

SISTEM PENUAIAN TENAGA HIBRID TERMOELEKTRIK-SURIA
MENGUNAKAN PEMBENTUK MASUKAN
ANALISIS DINAMIK SONGSANG

AZDIANA BINTI MD. YUSOP

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2016

PENAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

6 Jun 2016

AZDIANA BINTI MD. YUSOP
P 68079

PENGHARGAAN

Syukur Alhamdulillah ke hadrat Allah S.W.T dia atas kurnia-Nya memberikan saya kesihatan yang baik dan masa yang cukup dalam menyempurnakan kajian ini. Selawat dan salam ke atas junjungan besar Nabi Muhammad s.a.w serta seluruh keluarga baginda. Dalam penyelesaian kajian ini, banyak pihak yang telah memberi bantuan dan perhatian di sepanjang tempoh kajian ini dibuat. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia utama saya iaitu Dr. Ramizi bin Mohamed di atas bimbingan, teguran dan nasihat yang banyak membantu dalam melengkapkan kajian ini. Saya juga ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada penyelia bersama saya iaitu Prof. Dr. Azah binti Mohamed dan juga Dr Afida binti Ayob yang telah menguatkan lagi kajian ini dengan bantuan kepakaran masing-masing.

Bantuan yang diberikan daripada pihak Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM), Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia sendiri dari segi kewangan dan sokongan moral sejak dari awal kajian amatlah dihargai. Justeru itu, saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada pihak-pihak ini kerana telah banyak mendukung saya dalam menyelesaikan kajian ini dalam tempoh yang diberi.

Akhir sekali buat suami, anak-anak dan ibubapa tersayang, pengorbanan kalian dalam begitu sabar menempuh cabaran ini bersama-sama amatlah dihargai. Semoga limpah kurnia-Nya sentiasa bersama-sama kalian.

ABSTRAK

Sistem penuaian tenaga tanpa bantuan sebelum ini tidak dapat diduga dan menyebabkan tingkah laku yang tidak stabil apabila ia beralih kepada pemacu data sebenar. Sistem Penuaian Tenaga Hibrid (SPTH) dilaksanakan untuk meningkatkan kecekapan keseluruhan sistem dan memanfaatkan kelebihan daripada beberapa sumber yang berbeza. Termoelektrik telah dikenal pasti mampu menukarkan tenaga haba buangan kepada tenaga elektrik. Tetapi peranti ini tidak dapat berfungsi secara individu kerana penghasilan kuasa yang rendah. Di sebalik itu, tenaga suria telah terkenal sebagai tenaga yang berdaya maju untuk menghasilkan kuasa yang tinggi. Namun prestasi tenaga ini menjadi terhad disebabkan oleh percambahan sinaran cahaya matahari. Dalam kerja penyelidikan ini, selain Modul Termoelektrik (MTE), Susunan Suria (SS), telah dipilih untuk meningkatkan prestasi MTE berdasarkan kepada idea sistem ini mampu menukarkan tenaga haba buangan daripada SS menjadi tenaga elektrik. Dengan menggabungkan MTE dan SS, SPTH dibangunkan bagi mengatasi kelemahan setiap sistem. Tujuan utama kajian ini adalah untuk membangunkan MTE-SS SPTH dengan menggunakan sistem kawalan maju bagi mendapatkan kuasa keluaran maksimum. Walau bagaimanapun, di atas kepentingan pemilihan susunan MTE yang bersesuaian, kajian ini bermula dengan mengesahkan konfigurasi MTE yang mampu memberikan kuasa yang lebih tinggi. Dua konfigurasi yang berlainan iaitu MTE Tunggal dan MTE Berbilang dibina bagi melaksanakan analisis tingkah laku keluaran MTE ini. Didapati, data eksperimen dan simulasi adalah bergandingan di antara satu sama lain dan titik operasi suhu ujian yang terbaik diperolehi pada antara 50 °C hingga 100 °C. Analisis ini adalah penting bagi menentukan suhu operasi yang berpatutan untuk disetkan kepada MTE sebelum disambung kepada skim Penjejakan Titik Kuasa Maksimum (PTKM). Sistem kawalan SPTH direka berdasarkan teknik membentuk masukan yang biasanya digunakan untuk sistem fleksibel bagi mengurangkan getaran sistem. Dalam pengawal jenis suap hadapan ini, Pembentuk Masukan Analisis Dinamik Songsang (PMADS) diperkenalkan kepada MTE dan SS untuk membentuk tingkah laku masukan yang tidak mantap menjadi masukan yang stabil. Pada masa ini, skim PTKM yang umum digunakan adalah Usik dan Pantau (UnP). Penyelidik di serata dunia hanya memberi tumpuan untuk meningkatkan skim PTKM ini dengan meningkatkan kelajuan penjejakan atau meningkatkan sensitiviti usikan tanpa membincangkan kestabilan tingkah laku keseluruhan sistem. Untuk mengatasi isu ini, keluaran pengawal PMADS dimasukkan ke dalam sistem PTKM MTE dan SS yang dinamakan sebagai PTKM Berubah-bentuk (PTKMB). Kajian ini diakhiri dengan menganalisa tingkah laku termal dan prestasi penjanaan kuasa MTE, SS dan SPTH. Keputusan eksperimen menunjukkan bahawa voltan keluaran SPTH meningkat kepada 9.7 V dengan kenaikan kuasa sebanyak 20% berbanding SS konvensional. Kelajuan penjejakan juga telah dikurangkan kepada kurang daripada 5 minit dengan masa penjejakan telah berjaya dikurangkan sebanyak 97.2% yang mana jika dibandingkan dengan kajian lepas yang menggunakan teknik penghampiran berturut daftar algoritma PTKM, masa penjejakan hanya berjaya dikurangkan kepada 69.4%. Penemuan ini menggambarkan tentang kepentingan mendapatkan titik kuasa maksimum keseluruhan sistem yang membawa kepada peningkatan kelajuan penjejakan sistem dan pemulihan kestabilan SPTH.

