

PENUAIAN TENAGA MENGGUNAKAN PENJANA THERMOELEKTRIK

LEONG ZHAN YUAN

**DISERTAI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT
MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN**

FERPUSTAKAM *
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH
FIZIK DENGAN ELEKTRONIK
FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2015



ARHIB



UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

JUDUL: PENULISAN TENAGA MENGGUNAKAN PENJANA THERMOELEKTRIKIJAZAH: SARJANA MUDA SAJNS DENGAN KEPUJIAN
FIZIK DENGAN ELEKTRONIK 26/82SAYA: LEONG ZHAN YUAN SESI PENGAJIAN: 2015
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan tesis * (LPSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tanuwaaan (/)

SULIT (Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD (Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana Penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

Disahkan oleh:

Nurulain Binti Ismail
LIBRARIAN
(TANDATANGAN PUSTAKA UNIVERSITI MALAYSIA SABAH)

(TANDATANGAN PENYELIA)

Alamat tetap: J. A. 6 Jalan Pandan
Indah 13, Taman Pandan Indah
55100 K.L

Dr. Afishah Alias

NAMA PENYELIA

Tarikh:

18/6/2015

Tarikh:

18/6/2015

Catatan :-

- * Potong yang tidak berkenaan.
- * Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.
- * Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana Secara penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM)

PERPUSTAKAAN UMS



* 1000368343 *



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN

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



LEONG ZHAN YUAN

(BS 12110291)

17th JUN 2015

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

DIPERAKUAN OLEH

Tandatangan

1) PENYELIA

(DR AFISHAH ALIAS)

b/p: 

Fouziah Md. Yassin
Penyeraht
Program Fizik Dengan Elektronik
Fakulti Sains dan Sumber Alam
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGHARGAAN

Saya mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan terima kasih kepada semua yang menyokong saya sepanjang projek tahun akhir ini untuk ijazah sarjana muda saya terutama penyelia saya Dr. Afishah Alias yang telah menjadi mentor yang hebat bagi saya. Saya berterima kasih atas panduan yang bercita-cita beliau, invaluable kritikan membina dan nasihat sepanjang kerja projek.

Juga, saya ingin merakamkan ucapan terima kasih tidak terhingga kepada ibu bapa saya yang telah menyokong saya dan menggalakkan saya sepanjang masa setiap kali saya berasa lemah dan kerugian. Galakan mereka adalah motivasi terbaik untuk saya terus pergi kerja saya.

Selain itu, ucapan terima kasih kepada rakan-rakan saya untuk masa berharga mereka dan kesabaran dalam berkongsi ilmu, pengalaman dan kebijaksanaan yang telah memberi inspirasi kepada saya dan memberikan beberapa idea projek saya. Selain itu, saya juga ingin berterima kasih kepada semua pensyarah yang telah memberi saya wawasan yang berguna dan berkongsi pendapat mereka kerana ini maklumat dan nasihat telah banyak membantu saya.

ABSTRAK

Sumber tenaga yang boleh diperbaharui secara semula jadi adalah sangat terhad. Tenaga secara semula jadi yang biasa kami dengar adalah tenaga solar, tenaga angin, atau tenaga hidro. Tujuan projek ini adalah meningkatkan pilihan teknologi untuk menghasilkan tenaga yang boleh diperbaharui. Penjana thermoelektrik adalah satu peranti yang menukar haba terus ke tenaga elektrik. Pemprosesan ini telah menggunakan satu fenomena yang dikenali sebagai kesan Seebeck. Kecekapan minimum bagi penjana thermoelektrik adalah $1.13\text{mV}/^\circ\text{C}$ dan $0.093\text{mA}/^\circ\text{C}$ manakala maximum kecekapan penjana thermoelektrik adalah $20\text{mV}/^\circ\text{C}$ dan $0.44\text{mA}/^\circ\text{C}$. Selain itu, semasa eksperimen dijalankan, *Joule Thief* didapati untuk meningkatkan voltan dan kuasa. Projek telah diuji dengan menggunakan perbezaan suhu dan litar *Joule Thief* juga dibangunkan. Perbezaan suhu yang tinggi di antara penjana thermoelektrik akan menghasilkan voltan yang tinggi. Peningkatan minimum adalah $9.07\text{mV}/^\circ\text{C}$ dan $0.54\text{mA}/^\circ\text{C}$ dan maximum adalah $80\text{mV}/^\circ\text{C}$ dan $0.94\text{mA}/^\circ\text{C}$ selepas menyambung dengan Joule Thief. Joule Thief juga telah membuktikan peningkatan voltan sebanyak 4 kali ganda (minimum) dan 8 kali ganda (maximum).

