & Frekuensi Saat Sistem Menerima gangguan 57
Tabel 4_7 Nilai Respon Time Relay Saat Menerima Gangguan 57
Tabel 4_8 Kestabilan Peralatan Sistem Saat Gangguan 58
Tabel 4_9 Deskripsi Komponen Block Diagram Simulasi Menjaga Kestabilan Sistem .. 60
Tabel 4_10 Perbandingan Kinerja PMS VS UFR 61
Tabel 4_11 Perbandingan Performance PMS vs Under Frequency Relay (UFR) pada Sistem Distribusi 20 kV 62
Tabel 4_12 Scenario Short-Circuit Studi Cases 64
Tabel 4_13 Hasil Studi Case 1-Normal 65
Tabel 4_14 Hasil Studi Case-2-Normal dengan 3Is-Limiter status Closed 66

ABSTRAK

Sistem kelistrikan di bidang industrial dengan konfigurasi *Hybrid Captive Power* sering menghadapi kendala stabilitas berupa terjadinya pemadaman total *(blackout)* akibat terjadinya gangguan hubung singkat yang berasal dari *internal* pembangkitan maupun terjadinya gangguan *Voltage dip* yang sering datang dari sumber *eksternal*. PT. Fajar Paper, Tbk merupakan salah satu industri yang mengalami fenomena tersebut meskipun telah menerapkan sistem mitigasi pemantauan dan perangkat proteksi yang kemampuan respon terhadap signal cukup baik dibandingkan perangkat terdahulu. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik kestabilan sistem serta mengevaluasi efektivitas strategi mitigasi yang digunakan saat ini seperti menggunakan *Power Management System* (*PMS*) dan perangkat *Is-Limiter* dalam upaya dapat mengeliminasi kondisi potensi terjadinya *blackout yang* berulang.

Metodologi penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui pemodelan sistem jaringan *existing*. Data primer dan sekunder mencakup spesifikasi tiga unit generator (GT1, GT2, GT3), parameter perangkat pada jaringan 150 kV, serta data historis gangguan (*disturbance record*). Alat analisis utama yang digunakan adalah perangkat lunak ETAP untuk mensimulasikan kondisi *load flow*, *short circuit*, dan *transient stability* dengan melakukan simulasi 9 skenario operasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Is-Limiter secara signifikan dapat mereduksi arus gangguan puncak dari 30 kA menjadi turun direntang 12 kA – 15 kA, Rentang penurunan nilai arus hubung singkat tersebut selama dalam satu siklus waktu akan menghasilkan besarnya energi gangguan (I^2 x t) yang nilai prosentasi dapat mencapai lebih dari 70%. Pada aspek kestabilan transien, penggunaan kombinasi PMS dan Is-Limiter berhasil memperbaiki profil tegangan dari di bawah 0,6 pu menjadi di atas 0,8 pu, serta meredam deviasi frekuensi dari -1,2 Hz menjadi ±0,4 Hz. Algoritma program *fast load shedding* pada *Power Management System (PMS)* terbukti responsif dengan waktu reaksi kurang dari 80 ms setelah arus gangguan hubung singkat terdeteksi.

Berdasarkan hasil penelitian, integrasi PMS dan Is-Limiter secara efektif mampu mengeliminasi potensi *total blackout* dan menjaga sinkronisasi unit pembangkitan pada sistem *hybrid captive power*. Sinergi antara pembatasan arus pada fase *sub-transien* oleh Is-Limiter dan manajemen beban adaptif oleh PMS merupakan strategi paling optimal untuk menjamin kontinuitas operasional industri.

Kata Kunci: *Blackout*, *Hybrid Captive Power*, *Is-Limiter*, *Power Management System*, *ETAP*.

ABSTRACT

Industrial electrical systems with hybrid captive power configurations often face stability constraints in the form of total blackouts due to came from internal short-circuit interference or came from external voltage dips. PT. Fajar Paper, Tbk is one of the industries that experiences this phenomenon even though it has implemented a monitoring and protection system. This study aims to examine the characteristics of system stability and evaluate the effectiveness of mitigation strategies using Power Management System (PMS) and Is-Limiter devices in eliminating potential blackouts.

The research methodology used is a quantitative approach through modeling of existing network systems. Primary and secondary data include the specifications of three generator units (GT1, GT2, GT3), device parameters on the 150 kV network, and disturbance record data. The main analysis tool used is ETAP software to simulate load flow, short circuit, and transient stability conditions by simulating 9 operating scenarios.

The results of the study show that the implementation of Is-Limiter can significantly reduce the peak interference current from 30 kA to a decrease in the range of 12 kA – 15 kA, The range of decreasing the value of the short-circuit current during one time cycle will result in a large amount of interference energy (I2 x t) whose percentage value can reach more than 70%. In terms of transient stability, the use of a combination of PMS and Is-Limiter successfully improved the voltage profile from below 0.6 pu to above 0.8 pu, as well as reduced the frequency deviation from -1.2 Hz to ±0.4 Hz. The fast load shedding program algorithm on the Power Management System (PMS) proved to be responsive with a reaction time of less than 80 ms after a short-circuit interference current was detected.

Based on the results of the study, the integration of PMS and Is-Limiter was able to effectively eliminate the potential for total blackout and maintain the synchronization of the generation unit in the hybrid captive power system. The synergy between current limiting in the sub-transient phase by Is-Limiter and adaptive load management by PMS is the most optimal strategy to ensure the continuity of industrial operations.

Keywords: Blackout, Hybrid Captive Power, is-Limiter, Power Management System, ETAP.