THERMOELECTRIC-SOLAR HYBRID ENERGY HARVESTING SYSTEM USING AN INVERSE DYNAMIC ANALYSIS INPUT SHAPER

ABSTRACT

The previous unaided energy harvesting system is unpredictable and may incur to the unstable behavior when it comes to real data-driven application. The Hybrid Energy Harvesting System (HEHS) is commenced to increase the overall system efficiency and to utilize the benefits of the different sources. Thermoelectric is identified capable to convert waste heat energy into electricity. But this device cannot function individually since it generates low power. Behind that, solar energy is a well known viable energy to produce high power. Similarly, the performance of this energy is limited by the discrepancy of the sunlight irradiation. In this research works, besides Thermoelectric Module (TEM), a Solar Array (SA) is employed to enhance the performance of SA base on the idea this system could convert the waste heat energy of the SA into electricity. By combining a TEM with SA, a HEHS is developed to defeat the drawback of each system. The main purpose of this research is to develop a TEM-SA HEHS by applying advanced control system to acquire a maximum output power. However, prior to the importance of TEM arrangement selection, this study is first done by validating a suitable TEM configuration that able to produce higher power. Two different configurations namely Single TEM and Multi-stage TEMs are carried out to perform the analytical study of the TEM's output behavior. Mutually, the experimental and simulation data correlate with each other and the best operating point of test temperature is obtained between 50 °C to 100 °C. The significance of this analysis is the appropriate operating temperature of the TEM could be applied to the TEM before adding the Maximum Power Point Tracking (MPPT) scheme. The control system of the HEHS is designed base on input shaping technique which is commonly applied to the flexible system to reduce the system vibration. In this feed forward type of controller, Inverse Dynamic Analysis Input Shaper (IDAIS) is introduced to TEM and SA to shape the unsteady input behavior to become stable input. Currently, the common MPPT scheme used is Perturb and Observe (PnO). The researcher around the globe only focused on improving this MPPT scheme by increasing the tracking speed or enhancing the sensitivity of the perturbation without discussing on the stability of the overall system behavior. To overcome this issue, the output of the controller IDAIS is added into the MPPT system of the TEM and SA and is named as Shapeable MPPT (SMPPT). This research works end by validating the thermal behavior and power generation performance of the TEM, SA and HEHS. The experimental results show that the HEHS output voltage has been increased to 9.7 V with power increment of 20% when compared to conventional SA. The tracking speed has been reduced to less than 5 minutes with the detection time has been reduced by 97.2%, which compared with previous studies using successive approximation register MPPT algorithm, the detection time is reduced to 69.4%. This finding reflect to the importance of pertaining the maximum power point of the overall system which leads to increase the system tracking speed and improving the HEHS stability.

KANDUNGAN

		Halaman
PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		vi
SENARAI JADUAL		x
SENARAI RAJAH		xii
SENARAI SIMBOL		xvi
SENARAI SINGKATAN		xviii
DAFTAR ISTILAH		xix
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Pengenalan	1
1.2	Penuaian Tenaga	1
1.3	Penyataan Masalah	2
1.4	Objektif Kajian	4
1.5	Skop Penyelidikan	4
1.6	Organisasi Tesis	5
BAB II	KAJIAN KEPUSTAKAAN	
2.1	Pengenalan	7
2.2	Sistem Penuaian Tenaga	7
2.3	Termoelektrik Sebagai Penuai Tenaga	9
2.4	Peranti Susunan Suria	13
2.5	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kecekapan MTE dan SS	15
2.6	Penjejakan Titik Kuasa Maksimum (PTKM)	17
2.7	Rekabentuk Pengawal Bagi Litar PTKM dan Kesan Pergantungan Beban Terhadap SPTH	22
2.8	Pembentukan Sistem Penuaian Tenaga dalam Kajian	25
2.9	Rumusan	26

