



Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI – ENERGI LISTRIK

**ANALISIS PENERAPAN *STATIC SYNCHRONOUS
COMPENSATOR* (STATCOM) PADA SALURAN
TRANSMISI 150 KV BALI**

Achmad Bashori Kurniawan
NIM 2012013

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Februari 2024



Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI – ENERGI LISTRIK

**ANALISIS PENERAPAN *STATIC SYNCHRONOUS*
COMPENSATOR (STATCOM) PADA SALURAN TRANSMISI
150 KV BALI**

Achmad Bashori Kurniawan
NIM 2012013

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Februari, 2024

**LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PENERAPAN STATIC SYNCHRONOUS
COMPENSATOR (STATCOM) PADA SALURAN
TRANSMISI 150 KV BALI**

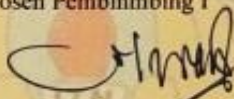
SKRIPSI

**ACHMAD BASHORI KURNIAWAN
NIM 2012013**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi Teknik Elektro S-1
Peminatan Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
NIP. 19610503 199202 1 001

Plt. Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr. Inggilla Supriya Faradisa, ST., MT.,
NIP. P. 1030000365

**MALANG
Februari, 2024**



PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I J. Bendungan Sigur-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II J. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Achmad Bashori Kurniawan
NIM : 2012013
Program Studi : Teknik Energi Listrik S-1
Peminatan : Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2023-2024
Judul Skripsi : Analisis Penerapan Static Synchronous
Compensator (STATCOM) Pada Saluran
Transmisi 150 kV Bali

Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu
(S-1) pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 7 Februari 2024
Nilai : **81,20**

Panitia Ujian Skripsi

Majelis Ketua Penguji

Dr. Irmalina Suryani Faradisa, ST., MT.

NIP. P. 1030000365

Sekretaris Majelis Penguji

Sotvohadi, ST., MT.

NIP. Y. 1039700309

Anggota Penguji

Dosen Penguji I

Dr. Irrige Budi Sulistiawati, ST., MT.

NIP. 19770615 200501 2 002

Dosen Penguji II

Prof. Dr. Eng. Ir Abraham Lomi, MSEE

NIP. Y. 1018500108

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa oleh anugrah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia yang besar, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bentuk pembelajaran. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Karena itu, tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT Selaku Dosen Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang serta Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa selalu membimbing dengan sepenuh penuh hati.
2. Ibu Dr. Irmalina Suryani Faradisa, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
3. Subakri (Ayah) & Sukiswati (Ibu) yang senantiasa memberikan doa dan memberikan dukungan baik berupa moril dan materil.
4. Bapak Sotyohadi, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
5. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro S1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
6. Khususnya kepada sahabat-sahabat saya yaitu Cahyo, Ilham, Agung Rai, Yohanes, Melinda Murdian Karvandi, dan Laus yang telah membantu dan mendorong agar saya menyelesaikan skripsi ini hingga selesai.
7. Teman – teman Teknik Elektro S-1 ITN Malang yang selalu mendukung satu sama lain.

Penulis menyadari tanpa bantuan dan dukungan dari pihak yang terkait, penyelesaian skripsi ini tidak dapat tercapai dengan baik, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perkembangan skripsi ini serta bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Achmad Bashori Kurniawan
NIM : 2012013
Jurusan / Peminatan : Teknik Energi Listrik S-1
ID KTP / Paspor : 3524042605010001
Alamat : Dsn. Kedung, Ds. Kedungmentawar, Kec.
Ngimbang, Kab. Lamongan.
Judul Skripsi : Analisis Penerapan *Static Synchronous
Compensator* (STATCOM) Pada Saluran
Transmisi 150 kV Bali

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Februari 2024

mbuat pernyataan



(Achmad Bashori Kurniawan)

2012013

ABSTRAK

ANALISIS PENERAPAN STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV BALI

ACHMAD BASHORI KURNIAWAN

Dosen Pembimbing I: Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT

Abstract—Ketidakstabilan tegangan statis, terutama terkait dengan penurunan daya aktif (MW) maupun daya reaktif (Mvar) yang merupakan salah satu permasalahan utama dalam sistem. Saat sistem mendekati titik pembebanan maksimum atau titik gangguan tegangan, dan panjang saluran transmisi, maka kehilangan daya aktif dan reaktif dapat meningkat dengan cepat. Salah satu metode alternatif untuk meningkatkan kinerja sistem adalah dengan memasang peralatan kendali modern yang memiliki kualitas, efektivitas, dan efisiensi tinggi yaitu peralatan *Flexible Alternating Current Transmission System* (FACTS). Peralatan ini mampu merancang, mengendalikan dan mengoperasikan sistem dengan melibatkan komponen *solid state* secara akurat (*precisely*) dan fleksibel. Dalam penelitian ini salah satu peralatan FACTS yaitu *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) dipasang pada jaringan tenaga listrik untuk meningkatkan kinerja sistem. Peralatan STATCOM yang dapat mengontrol tegangan dan aliran daya pada sistem dengan menempatkannya pada lokasi dan kapasitas yang tepat dengan menggunakan metode studi stabilitas tegangan statis yaitu *Continuation Power Flow* (CPF). CPF juga dapat menunjukkan peningkatan stabilitas statis tegangan setelah pemasangan STATCOM. Efektivitas metode yang diusulkan telah disimulasikan pada sistem kelistrikan Bali 16-bus untuk menyelidiki peningkatan kinerja dan kapasitas pembebanan sistem. Dari simulasi yang dilakukan dengan memasang pengendali modern tersebut di lokasi terbaik yaitu pada bus 02 ASARI dengan kapasitas STATCOM 45 Mvar yaitu sebesar $\lambda_{\max} = 1,4747$ p.u. maka peningkatan margin daya tahan sistem hampir mencapai 0,04 % dibandingkan kondisi *basecase* yaitu sebesar $\lambda_{\max} = 1.4741$ p.u. dengan profile tegangan meningkat dan rugi-rugi saluran tereduksi.

