

**SIMULASI PENGARUH DESAIN GEOMETRI  
COUPLE MODULE THERMOELECTRIC GENERATOR  
TERHADAP DAYA KELUARAN DAN TEGANGAN LISTRIK  
YANG DIHASILKAN DENGAN MENGGUNAKAN  
SOFTWARE ANSYS APDL**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**



**Oleh:**

**AGUS SURATWAN**  
**NIM. I 0410002**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**  
*combiner user*  
**2015**



**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR  
PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**

Program Studi : **S1 Reguler**  
Nomor : **0564/TA/S1/02/2015**

Nama : **AGUS SURATWAN**  
NIM : **I0410002**  
Bidang : **Konversi Energi**  
Pembimbing 1 : **DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT/197106151998021002**  
Pembimbing 2 : **EKO PRASETYO B., ST,MT/197109261999031002**  
Penguji : **1. TRI ISTANTO, ST,MT/ 197308202000121001**  
**2. DR. TECHN SUYITNO., MT./ 197409022001121002**  
**3. AGUNG TRI WIJAYANTA, S.T., M.Eng., Ph.D./**  
**197108311997021001**

Mata Kuliah Pendukung

- 1. METODE ELEMEN HINGGA(MS63022-10)**
- 2. MESIN KONVERSI ENERGI(MS76023-10)**
- 3. METODE KOMPUTASI & NUMERIK(MS62012-10)**

Judul Tugas Akhir

**"SIMULASI PENGARUH DESAIN GEOMETRI COUPLE  
MODULE THERMOELECTRIC GENERATOR TERHADAP  
OUTPUT POWER DAN VOLTAGE YANG DIHASILKAN  
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS APDL"**



Surakarta, **2015-02-03 09:17:23**  
Ketua Jurusan Teknik Mesin,


**DIDIK DJOKO SUSILO, ST,MT**  
NIP. **197203131997021001**

Tembusan :

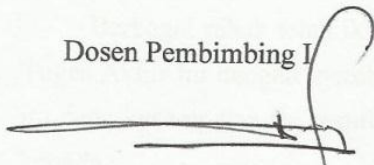
1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

**SIMULASI PENGARUH DESAIN GEOMETRI  
COUPLE MODULE THERMOELECTRIC GENERATOR TERHADAP  
DAYA KELUARAN DAN TEGANGAN LISTRIK YANG DIHASILKAN  
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS APDL**

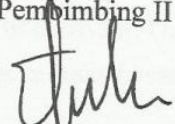
Disusun oleh:

  
AGUS SURATWAN  
NIM. I 0410002

Dosen Pembimbing I

  
Dr. Eng. Syamsul Hadi, S.T., M.T.  
NIP. 197106151998021002

Dosen Pembimbing II

  
Eko Prasetyo B, ST.,MT.  
NIP. 197109261999031002

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari senin tanggal  
9 Februari 2015

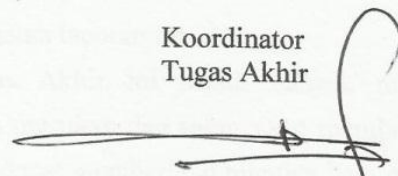
1. Tri Istanto, ST.,MT.  
NIP. 197308202000121001
2. Dr. Techn Suyitno., MT.  
NIP. 197409022001121002

  
.....  
.....

Mengetahui,

  
Ketua Jurusan  
Teknik Mesin  
  
Didik Djoko Susilo, ST.,MT.  
NIP. 197203131997021001

Koordinator  
Tugas Akhir

  
Dr. Eng. SYAMSUL HADI S.T., M.T.  
NIP. 197106151998021002

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrohim*, segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan segala kemudahanNya hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Simulasi Pengaruh Desain Geometri *Couple Module Thermoelectric Generator* Terhadap Daya Keluaran dan Tegangan Listrik yang Dihasilkan dengan Menggunakan *Software ANSYS APDL*”.

