

ANALISIS TALIAN PENGHANTARAN KUASA  
SISTEM DWI-LITAR TIGA-FASA DAN SISTEM ENAM-FASA.

SITI AMELY BINTI JUMAAT

Laporan projek ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat  
penganugerahan ijazah Sarjana Kejuruteraan Elektrik.

Fakulti Kejuruteraan Elektrik  
Universiti Teknologi Malaysia

MAC, 2004

*Teristimewa buat...*

*Abah dan Mak tercinta, Along, Angah dan As yang dikasihii  
serta tunang tersayang, Farisal Abdullahi.*

*Terima kasih atas dorongan dan doa restu kalian.*



PTTA ALITHM  
PERPUSTAKAAN TUNJUNGAN AMINAH

## PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan ikhlas dan setinggi-tinggi terima kasih kepada Prof. Madya. Dr. Mohd Wazir Bin Mustafa selaku penyelia projek yang sentiasa memberi bimbingan dan nasihat dalam pelaksanaan dan penulisan tesis ini.

Penulis juga ingin merakamkan penghargaan kepada En. Anuar b. Abd. Wahid, Pengurus Wilayah Selatan Selenggaraan Rangkaian dan En. Ariff, Jurutera I, Johor Bahru Selatan, Tenaga Nasional Berhad di atas kerjasama yang diberikan.

Penghargaan juga ditujukan kepada Pn Norlela bt. Saihen, Juruteknik Makmal Sistem Kuasa Lanjut di atas kerjasama yang telah diberikan sepanjang tempoh projek ini dijalankan.

Penghargaan juga buat Cik Noorfazlia serta Saudara Mohd Redzuan B.Ahmad kerana kerjasama dan dorongan yang diberikan sepanjang projek ini dijalankan. Tanpa bantuan kalian adalah amat sukar untuk menyiapkan projek ini dalam tempoh yang ditetapkan.

Tidak lupa juga kepada rakan-rakan seperjuangan samada secara langsung atau tidak langsung membantu menjayakan projek ini.

## ABSTRAK

Jurutera sistem kuasa telah menimbangkan kemungkinan memperkenalkan talian penghantaran sistem enam-fasa dengan mengubah sistem dwi-litar tiga-fasa disebabkan permintaan pada masa hadapan. Talian penghantaran sistem enam-fasa mempunyai beberapa kelebihan yang unik sebagai talian penghantaran fasa tinggi. Pada keadaan normal, talian penghantaran sistem enam-fasa dapat meningkatkan keupayaan penghantaran sebanyak 73% berbanding sistem dwi-litar tiga-fasa. Pengurangan kesan korona dan penurunan medan magnet memberi kebaikan kepada persekitarannya. Penggunaan struktur pembinaan yang kecil tetapi mampu meningkatkan keupayaan ruang talian atas memberikan kelebihan kepada sistem ini. Selain mengkaji konsep asas dan ciri-ciri talian penghantaran, kajian ini lebih menumpu kepada analisis rekabentuk pengubah untuk sistem enam-fasa. Perbandingan secara kiraan sistem per unit menggunakan MATLAB dan simulasi PSCAD/EMTDC dilaksanakan untuk kedua-dua sistem. Analisis data dijalankan dalam beberapa aspek seperti nilai beza fasa, voltan, arus dan kuasa di bahagian penjanaan, talian penghantaran dan beban. Pada masa yang sama, pemilihan rekabentuk pengubah yang terbaik untuk sistem enam-fasa dilakukan.

## ABSTRACT

Power system engineers have mulled the possibility of introducing six-phase transmission line by converting three-phase double-circuit system due to high demand for power in the future. Six-phase system lines have special advantages in high phase order transmission. Under the normal condition, six-phase system can increase the transmission capacity by 37% compared to three-phase double circuit system. Reduced corona effects and lower magnetic field benefited the environment. The use of smaller structures but with more power density of right of way gives an advantage for this system. Besides looking into basic concept and features of the six-phase system, this study aims to focus on the analysis of the transformer design for six-phase system. Comparison between calculation of per unit system using MATLAB and PSCAD/EMTDC simulation were done for both systems. Analysis of data was done in various aspects such as numbers of phase, voltage, current, power of generator, power of transmission line, and power of load. In the same time, the best design of the transformer for six-phase system will be selected.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKASURAT</b>
	<b>PENGESAHAN PENYELIA</b>	
	<b>TAJUK</b>	
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xii
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xix
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xxi
<b>BAB I</b>	<b>Pengenalan</b>	1
1.1	Pengenalan	1
1.2	Objektif	2
1.3	Skop	2
1.4	Kajian Literatur	3
1.5	Susunatur Tesis	4