Kata Kunci: CPF, FACTS, STATCOM, sistem kelistrikan Bali, stabilitas tegangan

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR (STATCOM) ON BALI'S 150 KV TRANSMISSION LINES

ACHMAD BASHORI KURNIAWAN

Dosen Pembimbing I: Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT

Abstract—Static voltage instability, especially related to a decrease in active power (MW) and reactive power (Mvar), is one of the main problems in the system. As the system approaches the maximum load point or voltage fault point, and the length of the transmission line, the active and reactive power losses increase rapidly. One alternative method to improve system performance is to install modern control equipment that has high quality, effectiveness and efficiency, namely Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) device. This device is capable of designing, controlling and operating systems involving solid state components accurately and flexibly. In this research, one of the FACTS equipment, namely the Static Synchronous Compensator (STATCOM), was installed on the electric power network to improve the system performance. STATCOM device can control the voltage and power flow in the system by placing it in the right location and capacity using the static voltage stability study method, namely Continuation Power Flow (CPF). CPF may also demonstrate increased voltage static stability after STATCOM installation. The effectiveness of the proposed method has been simulated on a 16-bus Bali electrical system to investigate the performance and load capacity improvements of the system. From the simulation carried out by installing the modern controller in the best location, namely on bus 02 ASARI with a STATCOM capacity of 45 MVar, namely $\lambda_{max} = 1.4747$ p.u. then the increase in the system durability margin is almost 0.04% compared to the base case condition, namely $\lambda_{max} = 1.4741$ p.u. with an increased voltage profile and reduced line losses.

Keywords: Bali power system, CPF, FACTS STATCOM, voltage stability,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Pembangkit	5
2.1.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik	5
2.1.3 Sistem Distribusi	9
2.1.4 Beban	10
2.2 Rugi-Rugi Sistem Tenaga Listrik	10
2.2.1 Rugi-Rugi Saluran	12
2.2.2 <i>Voltage Drop</i>	14
2.3 Studi Aliran Daya (<i>Load Flow Analysis</i>)	15
2.3.1 <i>Slack Bus</i> (Bus Referensi)	15
2.3.2 <i>Voltage Controller Bus</i> (<i>Bus Generator</i>)	16

2.3.3 <i>Load Bus</i> (Bus Beban).....	16
2.3.4 Daya Listrik.....	17
2.3.5 <i>Toolbox</i> PSAT.....	18
2.4 Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik.....	19
2.4.1 <i>Continuation Power Flow</i> (CPF).....	20
2.4.2 Kurva PV.....	21
2.4.3 <i>Voltage Collapse</i>	22
2.5 <i>Flaxible Alternating Current Transmission System</i> (FACTS) <i>Devices</i>	23
2.5.1 <i>Static Synchronous Compensator</i> (STATCOM)	24
2.5.2 Kontruksi STATCOM.....	24
2.5.3 <i>Prinsip Kerja STATCOM</i> (STATCOM).....	25
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Alur Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 <i>Single Line Diagram</i> PT PLN (Persero) UP2B Bali 150 kV	34
4.1.1 Data Penelitian	36
4.1.2 Data Beban	36
4.1.3 Data Pembangkit	37
4.1.4 Data Saluran	38
4.1.5 Data Kapasitor.....	40
4.2 Pemodelan SLD dan Input Data Sistem Pada Subsystem Bali Dengan Menggunakan PSAT 2.1.11	41
4.2.1 Input Data pembangkit	41
4.2.2 Input Data Beban.....	42
4.2.3 Input Data Saluran.....	43

