

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	11
2.2.1 Sistem Transmisi Tenaga Listrik	11
2.2.2 Saluran Transmisi	11
2.2.3 High Voltage Direct Current (HVDC)	12
2.2.4 Konverter Daya	14
2.2.5 VSC-HVDC	15
2.2.6 Teknik Kendali VSC-HVDC	18
2.2.7 <i>Dispatch Controls</i>	19
2.2.7.1 <i>Upper Level Control</i>	20
2.2.7.2 <i>Lower Level Controls</i>	24
2.2.7.3 Teknik Modulasi	25
2.2.7.4 Pengatur Keseimbangan Tegangan Kapasitor	28
2.2.7.5 Kontrol Arus Sirkulasi	29
2.2.8 Analisis Dinamis	30
BAB III Metode Penelitian	32
3.1 Alat Tugas akhir	32
3.1.1 <i>Lenovo V14-ARE Laptop</i>	32



3.1.2	<i>Typhoon HIL Control Center 2022.3</i>	32
3.2	Metode yang Digunakan	32
3.3	Alur Tugas Akhir	33
3.4	Model dan Simulasi HVDC	34
3.4.1	<i>Test System HVDC pada Typhoon HIL 2022</i>	34
3.4.1.1	<i>Sisi Rectifier</i>	37
3.4.1.2	Saluran Transmisi	40
3.4.1.3	<i>Inverter Side</i>	42
3.4.2	Control System HVDC	43
3.4.2.1	Rectifier Side	43
3.4.2.2	<i>Inverter Side</i>	50
3.4.3	Simulasi Sistem MMC-HVDC	54
3.4.3.1	Penambahan Beban	54
3.4.3.2	Uji Gangguan	54
BAB IV Hasil dan Pembahasan		56
4.1	Pengujian Perubahan Beban 500 MVA menjadi 1000 MVA pada <i>Inverter</i> .	56
4.1.1	Perubahan pada daya aktif	56
4.1.2	Perubahan Daya Reaktif	59
4.1.3	Perubahan Tegangan AC	60
4.1.4	Perubahan Tegangan DC	62
4.2	Pengujian <i>Fault Component</i>	62
4.2.1	Gangguan 1 fasa <i>rectifier</i>	63
4.2.1.1	Daya aktif	63
4.2.1.2	Daya Reaktif	63
4.2.1.3	Tegangan 3 Fasa AC	64
4.2.1.4	Tegangan searah DC	65
4.2.2	Gangguan 3 Fasa <i>Rectifier</i>	66
4.2.2.1	Daya Aktif	66
4.2.2.2	Daya Reaktif	67
4.2.2.3	Tegangan 3 Fasa AC	68
4.2.2.4	Tegangan Searah DC	69
4.2.3	Gangguan 1 Fasa <i>Inverter</i>	70
4.2.3.1	Daya Aktif	70
4.2.3.2	Daya Reaktif	71
4.2.3.3	Tegangan 3 Fasa AC	72
4.2.3.4	Tegangan searah DC	73
4.2.4	Gangguan 3 Fasa <i>inverter</i>	74
4.2.4.1	Daya Aktif	74
4.2.4.2	Daya Reaktif	75