ABSTRACT

Renewable energy sources in nature is very limited. Natural energy that we used to know are solar energy, wind power or hydropower. The purpose of this project is to improve the selection of the technology to produce renewable energy. Thermoelectric generator is a device that converts heat directly into electricity. This processing uses a phenomenon known as the Seebeck effect. Efficiency for thermoelectricity generator for minimum is $1.13\text{mV}/^\circ\text{C}$, $0.093\text{mA}/^\circ\text{C}$ and maximum $20\text{mV}/^\circ\text{C}$, $0.44\text{mA}/^\circ\text{C}$. In addition, during the experiment, Joule Thief is found to increase voltage and power. The project has been tested by using the temperature difference and Joule Thief circuit is also developed. Throughout the test, efficiency of thermoelectric generator can be obtained. High temperature difference between thermoelectric generator will generate a high voltage. The increased value after with Joule Thief circuit is minimum $9.07\text{mV}/^\circ\text{C}$, $0.54\text{mA}/^\circ\text{C}$ and maximum $80\text{mV}/^\circ\text{C}$, $0.94\text{mA}/^\circ\text{C}$. Joule Thief also has shown an increase of 4 times the voltage (minimum) and 8 times (maximum).

SENARAI KANDUNGAN

Muka Surat

PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI FOTO	xii
SENARAI GRAF	xiii
SENARAI SIMBOL	xiv
 BAB 1 PENGENALAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Penyataan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Objektif	2
1.5 Skop Projek	2
 BAB 2 ULASAN LITERATUR	 3
2.1 Penjana Thermoelektrik (TEG)	3
2.2 Kesan Seebeck	4
2.3 Pekali Seebeck	5
2.4 Kesan Peltier	6
2.5 Kekonduksian Elektrik	7
2.6 Kesan Ketebalan Plat Seramik	8
2.7 Kesan Kepanjangan Kaki Semikonduktor	9

2.8 Kesan Kawasan Keratan Rentas Semikonduktor	10
2.9 Pengenalan kepada <i>JOULE THIEF</i>	12
BAB 3 METODOLOGI	13
3.1 Pengenalan	14
3.2 Carta Alir Proses Perlaksanaan Projek	15
3.3 Bahan dan Radas	15
3.3.1 Tin Minuman	15
3.3.2 Spray yang berwana hitam	15
3.3.3 Bekas yang berisi air	15
3.3.4 Penjana Thermoelektrik	15
3.3.5 Sink Haba	16
3.3.6 Joule Thief	16
3.3.7 Alat-alat pembinaan litar	16
3.4 Kaedah Kajian	17
3.4.1 Pembinaan Penjana Thermoelektrik	17
3.5 Projek Mechanisme	18
BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	19
4.1 Pengenalan	19
4.2 Gambar Rajah Hasil Projek	19
4.3 Gambar Rajah Susunan Komponen	20
4.3.1 Permukaan atasan yang diperbuat daripada tin-tin	20
4.3.2 Joule Thief	21
4.3.3 Permukaan sejuk kepada penjana thermoelektrik	22
4.4 KEPUTUSAN	23
4.4.1 Keputusan Kecekapan Penjana Thermoelektrik tanpa menggunakan Joule Thief	23
4.4.2 Keputusan Kecekapan Penjana Thermoelektrik dengan menggunakan Joule Thief	24
4.4.3 Perbandingan Output Voltan terhadap Perbezaan Suhu	25
4.4.4 Perbandingan Output Arus terhadap Perbezaan Suhu	26