BAB III	PEMBANGUNAN MODEL MTE DALAM MENENTUKAN CIRI-CIRI KUASA KELUARAN MTE	
3.1	Pengenalan	28
3.2	Definisi Sumber Haba Fana bagi MTE	29
3.3	Prinsip Asas MTE	29
3.4	Penentuan Parameter Elektrik bagi MTE	33
3.5	Pembangunan Model MTE Menggunakan Perisisan MATLAB	34
3.6	Keputusan dan Perbincangan	37
	3.6.1 Analisis keadaan mantap MTE	37
	3.6.2 Analisis keadaan fana MTE tunggal	40
	3.6.3 Analisis keadaan fana MTE berbilang	44
3.7	Rumusan	46
BAB IV	PENENTUAN KONFIGURASI DAN JULAT SUHU TERBAIK MTE BOLEH BERFUNGSI DALAM SPTH	
4.1	Pengenalan	48
4.2	Prestasi MTE	48
4.3	Persediaan Set Pengukuran Bagi MTE	49
4.4	Pemilihan Konfigurasi Terbaik MTE	51
4.5	Tingkah Laku Kuasa Yang Dijana Oleh MTE	55
	4.5.1 MTE Tunggal	55
	4.5.2 MTE Berbilang	57
4.6	Tingkah Laku Termal	62
4.7	Pengesahan Keputusan Simulasi Dengan Teknik Korelasi	65
4.8	Kesan Penenggelam Haba Kepada Tingkah Laku MTE	68
4.9	Rumusan	71
BAB V	PEMBANGUNAN MODEL SPTH MTE-SS MENGGUNAKAN ALGORITMA PMADS	
5.1	Pengenalan	73
5.2	Susunan Suria Sebagai Sumber Tenaga Alternatif	73
5.3	Pemodelan Susunan Suria	74
5.4	Pembangunan Model SPTH	77

5.5	Pembangunan Teknik Pembentuk Masukan Analisis Dinamik Songsang	79
5.6	Keputusan Simulasi Analisis Tingkah Laku SS	84
5.7	Pemodelan PTKM Bagi SPTH	92
	5.7.1 Rekabentuk Penukar Anjakan DC-DC	94
	5.7.2 Algoritma bagi Kaedah PTKM	96
	5.7.3 Rekabentuk Pengawal untuk Melaksanakan Algoritma PTKM yang Berubah-bentuk	99
5.8	Keputusan Simulasi Analisis Teknik PTKMB Bagi SPTH	100
5.9	Rumusan	103
BAB VI	PEMBANGUNAN TEKNIK PTKMB BAGI SPTH MTE-SS DENGAN ALGORITMA PMADS	
6.1	Pengenalan	104
6.2	Pemodelan Strategi Kawalan Bagi SPTH	104
6.3	Persediaan Set Pengukuran Bagi SPTH	106
	6.3.1 Modul Termoelektrik (MTE)	108
	6.3.2 Susunan Suria (SS)	109
	6.3.3 Penuai Tenaga dengan PTKMB	110
6.4	Keputusan Hasil Ujikaji Bagi MTE	114
6.5	Keputusan Hasil Ujikaji Bagi SS	120
6.6	Keputusan Hasil Ujikaji Bagi SPTH Dengan Kehadiran PTKMB	125
6.7	Tingkah Laku Pergantungan Beban Bagi MTE	129
	6.7.1 Tingkah laku beban MTE tanpa PTKMB	131
	6.7.2 Tingkah Laku Beban MTE dengan PTKMB	133
6.8	Rumusan	139
BAB VII	APLIKASI TEKNIK PEMBENTUK MASUKAN ANALISIS DINAMIK SONGSANG DALAM MEKANISME SISTEM SEBENAR	
7.1	Pengenalan	141
7.2	Aplikasi MTE di Dalam Kereta	141
	7.2.1 Hasil kajian tanpa pengalihudaraan	142
	7.2.2 Hasil kajian dengan pengalihudaraan	146

7.3	Aplikasi Sistem Penuaian Tenaga Hibrid Kepada Telefon Mudah Alih	150
	7.3.1 Persediaan set pengukuran	150
	7.3.2 Keputusan hasil ujikaji bagi SPTH	153
	7.3.3 Keputusan hasil ujikaji bagi jenis beban berlainan	158
7.4	Rumusan	159
BAB VIII KESIMPULAN		
8.1	Kesimpulan	161
8.2	Sumbangan Penyelidikan	164
8.3	Cadangan Kajian Masa Hadapan	165
RUJUKAN		166
LAMPIRAN A		175
LAMPIRAN B		181

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
2.1	Teknik-teknik PTKM yang digunakan dalam kajian sebelum ini	19
2.2	Teknik-teknik pembentuk masukan yang digunakan dalam kajian sebelum ini	22
2.3	Keupayaan SPTH yang dibina dalam kajian semasa	26
3.1	Spesifikasi MTE (TEP1-12656-0.6)	35
3.2	Keputusan analisis keadaan mantap MTE (TEP1-12656-0.6)	38
4.1	Tujuan kes kajian bagi analisis MTE	51
4.2	Suhu ujian pengukuran dan voltan keluaran bagi MTE tunggal tanpa beban elektrik	56
4.3	Suhu ujian pengukuran dan keluaran simulasi bersama-sama dengan nilai arus, rintangan dan kuasa bagi MTE tunggal tanpa beban elektrik	56
4.4	Suhu ujian pengukuran dan voltan keluaran bagi MTE terlata tiga tanpa beban elektrik	59
4.5	Suhu ujian pengukuran dan keluaran simulasi bersama-sama dengan nilai arus, rintangan dan kuasa bagi MTE terlata tiga tanpa beban elektrik	59
4.6	Suhu ujian pengukuran dan voltan keluaran bagi MTE terlata enam tanpa beban elektrik	60
4.7	Suhu ujian pengukuran dan keluaran simulasi bersama-sama dengan nilai arus, rintangan dan kuasa bagi MTE terlata enam tanpa beban elektrik	60
4.8	Ringkasan kenaikan kecerunan suhu dalam bentuk peratusan berdasarkan konfigurasi MTE yang berbeza	64
4.9	Spesifikasi bagi penenggelam haba yang digunakan dalam ujikaji	68
4.10	Suhu sisi sejuk bagi konfigurasi MTE terlata enam dengan dan tanpa penenggelam haba	69
5.1	Faktor bagi A yang bergantung kepada teknologi voltan fotovolt	75
5.2	Spesifikasi bagi modul suria (SR10-36)	76