4.2.4.3	Tegangan 3 Fasa AC	76
4.2.4.4	Tegangan Searah DC	77
BAB V	Kesimpulan dan Saran	79
5.1	Kesimpulan	79
5.1.1	Penambahan Beban <i>inverter</i>	79
5.1.2	<i>Fault component rectifier</i>	79
5.1.3	<i>Fault component inverter</i>	80
5.2	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	L-1
L.1	Python Code	L-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan karakteristik HVAC & HVDC	12
Tabel 2.2	Perbandingan konverter CSC dan VSC	15
Tabel 3.1	Nilai parameter sumber tegangan tiga fasa.....	37
Tabel 3.2	Nilai impedansi jaringan	37
Tabel 3.3	Nilai parameter MMC <i>leg</i> sisi <i>rectifier</i>	39
Tabel 3.4	Nilai parameter <i>transmission line</i>	41
Tabel 3.5	Nilai Parameter MMC <i>leg</i> sisi <i>inverter</i>	42
Tabel 3.6	Nilai parameter beban 3 fasa.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses penyaluran listrik	11
Gambar 2.2	Sistem Transmisi HVDC	13
Gambar 2.3	Tipe sambungan konfigurasi HVDC (a) <i>monopolar</i> (b) <i>bipolar</i> ...	14
Gambar 2.4	Tipe konfigurasi konverter: CSC dan VSC	14
Gambar 2.5	Skema Desain VSC-HVDC	16
Gambar 2.6	Skema <i>Half-bridge & full-bridge</i>	16
Gambar 2.7	Blok Diagram two level VSC-HVDC.....	16
Gambar 2.8	Topologi VSC (a) VSC dua level (b) VSC tiga level.....	17
Gambar 2.9	Topologi MMC-HVDC	18
Gambar 2.10	Struktur kendali sistem transmisi VSC-HVDC.....	19
Gambar 2.11	Diagram <i>Dispatch control</i>	20
Gambar 2.12	Diagram <i>Upper level control</i>	21
Gambar 2.13	Konfigurasi <i>non-islanded</i>	22
Gambar 2.14	Konfigurasi <i>Islanded controls</i>	23
Gambar 2.15	Konfigurasi <i>AC droop control</i>	24
Gambar 2.16	Diagram <i>Lower level control</i>	25
Gambar 2.17	NLC sudut	26
Gambar 2.18	NLC jumlah submodul	26
Gambar 2.19	Perbandingan NLC.....	27
Gambar 2.20	PD-PWM	27
Gambar 2.21	PS-PWM	28
Gambar 2.22	Penyeimbang Kapasitor <i>PI</i>	29
Gambar 2.23	Blok diagram kontrol penekan arus	30
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	33
Gambar 3.2	Sistem HVDC(<i>rectifier</i>)	35
Gambar 3.3	Sistem HVDC(<i>inverter</i>)	36
Gambar 3.4	Sisi <i>rectifier</i>	37
Gambar 3.5	MMC <i>leg rectifier</i>	38
Gambar 3.6	Subblok MMC <i>leg</i>	39
Gambar 3.7	Subblok MMC <i>arm</i>	40
Gambar 3.8	Blok <i>switching function</i>	40
Gambar 3.9	Saluran transmisi.....	41
Gambar 3.10	Skematik sisi <i>inverter</i>	42
Gambar 3.11	MMC <i>leg inverter</i>	43
Gambar 3.12	<i>DQ axis control</i> pada sisi <i>rectifier</i>	44
Gambar 3.13	Subblok <i>DQ axis Control</i>	44
Gambar 3.14	<i>ABC to $\alpha\beta$ frame</i>	45
Gambar 3.15	Keluaran blok <i>abc to dq</i>	46
Gambar 3.16	Blok <i>phase-locked loop</i>	46
Gambar 3.17	Subblok PLL	46
Gambar 3.18	Blok power meter sisi <i>rectifier</i>	47
Gambar 3.19	Blok <i>rectifier controller</i>	48
Gambar 3.20	Subblok <i>rectifier controller</i>	48
Gambar 3.21	Blok <i>MMC control - rectifier</i>	49
Gambar 3.22	Subblok <i>MMC controller - rectifier</i>	49



Gambar 3.23	Blok <i>frequency control</i>	50
Gambar 3.24	Blok <i>abc to dq - inverter</i>	51
Gambar 3.25	Blok <i>power meter - inverter</i>	51
Gambar 3.26	Blok <i>inverter controller</i>	52
Gambar 3.27	Subblok <i>controller inverter</i>	52
Gambar 3.28	Blok <i>MMC control - inverter</i>	53
Gambar 3.29	Subblok <i>MMC control - inverter</i>	53
Gambar 3.30	Penambahan beban dari 500 MVA menjadi 1000 MVA	54
Gambar 3.31	Gangguan <i>rectifier</i>	55
Gambar 3.32	Gangguan inverter	55
Gambar 4.1	Grafik daya aktif	57
Gambar 4.2	Grafik arus <i>rectifier</i>	58
Gambar 4.3	Grafik arus <i>inverter</i>	58
Gambar 4.4	Grafik arus transmisi	59
Gambar 4.5	Grafik daya reaktif	59
Gambar 4.6	Grafik tegangan AC	60
Gambar 4.7	grafik tegangan <i>rectifier</i>	61
Gambar 4.8	Grafik tegangan inverter	61
Gambar 4.9	grafik tegangan DC	62
Gambar 4.10	Daya aktif <i>rectifier</i> gangguan 1 fasa	63
Gambar 4.11	Daya reaktif <i>rectifier</i> gangguan 1 fasa	64
Gambar 4.12	Tegangan AC <i>rectifier</i> gangguan 1 fasa.....	65
Gambar 4.13	Tegangan DC <i>rectifier</i> gangguan 1 fasa.....	66
Gambar 4.14	Daya aktif <i>rectifier</i> gangguan 3 fasa	67
Gambar 4.15	Daya reaktif <i>rectifier</i> gangguan 3 fasa	68
Gambar 4.16	Tegangan AC <i>rectifier</i> gangguan 3 fasa.....	69
Gambar 4.17	Tegangan DC <i>rectifier</i> gangguan 3 fasa.....	70
Gambar 4.18	Daya aktif <i>inverter</i> gangguan 1 fasa	71
Gambar 4.19	Daya reaktif <i>inverter</i> gangguan 1 fasa	72
Gambar 4.20	Tegangan AC <i>inverter</i> gangguan 1 fasa.....	73
Gambar 4.21	Tegangan DC <i>inverter</i> gangguan 1 fasa.....	74
Gambar 4.22	Daya aktif <i>inverter</i> gangguan 3 fasa	75
Gambar 4.23	Arus DC gangguan <i>inverter</i> 3 fasa	75
Gambar 4.24	Daya reaktif <i>inverter</i> gangguan 3 fasa	76
Gambar 4.25	Tegangan AC <i>inverter</i> gangguan 3 fasa.....	77
Gambar 4.26	Tegangan DC <i>inverter</i> gangguan 3 fasa.....	78