4.4.5 Hasil Projek	27
BAB 5 KESIMPULAN DAN CADANGAN	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Cadangan	29
Rujukan	31

SENARAI JADUAL

MUKA SURAT

JADUAL 4.1 Voltan dan arus yang terhasil berdasarkan perbezaan suhu tanpa menggunakan <i>Joule Thief</i>	24
JADUAL 4.2 Voltan dan arus yang terhasil berdasarkan perbezaan suhu dengan menggunakan <i>Joule thief</i>	25



SENARAI RAJAH

MUKA SURAT

Rajah 2.1	Penjana Thermoelektrik (Tritt, 2000)	4
Rajah 2.2	Kesan Seebeck (Morelli, 1997)	5
Rajah 2.3	Kesan Peltier (N.Ari, 2010)	7
Rajah 2.4	Graf kuasa dan kecekapan melawan ketebalan penjana thermoelektrik (Meng <i>et al.</i> , 2013)	9
Rajah 2.5	Graf kuasa dan kecekapan melawan kepanjangan kaki semiconductor (Meng <i>et al.</i> , 2013)	10
Rajah 2.6	Graf kuasa dan kecekapan melawan kawasan keratan rentas semiconductor (Meng <i>et al.</i> , 2013)	11
Rajah 2.7	Gambar rajah <i>skematic Joule Thief</i>	13
Rajah 3.1	Carta Alir Proses Perlaksanaan Projek	15
Rajah 4.1	Litar Skematik bagi <i>Joule Thief</i>	21
Rajah 4.2	Graf output voltan (V) terhadap perbezaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)	25
Rajah 4.3	Graf output arus (mA) terhadap perbezaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)	26

SENARAI FOTO

MUKA SURAT

Foto 3.1	Contoh Susunan Tin Minuman	18
Foto 4.1	Sistem Penuaian Tenaga menggunakan Penjana Thermoelektrik	21
Foto 4.2	Gambar tin-tin yang dikumpulkan sebelum (kiri) dan selepas (kanan) disemburkan warna hitam	21
Foto 4.3	Bahagian bawah untuk penjana thermoelektik	22
Foto 4.4	Hasil projek keseluruhan	27
Foto 4.5	LED telah menyala dengan menggunakan penjana thermoelektrik	28

SENARAI GRAF

MUKA SURAT

Graf 4.1	Graf output voltan (V) terhadap perbezaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)	26
Graf 4.2	Graf output arus (mA) terhadap perbezaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)	27

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

P_{area}	Kawasan P
S_p	Kuasa output per unit luas keratin rentas
T_c	Suhu yang sejuk
T_h	Suhu yang panas
μVK^{-1}	Micro-Voltage per Kelvin
AEC / q	Entropi per pembawa
C	Haba tertentu
DT	Perbezaan Suhu (<i>difference of temperature</i>)
DV	Perbezaan Voltan (<i>difference of voltage</i>)
J	Ketumpatan yang sama semasa
m	Mobiliti
$mV K^{-1}$	Mili-Voltage per Kelvin
N	Jumlah operator
n	Pembawa electron
p	Pembawa lubang
q	Pembawa cas

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar belakang

Sumber tenaga yang boleh diperbaharui boleh diganti secara semula jadi dalam jangka masa yang singkat. Sumber tenaga ini akan kekal selamanya walaupun kita berterusan menggunakaninya. Sumber tenaga yang boleh diperbaharui ialah tenaga solar, tenaga angin, atau tenaga hidro. Kebanyakan sumber – sumber tenaga yang boleh diperbaharui ini digunakan untuk menghasilkan arus elektrik. Tenaga solar dihasil oleh matahari yang boleh ditukarkan kepada tenaga elektrik dengan menggunakan alat voltan foto atau sel solar. Selain itu, angin adalah tenaga yang boleh diperbaharui sama seperti tenaga solar kerana ia sentiasa bertiup. Tenaga angin dihasil oleh angin yang boleh ditukarkan kepada tenaga elektrik dengan menggunakan turbin angin. Tenaga hidro berasal dari air mengalir dan boleh diubah menjadi tenaga elektrik. Empangan telah digunakan sebagai sebuah stesen janakuasa hidro untuk menakung air sungai.