5.3	Ciri-ciri fungsi keluaran yang dikehendaki	82
5.4	Perbandingan keluk kuasa	91
5.5	Spesifikasi bagi penukar anjakan	96
6.1	Spesifikasi SS (SLMD121H08L)	109
6.2	Ringkasan nilai sifat-sifat elektrik bagi MTE, SS dan SPTH	127
7.1	Data ujikaji di dalam kereta	150
7.2	Data bagi hasil kajian terhadap sistem 1	156
7.3	Data keperluan kuasa bagi setiap jenis beban	158
7.4	Data bagi ujikaji terhadap bekalan tidak berterusan	158
7.5	Data bagi ujikaji terhadap bekalan berterusan	159

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
2.1	Gambarajah model penjana termoelektrik	10
2.2	Contoh ilustrasi skematik bagi sistem tenaga hibrid	15
3.1	Penjanaan arus elektrik MTE (a) keratan rentas MTE (b) struktur dan rangkaian perintang haba MTE (c) model litar setara Thevenin bagi MTE dengan perbezaan suhu dari luar	31
3.2	Blok model MTE yang dibina menggunakan perisian MATLAB	36
3.3	Kotak dialog bagi perincian input MTE	36
3.4	Blok model MTE beserta nilai parameter yang terhasil semasa analisis keadaan mantap	39
3.5	Ciri keluaran $I-V$ dan $I-W$ bagi MTE TEP1-12656-0.6 semasa dalam keadaan mantap	40
3.6	Suhu sisi sejuk bagi MTE	41
3.7	Parameter MTE semasa dalam keadaan fana	42
3.8	Ciri keluaran $I-V$ dan $I-W$ bagi MTE TEP1-12656-0.6 semasa dalam keadaan fana	43
3.9	Voltan MTE pada pelbagai nilai nisbah antara rintangan beban dan rintangan dalaman, \hat{m}	43
3.10	Arus MTE pada pelbagai nilai nisbah antara rintangan beban dan rintangan dalaman	44
3.11	Ciri $V-W$ bagi MTE berbilang	45
3.12	Ciri $I-W$ bagi MTE berbilang	46
4.1	Blok rajah persediaan ujikaji bagi TEP1-12656-0.6	50
4.2	Konfigurasi MTE: (a) E1; (b) E2; (c) T1; (d) T2	53
4.3	Voltan MTE yang terhasil mengikut jenis konfigurasi	54
4.4	Kuasa MTE bagi suhu ujian yang berbeza untuk konfigurasi tunggal	55
4.5	Kuasa MTE bagi suhu ujian yang berbeza untuk konfigurasi berbilang	58
4.6	Voltan yang dihasilkan oleh MTE dengan tetapan suhu plat pemanas yang berbeza	61
4.7	Profil suhu MTE apabila plat pemanas disetkan kepada 50 °C bagi konfigurasi MTE yang berbeza: (a) MTE tunggal, (b) MTE terlata tiga, (c) MTE terlata enam	63

4.8	Voltan litar terbuka pada suhu ujian 50 °C dari perspektif data daripada ujikaji dan simulasi bagi: (a) MTE tunggal, (b) MTE terlata tiga, (c) MTE terlata enam	66
4.9	Matriks korelasi voltan litar terbuka bagi MTE tunggal pada suhu ujian 50 °C	67
4.10	Voltan litar terbuka sebagai fungsi kecerunan suhu	68
4.11	Suhu sisi sejuk MTE bagi setiap jenis penenggelam haba dibandingkan dengan konfigurasi MTE tanpa penenggelam haba	70
4.12	Kecerunan suhu MTE bagi setiap jenis penenggelam haba dibandingkan dengan konfigurasi MTE tanpa penenggelam haba	71
5.1	Litar setara bagi sel suria	74
5.2	Pembangunan model blok SS seperti yang diaplikasikan di Dalam perisian MATLAB/SIMULINK	77
5.3	Model blok SPTH TEM-SS seperti yang diaplikasikan di dalam perisian MATLAB/SIMULINK	78
5.4	Ciri-ciri $I-V$ dan $P-V$ bagi sel suria	79
5.5	Proses rekabentuk PMADS	84
5.6	Tingkah laku SS pada nilai insolasi yang berbeza (a) ciri $P-V$ (b) ciri $I-V$	85
5.7	Tingkah laku SS pada nilai suhu yang berbeza (a) ciri $P-V$ (b) ciri $I-V$	86
5.8	Kes 1:-Tingkah laku voltan SS (a) tanpa PMADS (b) dengan PMADS	87
5.9	Kes 2:-Tingkah laku voltan SS (a) tanpa PMADS (b) dengan PMADS	88
5.10	Kuasa hibrid keseluruhan	89
5.11	Orientasi model litar bagi SS	92
5.12	Penukar DC-DC bagi SPTH untuk beroperasi pada TKM	93
5.13	Litar penukar anjakan DC-DC bagi SPTH	94
5.14	Carta alir algoritma UnP	98
5.15	SPTH MTE-SS blok model menggunakan MATLAB/SIMULINK	100
5.16	Voltan masukan dan keluaran bagi SS	101
5.17	Voltan masukan bagi isyarat MLD	102
6.1	Gambarajah blok SPTH	106