<b>BAB II</b>	<b>SISTEM ENAM-FASA</b>	5
2.1	Pengenalan	5
2.2	Rajah Pemfasa	6
	2.2.1 Rajah Pemfasa Sistem Tiga Fasa	6
	2.2.2 Rajah Pemfasa Sistem Enam Fasa	7
2.3	Kebaikan Talian Penghantaran Enam Fasa	10
	2.3.1 Meningkatkan Keupayaan Penghantaran	10
	2.3.2 Pemindahan Kuasa Tinggi	11
	2.3.3 Keperluan Penebat Rendah	12
	2.3.4 Kestabilan	12
	2.3.5 Kesan Korona Rendah	12
	2.3.6 Pengurangan Medan Magnet	13
	2.3.7 Meningkatkan Keupayaan Ruang Talian Atas	14
2.4	Ringkasan	15
<b>BAB III</b>	<b>PENGUBAH</b>	16
3.1	Pengenalan	16
3.2	Pengubah Fasa Tunggal	17
	3.3.1 Keadaan Tanpa Beban	17
	3.3.2 Keadaan Berbeban	20
3.3	Pengubah Tiga Fasa	22
	3.3.1 Penyambungan (Y-Y)	23
	3.3.2 Penyambungan (Y- $\Delta$ )	23
	3.3.3 Penyambungan ( $\Delta$ -Y)	24
	3.3.4 Penyambungan ( $\Delta$ - $\Delta$ )	25
3.4	Pengubah Enam Fasa	26
	3.4.1 Penyambungan Y-Y, Y-Songsangan Y	27
	3.4.2 Penyambungan Delta-Y, Delta-Songsangan Y	27
	3.4.3 Penyambungan Diametrikal	27
	3.4.4 Penyambungan Dwi-Delta	29
	3.4.5 Penyambungan Dwi-Bintang	30

3.5	Ringkasan	32
<b>BAB IV</b>	<b>REKABENTUK SISTEM ENAM FASA</b>	<b>33</b>
4.1	Pengenalan	33
4.2	Perisian PSCAD/EMTDC	33
	4.2.1 Kepentingan Simulasi	34
	4.2.2 Perisian PSCAD/EMTDC	34
4.3	Model Litar Analisa Penghantaran Kuasa	36
	4.3.1 Litar Perwakilan	36
4.4	Penggunaan MATLAB	39
	4.4.1 Penggunaan M-File Untuk Pengiraan	39
4.5	Ringkasan	39
<b>BAB V</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>40</b>
5.1	Pengenalan	40
5.2	Sistem Ujian 1	41
	5.2.1 Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa	41
	5.2.2 Sistem Enam-Fasa	49
	5.2.2.1 Pengubah Bentuk Penyambungan (Delta-Bintang, Delta-Songsangan Bintang)	51
	5.2.2.2 Pengubah Bentuk Penyambungan (Bintang-Bintang, Bintang-Songsangan Bintang)	52
	5.2.2.3 Pengubah Diametrikal, Dwi-Delta dan Dwi-Bintang	52
5.3	Sistem Ujian 2	60
	5.3.1 Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa	60
	5.3.2 Sistem Enam-Fasa	68
	5.3.2.1 Pengubah Bentuk Penyambungan (Delta-Bintang, Delta-Songsangan Bintang)	71
	5.3.2.2 Pengubah Bentuk Penyambungan (Bintang-Bintang, Bintang-Songsangan Bintang)	72
	5.3.2.3 Pengubah Bentuk Penyambungan Diametrikal	72