Sumber tenaga yang boleh diperbaharui amat diperlukan. Oleh itu, kita harus meningkatkan kesedaran teknologi tenaga yang boleh diperbaharui. Penggunaan penjana thermoelektrik merupakan satu teknologi untuk menghasilkan tenaga yang boleh diperbaharui. Penjana thermoelektrik adalah satu peranti yang menukar haba terus ke tenaga elektrik. Pemprosesan ini telah menggunakan satu fenomena yang dikenali sebagai kesan Seebeck (*Seebeck effect*). Kesan ini dicipta untuk pengamiran suhu seluruh modul penjana thermoelektrik dari satu bahagian suhu panas ke satu bahagian suhu sejuk dengan menggerakkan fluks haba dari modul.

Dalam projek ini, penjana thermoelektrik digunakan untuk menghasilkan tenaga boleh diperbaharui. Melalui project ini, ia dapat membekalkan tenaga dan mempraktikan konsep *eco-green*.

1.2 Penyataan Masalah

- Tenaga yang dapat dihasilkan secara semula jadi tidak menggunakan secara optimum.
- Kekurangan sumber tenaga yang tidak boleh diperbaharui.

1.3 Tujuan

- Meningkatkan pilihan teknologi untuk menghasilkan tenaga yang boleh diperbaharui

1.4 Objektif

- Untuk mereka, membina dan menguji litar penjana thermoelektrik berdasarkan konsep *Joule Thief*.

1.5 Skop Projek

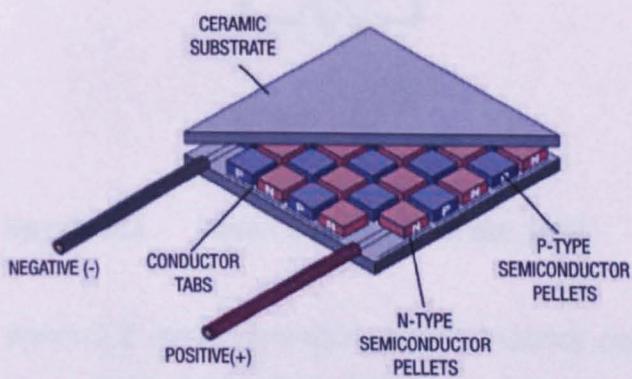
Projek ini akan menukar tenaga haba kepada tenaga elektrik dengan menggunakan penjana termoelektrik. Penjana thermoelektrik (juga dikenali sebagai penjana Seebeck) adalah peranti yang menukar haba berdasarkan perbezaan suhu kepada tenaga elektrik, dengan menggunakan satu fenomena yang dipanggil kesan Seebeck (suatu bentuk kesan thermoelektrik).