6.2	Gambarajah blok persediaan pengukuran bagi SPTH	107
6.3	Blok rajah persediaan ujikaji bagi MTE dengan litar PTKM	108
6.4	Blok rajah persediaan ujikaji bagi SS dengan litar PTKM	110
6.5	Gambarajah blok SPTH dengan kehadiran PMADS	111
6.6	Proses rekabentuk analisis tingkah laku MTE/SS	114
6.7	Profil voltan bagi MTE sebelum dan selepas disambungkan dengan DC1587	115
6.8	Profil voltan pada bahagian tertentu bagi titik pengukuran MTE Pada keadaan berbeza: (a) permulaan analisis (b) superkapasitor mula mengecas (c) voltan masukan, V1 telah mencapai 0.4 V (d) PTKM 2 diaktifkan (e) superkapasitor mula menyahcas	118
6.9	Profil voltan pada bahagian tertentu bagi titik pengukuran MTE apabila (a) PTKM pertama tiba-tiba dinyahaktifkan dan mod papan kedua berubah dari mod tidak aktif kepada aktif (b) superkapasitor mula menyahcas	120
6.10	Profil voltan bagi SS sebelum dan selepas disambungkan dengan DC1587	121
6.11	Profil voltan yang direkodkan pada bahagian tertentu bagi titik pengukuran SS apabila: (a) permulaan analisis (b) superkapasitor berhenti mengecas dan menjadi stabil pada 1.8 V (c) PTKM 2 diaktifkan (d) superkapasitor menyahcas	123
6.12	Profil voltan yang direkodkan pada bahagian tertentu bagi titik pengukuran SS dengan kehadiran kawalan strategi PTKMB apabila: (a) V2 mencapai 1.8 V (b) PTKM 2 diaktifkan	126
6.13	Blok rajah persediaan pengukuran bagi menguji tingkah laku pergantungan beban bagi MTE	129
6.14	Profil voltan bagi MTE setelah dimuatkan dengan nilai R_L berbeza: (a) $R_L = 6.6 \Omega$ (b) $R_L = 13.2 \Omega$ (c) $R_L = 1 \text{ k}\Omega$	133
6.15	Tingkah laku pergantungan beban bagi MTE dengan strategi kawalan PTKMB dengan nilai R_L yang berbeza: (a) $R_L = 6.6 \Omega$ (b) $R_L = 13.2 \Omega$ (c) $R_L = 1 \text{ k}\Omega$	136
6.16	Tingkah laku pergantungan beban bagi MTE dengan PTKMB beserta $R_L=0.2 \Omega$	137
6.17	Nilai voltan pada setiap titik ujian bagi nilai perintang beban yang berbeza	139
7.1	Gambarajah blok susun atur ujikaji di dalam kereta	142
7.2	Profil suhu MTE pada papan pemuka tanpa kehadiran pengalihudaraan (a) 12.30 tengahari (b) 1.00 petang (c) 1.30 ptg	144

7.3	Voltan keluaran MTE apabila diletakkan pada papan pemuka tanpa kehadiran pengalihan (a) 12.30 tengahari (b) 1.00 petang (c) 1.30 ptg	145
7.4	Profil suhu MTE pada papan pemuka dengan kehadiran pengalihan (a) 12.30 tengahari (b) 1.00 petang (c) 1.30 ptg	147
7.5	Voltan keluaran MTE apabila diletakkan pada papan pemuka dengan kehadiran pengalihan (a) 12.30 tengahari (b) 1.00 petang (c) 1.30 ptg	149
7.6	Rajah blok bagi ujian awal SPTH	151
7.7	Gambarajah blok bagi persediaan ujikaji bagi SPTH	151
7.8	Rajah blok bagi ujian SPTH dengan beban (a) Sistem 1 (b) Sistem 2	152
7.9	Gambarajah blok contoh persediaan ujikaji bagi SPTH apabila disambungkan dengan beban	153
7.10	Profil voltan bagi sistem 1 dengan menggunakan superkapasitor 5 F (a) bekalan tidak berterusan dan (b) bekalan berterusan	154
7.11	Profil voltan bagi sistem 1 dengan menggunakan superkapasitor 10 F (a) bekalan tidak berterusan dan (b) bekalan berterusan	155
7.12	Profil voltan superkapasitor bagi sistem 2 dengan menggunakan superkapasitor 10 F (a) bekalan tidak berterusan dan (b) bekalan berterusan	157