5.4	Sistem Tenaga Nasional Berhad (Sistem TNB)	81
5.4.1	Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa	82
5.4.2	Sistem Enam-Fasa	89
5.4.2.1	Pengubah Bentuk Penyambungan (Delta-Bintang, Delta-Songsangan Bintang)	92
5.4.2.2	Pengubah Bentuk Penyambungan (Bintang-Bintang, Bintang-Songsangan Bintang)	92
5.4.2.3	Pengubah Bentuk Penyambungan Diametrikal	94
5.4.3	Sistem Ujian Motor (Sistem Motor)	100
5.4.3.1	Sistem Dw-Litar Tiga-Fasa	101
5.4.3.2	Sistem Enam-Fasa	103
5.5	Ringkasan	108
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
6.1	Kesimpulan	109
6.2	Cadangan	111
	<b>RUJUKAN</b>	113
	<b>LAMPIRAN A-G</b>	115



## SENARAI JADUAL

No. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
1	Senarai jenis voltan untuk sistem enam-fasa	9
2	Kaitan voltan talian dengan voltan fasa untuk sistem enam-fasa	10
3	Peningkatan Kuasa Pada Julat Voltan Yang Sama	11
4	Data-data Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian 1	48
5	Data-data Kiraan Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem Ujian 1	53
6	Data-data Simulasi PSCAD/EMTDC untuk Sistem Ujian 1	59
7	Data-data Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian 2	67
8	Data-data Kiraan Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem Ujian 2	73
9	Data-data Simulasi Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem Ujian 2	80
10	Data-data Kiraan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	88
11	Data-data Kiraan Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem TNB	93
12	Senarai Data Yang Diperolehi Secara Simulasi Untuk Sistem TNB	100

## SENARAI RAJAH

No. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
	Rajah Pemfasa Untuk Sistem Tiga Fasa	7
	Rajah Pemfasa Untuk Sistem Enam Fasa	8
	Graf hingar audio untuk talian tiga fasa dan talian enam fasa	13
	Graf medan elektrik untuk talian tiga fasa dan talian enam fasa	13
	Graf medan magnet untuk sistem enam-fasa dan sistem tiga fasa	14
	Asas Rekabentuk Pengubah	17
1	Litar setara semasa tanpa beban	18
2	Litar setara semasa pengubah tidak unggul	21
3	Bentuk penyambungan pengubah tiga fasa dan litar skematik Y-Y	23
4	Bentuk penyambungan pengubah tiga fasa dan litar skematik Y- $\Delta$	24
5	Bentuk penyambungan pengubah tiga fasa dan litar skematik $\Delta$ -Y	25
6	Bentuk penyambungan pengubah tiga fasa dan litar skematik $\Delta$ - $\Delta$	26
7	Penyambungan 2 pengubah 3-fasa ke 6-fasa	
	a) Penyambungan Y-Y, Y-Songsangan Y	28
8	Penyambungan 2 pengubah 3-fasa ke 6-fasa	
	b) Penyambungan Delta-Y, Delta-Songsangan Y	28
9	Penyambungan Diametrikal	29

Litar Skematik Pengubah Disambung Dalam Bentuk Diametrikal	29
Bentuk penyambungan Dwi-Delta	30
Litar Skematik untuk penyambungan Dwi-Delta	31
Penyambungan Dwi-Bintang	31
Litar Skematik untuk penyambungan Dwi-Bintang	31
Bentuk Penyambungan Pengubah Bintang-Bintang antara Bahagian Penjanaan dan Penghantaran	37
Bentuk Penyambungan Pengubah Bintang-Bintang antara Bahagian Penghantaran dan Beban	38
Talian Tunggal Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian 1	41
Litar Setara Talian Tunggal Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian 1	42
Litar Skematik Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	45
Keputusan Simulasi Voltan Fasa di Bahagian Penjanaan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	45
Keputusan Simulasi Kuasa di Bahagian Penjanaan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	46
Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa di Bahagian Talian Penghantaran Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	46
Rajah Pemfasa Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa	47
Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian di Bahagian Talian Penghantaran Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	47
Keputusan Simulasi Voltan Fasa di Beban Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	47
Keputusan Simulasi Kuasa di Beban Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian1	48
Talian Tunggal Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem Ujian1	49
Litar Setara Talian Tunggal Sistem Enam-Fasa	