BAB 2

ULASAN LITERATUR

2.1 Penjana Thermoelektrik (TEG)

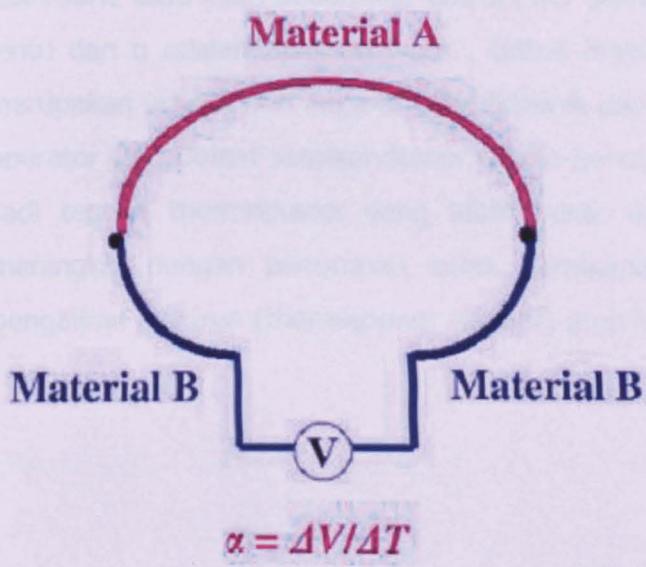
Pada tahun 1990-an terdapat minat yang meningkat dalam bidang thermoelektrik didorong oleh keperluan untuk bahan-bahan yang lebih cekap untuk penyejukan elektronik dan penjanaan kuasa (Tritt, 2000). Aplikasi industri dan ketenteraan telah mencadangkan termoelektrik (TEG) iaitu teknologi yang dapat menjana tenaga untuk memenuhi peningkatan aktiviti dalam bidang ini yang menuntut prestasi yang lebih tinggi. Sebagai contoh, penyejukan termoelektrik merupakan kaedah *eco green* kecil-skala penyejukan setempat dalam komputer, pengesan inframerah, elektronik dan opto-elektronik serta banyak aplikasi lain (Nolas *et al.*, 2001).



Rajah 2.1 Penjana Thermoelektrik (Tritt, 2000)

2.2 Kesan Seebeck

Kesan seebeck juga dikenali sebagai thermoelektrik effect. Ia adalah satu fenomena di mana perbezaan suhu antara dua konduktor elektrik yang berbeza atau semikonduktor menghasilkan perbezaan voltan antara kedua-dua bahan. Apabila haba digunakan untuk salah satu daripada dua konduktor atau semikonduktor, elektron dipanaskan mengalir ke arah yang lebih sejuk. Perbincangan tentang kesan termoelektrik dan peranti harus bermula dengan fenomena yang paling asas, kesan Seebeck atau *thermopower* (Morelli, 1997). Nisbah antara voltan dan kecerunan suhu (DV/ DT) adalah berkaitan dengan sifat intrinsic bahan yang dikenali sebagai pekali Seebeck (α) atau *thermopower*. Pekali Seebeck bagi logam adalah sangat rendah, ia hanya sedikit $\mu V K^{-1}$ manakala pekali Seebeck bagi semiconductor adalah banyak.



Rajah 2.2 Kesan Seebeck (Morelli, 1997)

Rajah 2.2 menggambarkan kesan Seebeck dari beberapa dua bahan yang berbeza, di mana perbezaan voltan (DV) yang dihasilkan yang sebanding dengan suhu kecerunan (DT) antara ujung pasangan. Penjelasan kesan Seebeck memerlukan pemahaman sifat-sifat elektron di dalam logam. Tidak semua elektron di dalam logam yang terikat kepada atom tertentu, ada yang bebas bergerak. Elektron bebas berkelakuan seperti gas, ketumpatan yang "percuma" elektron (jumlah per unit isipadu) berbeza daripada logam.