SENARAI SIMBOL

\hat{m}	nisbah di antara rintangan beban dan rintangan dalaman MTE yang baru
α	istilah umum perkaitan di antara masa dan masa normal
λ	pencahayaan modul fotovolta
ΔT	beza suhu di antara sisi panas dan sisi sejuk MTE
κ_{tc}	kekonduksian haba
A	faktor ideal bagi simpang p-n
A_v	nilai gandaan voltan bagi penukar
C	kapasitor
C_{min}	nilai kapasitor minimum
D	kitar tugas bagi isyarat MLD
D_I	diod
E_g	sela jalur untuk silikon (1.1 eV)
F	kekerapan suis pengawal
$F(u)$	fungsi masukan normal MTE atau SS
i	bilangan MTE tunggal
I	arus elektrik
$I_{\text{litar-pintas}}$	arus litar pintas MTE
I_m	arus pada rintangan beban
I_{PH}	arus semasa SS,
I_{RS}	arus tepu balikan
I_{SA}	arus keluaran SS
I_{SAT}	arus tepu yang berubah dengan suhu sel
I_{SC}	arus litar pintas SS
K	pemalar Boltzman (1.3805×10^{-23} J/K)
k	penganda voltan
K_i	pekali arus litar pintas pada I_{SC}
L	pearuh
L_{bc}	nilai minimum yang diperlukan bagi pearuh untuk beroperasi dalam mod berterusan
m	nisbah di antara rintangan beban dan rintangan dalaman MTE
n	turutan nombor MTE
N_P	jumlah sel secara selari

N_S	jumlah sel secara sesiri
q	caj elektron ($1.6 \times 10^{-19}\text{C}$)
Q_c	jumlah haba pada sisi sejuk MTE
Q_h	jumlah haba pada sisi panas MTE
Q_{joule}	jumlah haba Joule yang dilesapkan
$Q_{peltier}$	jumlah pemindahan haba Peltier
Q_{tc}	pemindahan haba
R	rintangan elektrik
R_L	rintangan beban
R_S	rintangan sesiri
R_S	rintangan siri sel dalam SS
R_{SH}	rintangan pirau dalaman sel SS
S	pekali Seebeck MTE
S	suis pengawal
T	suhu operasi modul
T_c	suhu sisi sejuk
T_h	suhu sisi panas
T_{ref}	suhu rujukan
u	masa normal
V	voltan elektrik
$V(u)$	fungsi voltan normal bagi MTE atau SS
V_{in}	voltan masukan
V_L	voltan beban
$V_{\text{litar terbuka}}$	voltan litar terbuka MTE
$V_{m,}$	voltan pada rintangan beban
V_{OC}	ialah voltan litar terbuka SS
V_{out}	voltan keluaran
V_{riak}	voltan riak
V_{SA}	voltan keluaran SS
V_T	jumlahvoltan
$W_{m,}$	kuasa pada rintangan beban
$X(u)$	fungsi keluaran normal yang dikehendaki
X_E	sasaran masa tamat
Z	angka merit
ΔD	pengusikan kecil

SENARAI NAMA SINGKATAN

E1	elektrik sesiri, termal selari
E2	elektrik sesiri, termal sesiri
JP1	Pelompat pertama
MLD	Modulatan Lebar Denyut
MPB	Mod Pengaliran Berterusan
MTE	Modul Termoelektrik
PMADS	Pembentuk Masukan Analisis Dinamik Songsang
PTKM	Penjejukan Titik Kuasa Maksimum
PTKMB	Penjejukan Titik Kuasa Maksimum Berubah-bentuk
SPTH	Sistem Penuaian Tenaga Hibrid
SS	Susunan Suria
T1	termal sesiri, elektrik selari
T2	termal selari, elektrik selari
TKM	Titik Kuasa Maksimum
UnP	Usik dan Pantau

DAFTAR ISTILAH

Analisis dinamik songsang	-	Inverse dynamic analysis
Faktor isi	-	Fill factor
Insolasi	-	Insolation
Kitar tugas	-	Duty cycle
Mod pengaliran berterusan	-	Continuous conduction mode
MTE terlata enam	-	Six cascaded MTE
MTE terlata tiga	-	Three cascaded MTE
Pemproses isyarat digital	-	Digital signal processor
Penenggelam haba	-	Heat sink
Pengawal suap hadapan	-	Feed forward controller
Penjejakan Titik Kuasa Maksimum	-	Maximum Power Point Tracking
Penukar anjakan	-	Boost converter
Tertib ketiga	-	Third order
Usik dan Pantau	-	Perturb and Observe
Voltan anjakan	-	Boosted voltage

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Bab ini merupakan pengenalan kepada kajian ini dan dimulakan dengan penerangan kepada sistem penuaian tenaga. Masalah-masalah yang didapati daripada kajian yang lepas dihuraikan dengan terperinci sebelum pernyataan tujuan kajian dijelaskan. Skop kajian kemudiannya dinyatakan bagi menentukan fokus utama lingkungan kajian. Bab ini diakhiri dengan pernyataan organisasi tesis secara keseluruhan.

1.2 PENUAIAN TENAGA

Penuaian tenaga merupakan satu keadaan di mana tenaga buangan daripada alam sekitar atau sumber tenaga sedia ada seperti suria, termal dan angin dimanfaatkan ke dalam bentuk tenaga yang boleh digunakan. Pendekatan ini telah menjadikan sistem penuaian tenaga sebagai bidang penyelidikan yang penting kerana tenaga ini boleh diperolehi daripada persekitaran ambien secara percuma. Walau bagaimanapun, jenis tenaga ini adalah tidak dapat diduga dan berkeupayaan mempamerkan tingkah laku tidak menentu dalam sistem amalan sebenar. Ia juga menghasilkan nilai kuasa yang rendah dan selalunya digunakan untuk operasi sistem yang berkuasa rendah. Di antara jenis peranti penuaian tenaga yang sering digunakan adalah fotovoltaiik, termoelektrik, piezoelektrik dan elektrostatik.