	Untuk Sistem Ujian 2	50
5.13	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian1	55
5.14	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem Ujian1	55
5.15	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian1	56
5.16	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian1	56
5.17	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Diametrikal Untuk Sistem Ujian1	56
5.18	Rajah Pemfasa Untuk Sistem Enam Fasa	57
5.19	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian1	57
5.20	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian1	57
5.21	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Diametrikal Untuk Sistem Ujian1	58
5.22	Talian Tunggal Dwi-Litar Tiga-Fasa Sistem Ujian 2	61
5.23	Litar Setara Dwi-Litar Tiga-Fasa Sistem Ujian 2	62
5.24	Litar Skematik Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Sistem Ujian 2	65
5.25	Keputusan Simulasi Voltan Fasa di Bahagian Penjanaan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian2	65
5.26	Keputusan Simulasi Kuasa di Bahagian Penjanaan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian2	66

27	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa di Bahagian Talian Penghantaran Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian2	66
28	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian di Bahagian Talian Penghantaran Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian2	66
29	Keputusan Simulasi Voltan Fasa di Beban Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian2	67
30	Keputusan Simulasi Kuasa di Beban Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Ujian2	67
31	Talian Tunggal Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem Ujian 2	69
32	Litar Setara Talian Tunggal Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem Ujian 2	69
5.33	Litar Skematik Pengubah Delta-Bintang, Delta-Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian 2	75
5.34	Litar Skematik Pengubah Bintang- Bintang, Bintang-Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian 2	75
5.35	Litar Skematik Pengubah Diametrikal Untuk Sistem Ujian 2	76
5.36	Keputusan Simulasi Kuasa Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian1	76
5.37	Keputusan Simulasi Kuasa Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian 2	77
5.38	Keputusan Simulasi Kuasa Diametrikal Untuk Sistem Ujian 2	77
5.39	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian 2	77
5.40	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang	

	Untuk Sistem Ujian 2	78
5.41	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Diametrikal Untuk Sistem Ujian 2	78
5.42	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian 2	78
5.43	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem Ujian 2	79
5.44	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Diametrikal Untuk Sistem Ujian 2	79
5.45	Talian Tunggal Dwi-Litar Tiga-Fasa Sistem TNB	82
5.46	Litar Setara Dwi-Litar Tiga-Fasa Sistem TNB	83
5.47	Litar Skematik Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Sistem TNB	85
5.48	Keputusan Simulasi Voltan Fasa di Bahagian Penjanaan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	86
5.49	Keputusan Simulasi Kuasa di Bahagian Penjanaan Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	86
5.50	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa di Bahagian Talian Penghantaran Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	87
5.51	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian di Bahagian Talian Penghantaran Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	87
5.52	Keputusan Simulasi Voltan Fasa di Beban Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	88
5.53	Keputusan Simulasi Kuasa di Beban Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem TNB	88
5.54	Talian Tunggal Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem TNB	89
5.55	Litar Setara Sistem Enam-Fasa Untuk Sistem TNB	90
5.56	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Delta-Bintang,	

	Delta-Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	95
5.57	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Bintang- Bintang, Bintang-Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	95
5.58	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem TNB	95
5.59	Keputusan Simulasi Kuasa Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	96
5.60	Keputusan Simulasi Kuasa Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	96
5.61	Keputusan Simulasi Kuasa Diametrikal Untuk Sistem TNB	96
5.62	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	97
5.63	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	97
5.64	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Pengubah Diametrikal Untuk Sistem Ujian 2	97
5.65	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	98
5.66	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Bintang-Bintang, Bintang- Songsangan Bintang Untuk Sistem TNB	98
5.67	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Pengubah Diametrikal Untuk Sistem TNB	98
5.68	Litar Skematik Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Motor	101
5.69	Keputusan Simulasi Voltan Fasa Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Motor	102