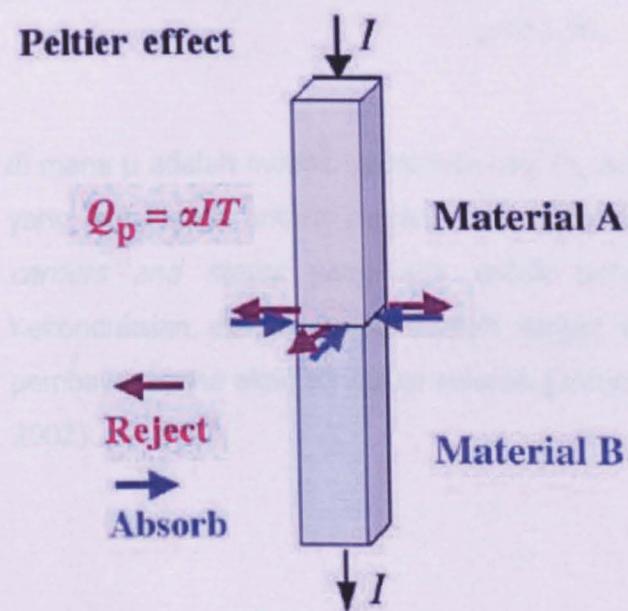
Oleh itu, apabila dua logam yang berbeza diletakkan di dalam kenalan, gas elektron mereka meresap ke dalam satu sama lain. Oleh kerana ketumpatan yang berbeza daripada gas elektron dan kerana elektron membawa cas elektrik, logam di persimpangan menjadi bercas berlawanan. Perbezaan yang bertanggungjawab menghasilkan beza keupayaan merentasi simpang. Tahap resapan daripada "gas elektron" bergantung kepada suhu. Jika kedua-dua persimpangan adalah pada suhu yang berbeza, perbezaan potensi akan wujud di antara persimpangan dan aliran kehendak semasa (Nolas *et al.*, 2002).

2.3 Pekali Seebeck

Kuasa termoelektrik atau pekali Seebeck (α) boleh dianggap sebagai haba per pembawa lebih suhu atau lebih sederhana entropi per pembawa, AEC / q di mana C adalah haba tentu dan q adalah pembawa cas . Untuk logam, haba per pembawa pada dasarnya merupakan produk dari haba tentu elektronik dan suhu yang dibahagikan dengan jumlah operator (N). Dalam semikonduktor, zarah bercas pertama harus teruja di sebuah gap. Jadi tenaga thermopower yang lebih besar daripada ciri-ciri nilai $87 \text{ mV } K^{-1}$ dan meningkat dengan penurunan suhu. Semikonduktor dapat menunjukkan sama ada pengaliran elektron (thermopower negatif) atau lubang konduksi (thermopower positif).

2.4 Kesan Peltier

Kesan yang berkaitan (kesan Peltier) ditemukan beberapa tahun kemudian oleh Peltier, yang mengamati bahawa jika arus elektrik dialirkan melalui persimpangan dua bahan yang berbeza, sama ada panas atau diserap ditolak di persimpangan bergantung pada arah arus. Kesan ini adalah disebabkan oleh perbezaan dalam Tenaga Fermi kedua-dua bahan-bahan (Ari, 2010).



Rajah 2.3 Kesan Peltier (Ari, 2010)

Rajah 2.3 menggambarkan kesan Peltier antara dua bahan-bahan yang berbeza (A dan B). Sebagai arus (I) aliran melalui pertemuan dua bahan, panas adalah sama ada diserap atau ditolak bergantung kepada arahan arus yang melalui kedua-dua bahan.

2.5 Kekonduksian Elektrik

Kekonduksian elektrik berkaitan dengan ketumpatan pembawa cas (n) dan mobiliti (m), biasanya diberikan oleh