Penggunaan peranti penuaian tenaga untuk mengurangkan pergantungan kepada bahan api fosil telah menarik minat penyelidikan yang meluas. Tenaga bahan api fosil telah mendedahkan dunia kepada krisis alam sekitar seperti pencemaran udara, pelepasan sisa berbahaya, dan penipisan lapisan ozon. Dengan krisis berterusan, penyelidikan saintifik pada masa ini lebih tertumpu kepada pembangunan tenaga alternatif bagi menggantikan penggunaan tenaga yang tidak boleh diperbaharui. Terdapat beberapa jenis peranti tenaga alternatif yang biasa digunakan iaitu suria, termoelektrik dan piezoelektrik. Di samping itu, penyelesaian yang seiring dengan kehendak dunia dalam menyasarkan sisa buangan sifar telah juga meningkatkan bilangan kajian dalam bidang penuaian tenaga.

1.3 PENYATAAN MASALAH

Termoelektrik merupakan satu peranti yang boleh bertindak sebagai penjana termoelektrik yang menukarkan tenaga haba kepada tenaga elektrik ataupun penyejuk termoelektrik yang menukarkan tenaga elektrik kepada tenaga haba. Kebanyakan penyelidikan sebelum ini telah membincangkan berkenaan analisis tingkah laku MTE yang berperanan sebagai penjana termoelektrik yang hanya melibatkan keadaan mantap sahaja di mana suhu sisi sejuaknya dikawal dengan menggunakan peranti penenggelam haba seperti yang dinyatakan dalam kajian Kossyvakis et al. (2015), Ando et al. (2014) dan Liang et al. (2011). Dalam bidang penyelidikan penyejuk termoelektrik, kajian tingkah laku keadaan fana ini sering dibincangkan kerana analisis matematikanya lebih ringkas berbanding penjana termoelektrik. Ini kerana analisis bagi penjana termoelektrik melibatkan nilai arus dan suhu yang sentiasa berubah dengan masa yang mana keadaan ini tidak berlaku kepada penyejuk termoelektrik (Nguyen & Pochiraju 2013). Kurangnya kajian tingkah laku penjana termoelektrik dalam keadaan fana disebabkan analisis matematikanya yang rumit telah menjadi fokus awal kajian ini. Penyejuk termoelektrik beroperasi dengan nilai arus masukan yang tetap dan diketahui dan yang hanya berbeza hanyalah nilai kecerunan suhu yang terhasil. Dalam keadaan sebenar, suhu masukan MTE akan sentiasa turun naik dengan perubahan masa yang mana ia bergantung penuh kepada medium di mana MTE tersebut akan digunakan. Ini menunjukkan bahawa analisis keadaan fana amat penting untuk diberikan tumpuan dalam kajian seterusnya bagi mendapatkan

gambaran tingkah laku MTE yang sebenar. Keadaan ini menjadi lebih penting apabila MTE tersebut digunakan untuk menyalurkan tenaga yang dituainya kepada sistem lain.

Dalam konteks MTE sebagai salah satu sumber tenaga hibrid, kajian yang lepas tidak mementingkan julat suhu terbaik sesebuah MTE itu mampu beroperasi. Fokus hanya diberikan tentang bagaimana untuk menjejak Titik Kuasa Maksimum (TKM) bagi MTE. Walaupun MTE boleh beroperasi pada mana-mana suhu di dalam julat suhu awal yang ditetapkan oleh pengeluar, namun kebolehgunaan MTE beroperasi dalam julat suhu terbaiknya akan meningkatkan kebolehpayaan MTE tersebut menghasilkan voltan tuaian yang lebih tinggi. Voltan tuaian yang lebih tinggi dapat menjamin kestabilan sambutan keluaran MTE. Keadaan ini amat penting untuk dikaji sebelum MTE disambungkan kepada litar Penjejakan Titik Kuasa Maksimum (PTKM) atau dihibridkan dengan sumber tenaga yang lain untuk menjadi SPTH.

Bagi meningkatkan kecekapan SS, litar pengawal yang direka dalam kajian lepas menggunakan peranti unsur pasif, bersama-sama dengan pemproses isyarat digital. Kelemahan utama teknik ini adalah berlakunya peningkatan penggunaan kuasa dalam litar kuasa disebabkan oleh pengiraan digital. Disebabkan itu satu pengawal baru yang tidak menggunakan pengiraan digital dan mampu meningkatkan voltan tuaian daripada MTE dan SS kepada nilai yang lebih tinggi dan stabil perlu direkabentuk. Disebabkan aplikasi SPTH ini akan digunakan untuk menyalurkan tenaga tuaiannya kepada peranti lain, oleh itu masa penjejakan titik kuasa dan kestabilan sambutan keluaran apabila disambungkan kepada beban amat dititikberatkan. Didapati daripada kajian yang lepas, tidak ada yang mengambil kira kesemua aspek ini dalam rekabentuk teknik PTKM mereka. Punca masalah ayunan yang diketengahkan oleh (Sahnoun et al. 2013) telah menjadi titik mula bagaimana aspek kestabilan sambutan tenaga SPTH amat penting bagi mendapatkan titik kuasa yang maksimum.