5.70	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Motor	102
5.71	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Motor	102
5.72	Keputusan Simulasi Kuasa Sistem Dwi-Litar Tiga-Fasa Untuk Sistem Motor	103
5.73	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Delta-Bintang, Delta-Songsangan Bintang Untuk Sistem Motor	103
5.74	Litar Skematik Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem Motor	104
5.75	Keputusan Simulasi Voltan Fasa Bentuk Penyambungan Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Motor	104
5.76	Keputusan Simulasi Voltan Fasa Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem Motor	105
5.77	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Bentuk Penyambungan Pengubah Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Motor	105
5.78	Keputusan Simulasi Beza Antara Fasa Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem TNB	105
5.79	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Bentuk Penyambungan Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Motor	107
5.80	Keputusan Simulasi Voltan Fasa dan Voltan Talian Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem Motor	107
5.81	Keputusan Simulasi Kuasa Bentuk Penyambungan Delta-Bintang, Delta Songsangan Bintang Untuk Sistem Motor	107
5.82	Keputusan Simulasi Kuasa Bentuk Penyambungan Diametrikal Untuk Sistem Motor	108

## SENARAI SIMBOL

$V_{fasa}$	-	Voltan Fasa
$V_{talian}$	-	Voltan Talian
$I_{talian}$	-	Arus Talian
$I_{fasa}$	-	Arus Fasa
$\theta$	-	Sudut antara voltan dan arus
$I_O$	-	Arus Tanpa Beban
$I_c$	-	Arus yang membekalkan kehilangan besi
$I_m$	-	Arus pemagnetan
$R_c$	-	Perintang mewakili kehilangan besi
$X_m$	-	Regangan pemagnetan
$E_1$	-	dge teraruh di lilitan primer
$E_2$	-	dge teraruh di lilitan sekunder
$P_t$	-	Kehilangan teras
$f$	-	frekuensi bagi gelombang fluk
$\phi_{max}$	-	puncak amplitud bagi gelombang fluks
$N_1$	-	bilangan lilitan Gelung Primer
$N_2$	-	bilangan lilitan Gelung Sekunder
$X_{11}, X_{12}$	-	kebocoran rintangan
$V_1$	-	Voltan bekalan
$\phi_1$	-	fluks
$I_1$	-	Arus sekunder

$I_2$	-	Arus primer
Y	-	Bintang
$\Delta$	-	Delta
$\lambda$	-	Songsangan Bintang
$V_{FP}$	-	Voltan Fasa Primer
$V_{TP}$	-	Voltan Talian Primer
$V_{FS}$	-	Voltan Fasa Sekunder
$V_{TS}$	-	Voltan Talian Sekunder
$V_{LI}'$	-	Voltan Talian Gelung Primer
$V_{PI}'$	-	Voltan Fasa Gelung Primer
$V_{LI}''$	-	Voltan Talian Gelung Sekunder
$V_{PI}''$	-	Voltan Fasa Gelung Sekunder
Z	-	Galangan dasar
I	-	Arus dasar
$Z_{pu}$ penjana	-	Galangan di penjana dalam per unit
$Z_{pu}$ pengubah	-	Galangan pengubah dalam per unit
$Z_{pu}$ talian	-	Galangan di talian penghantaran dalam per unit
$Z_{pu}$ beban	-	Beban dalam per unit
$Z_{jumlah}$	-	Jumlah galangan dalam per unit
$I_{jumlah}$	-	Jumlah arus dalam per unit
$S_{3\phi}$	-	Kuasa Ketara (MVA)
$P_{3\phi}$	-	Kuasa Aktif (MWatt)
$Q_{3\phi}$	-	Kuasa Reaktif (MVar)
P Enam fasa	-	Kuasa di talian penghantaran sistem enam fasa (MWatt)

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	M-file yang mengandungi kiraan untuk Sistem Ujian 1	115
B	M-file yang mengandungi kiraan untuk Sistem Ujian 2	132
C	M-file yang mengandungi kiraan untuk Sistem TNB	144
D	M-file yang mengandungi jawapan untuk Sistem Ujian 1	156
E	M-file yang mengandungi jawapan untuk Sistem Ujian 2	169
F	M-file yang mengandungi jawapan untuk Sistem TNB	181
G-1	Jaringan Talian Penghantaran Kuasa Johor Bahru Selatan	193
G-2	Senarai Data Talian Kawasan Johor Bahru Selatan	193
G-3	Litar Dan Data Pencawang Gelang Patah, Johor	194
G-4	Litar Dan Data Pencawang Tanjung Kupang, Johor	194
G-5	Senarai 1 Data Pengubah Yang Digunakan di TNB	195
G-6	Senarai 2 Data Pengubah Yang Digunakan di TNB	195
G-7	Pintu Masuk Pejabat Pengurus, Wilayah Selatan, Bahagian Penghantaran TNB, Johor Bahru	196
G-8	Mendengar Penerangan Daripada En. Arif di pejabatnya	196