$$\sigma = n e \mu \quad (1)$$

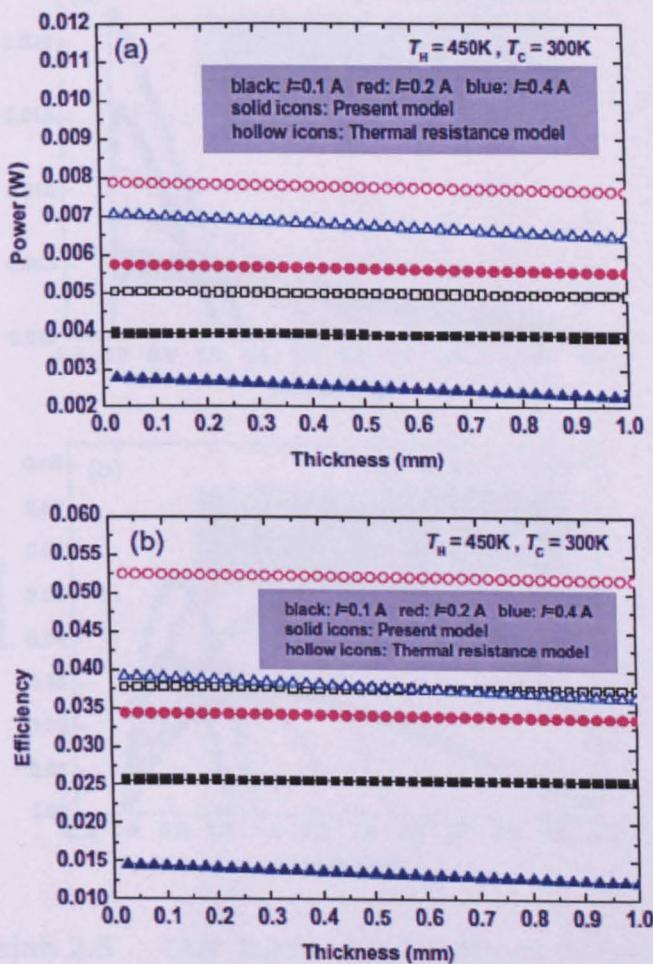
Mobiliti yang diberikan oleh:

$$\mu = e t / m_e \quad (2)$$

di mana μ adalah mobiliti pembawa cas, m_e adalah jisim berkesan, dan t ialah masa min yang berselerak antara perlanggaran pembawa cas. Dalam logam terdapat banyak *carriers and states* yang ada untuk pengaliran, biasanya $n \approx 10^{22}$ pembawa . Kekonduksian elektrik maka adalah sangat besar bagi logam. Untuk semikonduktor, pembawa terma akan teruja ke seluruh jurang untuk kekonduksian berlaku (Nolas *et al.*, 2002).

2.6 Kesan Ketebalan Plat Seramik

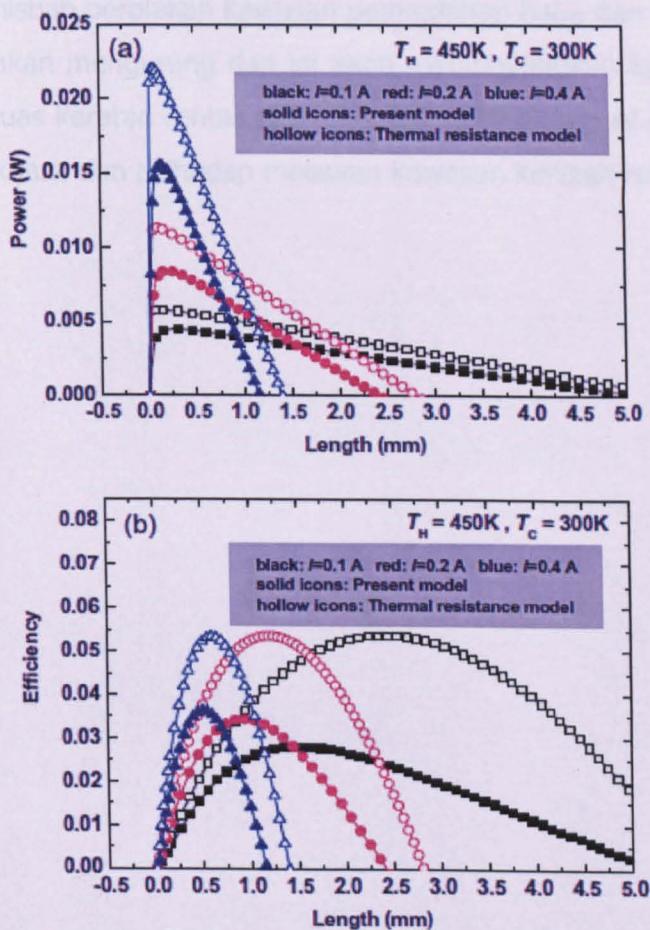
Sebagai penebat elektrik, pemindahan plat seramik panas daripada sumber luar haba kepada p-n persimpangan dan juga daripada p-n simpang ke sink haba luar. Oleh kerana bukan sifar haba lintangan plat seramik, tebalnya secara langsung memberi kesan kepada suhu simpang panas dan sejuk, dan dengan itu mempunyai kesan signifikan ke atas prestasi penjana termoelektrik. Dengan peningkatan ketebalan plat seramik, ia akan mengurangkan daya elektromotif Seebeck dan juga mengurangkan litar terbuka voltan (Meng *et al.*, 2013). Rajah 2.4 menunjukkan graf kuasa dan kecekapan terhadap ketebalan penjana thermoelektrik.