Atas sebab ini, pengawal suap depan yang bersesuaian yang menggunakan teknik pembentuk masukan diperkenalkan dalam kajian ini. Teknik yang biasanya digunakan untuk mengawal getaran bergerak atau sistem fleksibel dalam kajian

Rymansaib et al. (2013), Sahinkaya (2004) dan Sahinkaya (2001) dilihat mampu untuk menjaga kestabilan voltan yang dituai daripada MTE dan SS sebelum disambungkan kepada sistem PTKM dan seterusnya kepada beban. Ia juga mampu mengurangkan penggunaan kuasa kerana sifat asal pengawal ini yang menetapkan dahulu bentuk dan tingkah laku voltan keluaran sebelum persamaan pembentuk masukan didapatkan. Ini adalah berpandukan daripada tetapan umum bahawa voltan keluaran MTE adalah sangat rendah dan voltan keluaran SS pula bergantung kepada kehadiran sinaran cahaya matahari. Ia juga dilihat berkebolehan untuk meningkatkan masa PTKM berbanding skim PTKM yang sedia ada.

1.4 OBJEKTIF KAJIAN

Matlamat utama kajian ini adalah untuk mengurangkan kebergantungan kepada sumber tenaga yang tidak boleh diperbaharui dengan menggunakan sisa tenaga haba daripada tenaga yang sedia ada untuk menghasilkan tenaga elektrik yang boleh membekalkan tenaga kepada beban tertentu. Secara ringkas, objektif kajian ini dinyatakan seperti di bawah:

- i. Untuk memodelkan modul termoelektrik yang mampu untuk menuai tenaga daripada sumber kecerunan haba fana.
- ii. Untuk menentukan julat suhu terbaik MTE boleh berfungsi sebelum digabungkan dengan sumber tenaga alternatif yang lain bagi membentuk SPTH.
- iii. Untuk merekabentuk teknik PTKM yang baru yang mampu meningkatkan kestabilan voltan keluaran dan meningkatkan masa penjejakan TKM bagi SPTH.

1.5 SKOP PENYELIDIKAN

Kajian tingkahlaku MTE merangkumi dua jenis konfigurasi iaitu MTE tunggal dan berbilang. Kedua-dua konfigurasi ini dibuat adalah untuk menilai prestasi sesebuah MTE dalam susunan yang berbeza. Analisis bagi MTE berbilang dijalankan dalam dua jenis susunan iaitu MTE terlata tiga dan MTE terlata enam. Bagi menentukan

keberkesanan kaedah PTKM yang dicadangkan, perbandingan hasil kajian dibuat dengan teknik PTKM Usik dan Pantau (UnP). Prestasi masa penjejakan dan kestabilan sistem dianalisis secara terperinci. Analisis PTKM ini dijalankan secara litar terbuka dan tertutup yang mana analisis litar tertutup akan melibatkan beban dengan keperluan voltan sebanyak 5 V.

1.6 ORGANISASI TESIS

Tesis ini terdiri daripada lapan bab. Kajian perpustakaan yang menyeluruh berkenaan dengan kajian tingkah laku MTE pada keadaan fana dijelaskan di dalam tesis ini. Di samping itu, perbincangan mengenai operasi sesebuah MTE dan SS, pertimbangan yang diperlukan untuk membangunkan sistem MTE, SS dan MTE-SS SPTH, prosedur pembangunan ketiga-tiga sistem, pembangunan teknik PTKM baru, penilaian berkenaan teknik PTKM baru ini dengan beban dan tanpa beban dan pengaplikasian sistem ini untuk tujuan pengecasan beban serta di dalam kereta dinyatakan di dalam tesis ini. Untuk memudahkan pemahaman, organisasi tesis ini adalah seperti berikut:

Bab 1 menyatakan pengenalan awal kepada kajian yang dibuat di mana pernyataan masalah, objektif dan sumbangan kajian dijelaskan.

Bab 2 menerangkan tentang pengenalan awal kepada kajian ini yang merangkumi kajian perpustakaan berkenaan dengan kaedah penuaian tenaga yang bersesuaian untuk menuai tenaga daripada keluaran voltan yang amat rendah dalam lingkungan mV. Kajian yang terperinci dibuat untuk menentukan pemilihan sistem penuaian tenaga yang bersesuaian dengan had voltan keluaran yang dicadangkan untuk dijana keberkesanannya. Sebelum kajian pemilihan sistem dijelaskan dengan lebih lanjut, kepentingan sesebuah MTE untuk beroperasi dalam keadaan fana dijelaskan terlebih dahulu. Seterusnya kajian dibuat dengan membandingkan kaedah-kaedah pengawal yang telah ada dalam kajian lepas tentang bagaimana untuk meningkatkan prestasi sesebuah MTE, SS dan SPTH dari segi kepantasan masa penjejakan.

Bab 3 menjelaskan dengan terperinci berkenaan kajian tingkah laku MTE yang bekerja dalam situasi sumber fana di mana hasil analisis ini akan digunakan sebagai