4.2.4 Input Data Kapasitor	44
4.2.5 Input Data STATCOM.....	45
4.3 Hasil Simulasi Menggunakan PSAT 2.1.11.	46
4.3.1 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Pada Kondisi <i>Base Case</i>	46
4.3.2 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Setelah Pemasangan STATCOM Case 1.....	47
4.3.3 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Setelah Pemasangan STATCOM <i>Case 2</i>	49
4.3.4 Hasil Simulasi Profil Tegangan dan CPF Setelah Pemasangan STATCOM <i>Case 3</i>	50
4.3.5 Perbandingan Nilai kurva PV Pada <i>Setiap Case</i>	52
4.3.6 Perbandingan Nilai Profil Tegangan Pada <i>Setiap Case</i>	53
4.3.7 Perbandingan Nilai Rugi-Rugi Sistem Pada <i>Setiap</i> <i>Case</i>	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pembagian Zona Tegangan Pada Transmisi	6
Gambar 2. 2	Rangkaian Ekuivalen Saluran Pendek	8
Gambar 2. 3	Contoh Saluran Sederhana	13
Gambar 2. 4	Rangkaian saluran sederhana	14
Gambar 2. 5	Urutan perhitungan analisa continuation power flow	21
Gambar 2. 6	Karakteristik Kurva PV	22
Gambar 2. 7	Blok Diagram Pada FACTS Controller.....	23
Gambar 2. 8	Struktur dasar STATCOM.....	25
Gambar 2. 9	Karakteristik arus/tegangan pada STATCOM.....	26
Gambar 2. 10	Prinsip kerja pada sistem STATCOM	27
Gambar 3. 1	Flow Chart Penelitian.....	31
Gambar 4. 1	Single Line Diagram PT PLN (Persero) UP2B Bali	34
Gambar 4. 2	Single Line Diagram Sistem Kelistrikan Bali 16-Bus Pada PSAT 2.1.11	35
Gambar 4. 3	Tampilan Pembangkit atau Generator pada PSAT	41
Gambar 4. 4	Tampilan Input Data Pembangkit.....	41
Gambar 4. 5	Tampilan Beban pada PSAT.....	42
Gambar 4. 6	Tampilan Input Data Beban	42
Gambar 4. 7	Tampilan Saluran Pada PSAT	43
Gambar 4. 8	Tampilan Input Data Saluran	43
Gambar 4. 9	Tampilan Kapasitor pada PSAT	44
Gambar 4. 10	Tampilan Input Data Kapasitor	44
Gambar 4. 11	Tampilan STATCOM Pada PSAT	45
Gambar 4. 12	Tampilan Input Data STATCOM	45
Gambar 4. 13	Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Kondisi Base Case	46

Gambar 4. 14	Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Kondisi Base Case.....	47
Gambar 4. 15	Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Dengan STATCOM Pada Bus 02.....	48
Gambar 4. 16	Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-Bus Dengan STATCOM Pada Bus 02.....	48
Gambar 4. 17	Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Dengan STATCOM Pada Bus 07.....	49
Gambar 4. 18	Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-Bus Dengan STATCOM Pada Bus 07.....	50
Gambar 4. 19	Profile Tegangan Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-bus Dengan STATCOM Pada Bus 12.....	51
Gambar 4. 20	Kurva PV Untuk Sistem Uji Kelistrikan Bali 16-Bus Dengan STATCOM Pada Bus 12.....	51
Gambar 4. 21	Gambar Perbandingan λ_{maks} Sebelum dan Sesudah Pemasangan STATCOM	52
Gambar 4. 22	Grafik Peerbandingan Profil Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan STATCOM Pada Bus 02.....	54
Gambar 4. 23	Grafik Peerbandingan Profil Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan STATCOM Pada Bus 07.....	55
Gambar 4. 24	Grafik Peerbandingan Profil Tegangan Sebelum Dan Sesudah Pemasangan STATCOM Pada Bus 12.....	56
Gambar 4. 25	Grafik Perbandingan Case 1-3	56
Gambar 4. 26	Grafik Perbandingan Total Daya Aktif dan Reaktif.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan PSAT dengan toolbox berbasis MATLAB Lainnya	18
Tabel 4. 1 Data Beban Subsistem Bali 150 kV	37
Tabel 4. 2 Data Pembangkit Bali 150 kV	37
Tabel 4. 3 Data Pembangkit Bali 150 kV Lanjutan	38
Tabel 4. 4 Data Saluran Subsistem Bali 150kV	38
Tabel 4. 5 Data Saluran Subsistem Bali 150kV Lanjutan.....	39
Tabel 4. 6 Data Kapasitor Subsistem Bali 150kV.....	40
Tabel 4. 7 λ_{max} Kondisi Base Case Dan Setelah Pemasangan STATCOM.....	52
Tabel 4. 8 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan STATCOM pada Bus 02 ASARI.....	53
Tabel 4. 9 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan STATCOM pada Bus 07 NEGARA	54
Tabel 4. 10 Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan STATCOM pada Bus 12 PYNGN	55
Tabel 4. 11 Rugi-Rugi Sistem Sebelum dan Sesudah Menggunakan STATCOM pada Bus 02 Asari.....	57
Tabel 4. 12 Rugi-Rugi Sistem Sebelum dan Sesudah Menggunakan STATCOM pada Bus 07 Negara.....	58
Tabel 4. 13 Rugi-Rugi Sistem Sebelum dan Sesudah Menggunakan STATCOM pada Bus 12 Pyngn.....	59