Rajah 2.4 Graf kuasa dan kecekapan terhadap ketebalan penjana thermoelektrik (Meng *et al.*, 2013)

2.7 Kesan Kepanjangan Kaki Semikonduktor

Apabila panjang kaki semikondutor semakin memanjang, P dan n akan mencapai nilai puncak dalam kepanjangan tertentu, kemudian akan menurun secara perlahan-lahan. Walau bagaimanapun, panjang kaki yang sepadan dengan μ_{max} adalah berbeza antara satu sama lain yang akan bergerak ke arah panjang di kadar arus rendah). Oleh itu, untuk mereka bentuk TEGs yang berprestasi tinggi, pilihan untuk TEGs kedua dua panjang kaki yang optimum mestilah betul (Meng *et al.*, 2013). Rajah 2.5 menunjukkan graf kuasa dan kecekapan terhadap kepanjangan kaki semiconductor.



Rajah 2.5 Graf kuasa dan kecekapan terhadap kepanjangan kaki semikonduktor (Meng *et al.*, 2013)

Rujukan

- Ari, N., & Kribus, A. 2010. Impact of the Peltier effect on concentrating photovoltaic cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **94**(12), 2446-2450.
- Caillat, T., Fleurial, J. P., & Borshchevsky, A. 1997. Preparation and thermoelectric properties of semiconducting Zn. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **58**(7), 1119-1125.
- Chung, D. Y., Hogan, T., Brazis, P., Rocci-Lane, M., Kannewurf, C., Bastea, M., & Kanatzidis, M. G. 2000. CsBi₄Te₆: A high-performance thermoelectric material for low-temperature applications. *Science*, **287**(5455), 1024-1027.
- Kato, Y. 2010. Splish: a visual programming environment for Arduino to accelerate physical computing experiences. In *Creating Connecting and Collaborating through Computing (C5)*, 2010 Eighth International Conference on (pp. 3-10). IEEE.
- Meng, J. H., Zhang, X. X., & Wang, X. D. 2015. Characteristics analysis and parametric study of a thermoelectric generator by considering variable material properties and heat losses. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **80**, 227-235.
- Nolas, G. S., Morelli, D. T., & Tritt, T. M. 1999. Skutterudites: A phonon-glass-electron crystal approach to advanced thermoelectric energy conversion applications. *Annual Review of Materials Science*, **29**(1), 89-116.
- Nolas, G. S., Sharp, J., & Goldsmid, H. J. 2001. Thermoelectrics: basic principles and new materials developments Vol. **45**. Springer.
- Sharp, J. W., Sales, B. C., Mandrus, D. G., & Chakoumakos, B. C. 1999. Thermoelectric properties of Tl₂SnTe₅ and Tl₂GeTe₅. *Applied physics letters*, **74**(25), 3794-3796.
- Teikari, P., Najjar, R. P., Malkki, H., Knoblauch, K., Dumortier, D., Gronfier, C., & Cooper, H. M. 2012. An inexpensive Arduino-based LED stimulator system for vision research. *Journal of neuroscience methods*, **211**(2), 227-236.
- Tritt, T. 2000. *Advances in Thermoelectric Materials I* Vol. **69**. Academic Press.
- Wheat, D., Kelly, S., & Muñoz, J. 2011. *Arduino internals* (p. 387). Apress.