## **BAB I**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Jurutera sistem kuasa telah diberi dorongan untuk membuat kajian bagi memperkenalkan penghantaran kuasa menggunakan sistem enam-fasa. Sistem enam-fasa boleh dihasilkan dengan menggunakan pengubah penukar tiga-fasa ke enam-fasa. Tujuan utama penggunaan penghantaran kuasa sistem enam-fasa adalah untuk memenuhi permintaan kuasa yang dijangkakan akan meningkat pada masa akan datang. Untuk memahami penghantaran kuasa menggunakan sistem enam-fasa, ciri-ciri dan konsep sistem enam-fasa perlu diterokai. Kebolehlaksanaan sistem enam-fasa perlu dikaji dan diteliti terlebih dahulu dengan melihat kepada kebaikan dan keburukan yang terdapat pada sistem enam-fasa.

Bab ini akan menjelaskan tentang objektif dan skop kerja projek. Selain itu kajian literatur sistem enam-fasa juga dinyatakan dengan terperinci dalam bab ini. Bab ini diakhiri dengan susunatur tesis .

## 1.2 Objektif

Kajian ini dilaksanakan adalah untuk mencapai matlamat berikut:-

- i. Membuktikan ciri-ciri sistem tiga-fasa dan enam-fasa melalui simulasi PSCAD/EMTDC.
- ii. Membuat analisis data talian penghantaran kuasa sistem dwi-litar tiga-fasa dan sistem enam-fasa melalui simulasi PSCAD/EMTDC.
- iii. Memilih rekabentuk pengubah terbaik untuk sistem enam-fasa.

## 1.3 Skop

Berpandukan kepada objektif yang ingin dicapai, skop kajian telah ditetapkan seperti berikut:-

- i. Melaksanakan kiraan menggunakan perisian MATLAB.
- ii. Melakukan simulasi sistem dwi-litar tiga fasa
- iii. Melakukan simulasi sistem enam fasa dengan bentuk penyambungan
  - a. Bintang-Bintang, Bintang-Songsangan Bintang
  - b. Delta-Bintang, Delta songsangan Bintang
  - c. Diametrikal
  - d. Dwi-Delta
  - e. Dwi-Bintang
- iv. Membuat analisis data sistem dwi- litar tiga fasa dan sistem enam-fasa
- v. Memilih rekabentuk pengubah terbaik untuk sistem enam-fasa.

## 1.4 Kajian Literatur

Pada tahun 1973, konsep penghantaran fasa tinggi telah mula diperkenalkan.[2]

Seterusnya pada tahun 1976, *Allegheny Power Service Corporation* (APS) dengan kerjasama *West Virginia University* telah menjalankan penyelidikan secara terperinci rekabentuk penghantaran fasa tinggi. Penyelidikan ini telah mendapat dana daripada *National Science Foundation*. Usaha ini dilihat sebagai salah satu alternatif yang berjaya untuk sistem penghantaran fasa tinggi. Namun begitu, projek ini akhirnya terbiar dan APS telah mencari jalan untuk melaksanakan penyelidikan pada masa akan datang.

Pada 1982, *Department of Energy* (DOE), Amerika Syarikat dan *New York State Energy Research and Development Authority* (NYSERDA) telah menjalankan kajian berkenaan kesan korona dan medan magnet kepada talian penghantaran fasa tinggi. Untuk melaksanakan kajian ini, talian penghantaran fasa tinggi untuk pengujian di NYSERDA's MALTA, New York telah dibina.[2] Pada akhir September 1983, laporan akhir hasil daripada kajian berkenaan menunjukkan penghantaran enam-fasa boleh membekalkan keupayaan kuasa yang sama seperti sistem tiga-fasa dengan pengurangan ruang talian atas untuk medan magnet dan hingar audio, mengecilkan struktur penghantaran dan mengurangkan kos keseluruhan.

Seterusnya awal 1990-an, *Empire State Electric Enegry Reserch Corporation* bersama *New York State Electric & Gas* (NYSEG) telah melaksanakan Projek Demonstrasi Penghantaran Fasa Tinggi untuk penyelidikan dan operasi sistem enam-fasa. Projek ini mempunyai talian penghantaran pendek daripada Goudey hingga Oakdale dengan konfigurasi daripada 115kV sistem dwi-litar tiga-fasa kepada 93kV sistem enam-fasa dengan jarak 1.5 batu dan disambung kepada sistem 115kV menerusi dua pengubah tiga fasa 161kV/115kV dengan bentuk penyambungan Delta/Y(Bumi) dan penyambungan Delta/Songsangan Y(Bumi).[4]

## 1.5 Susunatur Tesis

Secara keseluruhannya projek ini dilaporkan dalam 7 bab.

Bab II menerangkan berkaitan konsep pemfasa antara tiga-fasa dan enam-fasa. Penjelasan tentang kelebihan sistem enam-fasa berbanding dengan sistem tiga-fasa juga dinyatakan di dalam bab ini.

Bab III menghuraikan prinsip asas pengubah tunggal, tiga-fasa dan enam-fasa. Pengubah jenis enam-fasa lebih diberikan penekanan kerana ia digunakan dalam rekabentuk sistem enam-fasa dalam projek ini.

Rekabentuk litar sistem enam-fasa dijelaskan dalam bab IV. Di sini juga diterangkan berkaitan dengan perisian PSCAD/EMTDC dan MATLAB yang digunakan untuk membuat analisa litar yang telah dibangunkan.

Bab V mempamerkan pengiraan dan keputusan simulasi untuk tiga sistem ujian yang telah dianalisisakan. Perbincangan juga diperjelaskan di dalam bab ini.

Kesimpulan dan Cadangan dinyatakan dalam VI. Tesis ini diakhiri dengan bibliografi dan lampiran.



## RUJUKAN

1. T.L.Landers, R.J Richeda, E. Krizakas. (1998) "High Phase Order Economics: Constructing a New Transmission Line," *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol.13, No. 4.
2. T.F Dorazio. (1990) "High Phase Order Transmission", IEEE 1990.
3. James R.Stewart, Laurie J.Oppel, Gary C. Thomann, Thomas F.Dorazio, Matthew T.Brown (1992) "Insulation Coordination, Environmental and System Analysis Of Existing Double Circuit Line Reconfigured To Six-Phase Operation", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 7, No. 3.
4. R.V.Rebbapragada, M.T.Brown, T.F Dorazio, J.R Stewart. (1993) "Design Modification And Layout Of Utility Substations For Six Phase Transmission," *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 8, No. 1.
5. Alexander Apostolov, William George. (1992) "Protecting NYSEG's Six-Phase Transmission Line," *New York State Electric & Gas Corporation*,
6. James R. Stewart, Laurie J.Oppel, Gary C.Thomann, Thomas F.Dorazio, R.V Rebbapragada. (1992) "Transformer Winding Selection Associated With Reconfiguration Of Existing Double Circuit Line To Six-Phase Operation." *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol 7, No. 2.

7. R.V. Rebbapragada, H.Panke, H.J. Pierce, Jr, J.R. Stewart, L.J. Opperl. (1992) "Selection And Application Of Relay Protection For Six Phase Demonstration Project". *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol 7, No. 4.
8. Sherif Omar Faried, Sanjoy Upadhyay, Saleh Al-Senaidi (2002). "Impact of Six Phase Transmission Line Faults on Turbine-Generator Shaft Torsional Torques." *IEEE Transaction On Power Systems*. Vol. 17, No 2.
9. Members of the Staff of the Department of Electrical Engineering Massachusetts Institute of Technology. (1954). "Magnetic Circuits and Transformer." The Technology Press Massachusetts Institute of Technology. 656-661.
10. Stephen L.Herman. (1998) "Electrician's Technical Reference: Transformers." Delmar Publishers. 86-89.
11. Monitoba HVDC Research Centre. (1999) "Getting Started PSCAD/EMTDC".