Berbagai pihak telah ikut berperan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan memberikan arahan dan bimbingan serta motivasi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak [Dr. Eng. Syamsul Hadi, S.T., M.T.](#) selaku pembimbing I tugas akhir yang telah mengarahkan dan selalu memberikan semangat kepada penulis.
2. Bapak Eko Prasetyo B. ST.,MT selaku pembimbing II tugas akhir yang telah mengarahkan dan selalu memberikan semangat kepada penulis.
3. Bapak Tri Istanto, S.T., M.T., Bapak Dr. Techn Suyitno, M.T., dan Bapak Agung Tri Wijayanta, S.T.,M.Eng.,Ph.D. selaku Dosen Penguji.
4. Kedua orang tua dan kakak-kakakku yang tidak henti-hentinya memberikan doa dan dukungannya sehingga tugas akhir dapat terselesaikan dengan baik.
5. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2010 yang telah menyediakan waktu untuk membagi ilmu dan gurauan mereka ketika penulis memiliki permasalahan.
6. Pacarku OAS yang selalu cerewet memberikan *support* ketika penulis mulai putus asa mengerjakan tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang terkait dalam pembuatan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Surakarta, Februari 2015

*commit to user*

Penulis

**ABSTRAK****SIMULASI PENGARUH DESAIN GEOMETRI  
COUPLE MODULE THERMOELECTRIC GENERATOR TERHADAP  
DAYA KELUARAN DAN TEGANGAN LISTRIK YANG DIHASILKAN  
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS APDL****Agus Suratwan**

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Surakarta, Indonesia

E-mail : [agus.suratwan@gmail.com](mailto:agus.suratwan@gmail.com)

Penelitian tentang simulasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari desain geometri termoelektrik terhadap daya keluaran dan tegangan listrik yang dihasilkan, kemudian merekomendasikan desain geometri termoelektrik yang paling tepat. Desain termoelektrik generator (TEG) meliputi penentuan dimensi (lebar, panjang, dan tinggi), jumlah modul, dan material semikonduktor. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *coupled-field analysis* yang ada ANSYS APDL 14.5 pada kondisi *steady state*. Material termoelektrik dalam penelitian ini menggunakan ZnO doping Cu untuk tipe-p dan ZnO doping Al untuk tipe-n. Lebar elemen dan jumlah modul termoelektrik divariasikan untuk mendapatkan desain termoelektrik yang menghasilkan arus, daya, dan tegangan listrik yang paling besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa termoelektrik dengan lebar elemen 0,94 mm ; 1,125 mm ; 1,05 mm dan 1,2 mm menghasilkan daya keluaran dan tegangan listrik paling besar, yaitu 0,32 W dan 0,89 V ; 0,38 W dan 0,98 V ; 0,45 W dan 1,06 V ; 0,52 W dan 1,13 V.

Kata kunci : Termoelektrik generator, ANSYS, desain geometri, daya listrik

**ABSTRACT****SIMULATION OF EFFECT OF GEOMETRIC DESIGN OF  
COUPLED MODULE THERMOELECTRIC GENERATOR ON  
ELECTRICAL POWER OUTPUT AND VOLTAGE GENERATED WITH  
ANSYS APDL SOFTWARE****Agus Suratwan**

Mechanical Engineering Department  
The Faculty of Engineering, Sebelas Maret University  
Surakarta, Indonesia

E-mail : [agus.suratwan@gmail.com](mailto:agus.suratwan@gmail.com)

The objectives of this simulation research are to investigate the effect of thermoelectric geometric design on the electrical output power and voltage and to recommend the most appropriate thermoelectric geometric design. The design of thermoelectric generator (TEG) includes the determinations of dimension (width, length, and height), number of modules, and semiconductor materials. The simulation used the coupled-field analysis of ANSYS APDL 14.5 in the steady state condition. The thermoelectric material used ZnO doping Cu for p type and ZnO doping Al for n type. The width of element and the number of thermoelectric module were varied so as to obtain a thermoelectric design, which produces the largest current, power, and voltage. The result of research shows that the thermoelectric generator with the element widths of 0.94 mm ; 1.125 mm ; 1.05 mm and 1.2 mm generates the largest power output and voltage, namely: 0.32 W and 0.89 V; 0.38 W and 0.98 V ; 0.45 W and 1.06 V; and 0.52 W and 1.13 V respectively.

**Keywords:** Thermoelectric generator, ANSYS, geometric design, electrical power

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR RUMUS .....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori.....	5
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Prosedur Penelitian.....	13
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Variasi 1 .....	32
4.2 Variasi 2 .....	39
4.3 Variasi 3 .....	40
4.4 Variasi 4 .....	41
4.5 Perbandingan <i>output</i> pada kelima variasi .....	42

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan ..... 48

5.2 Saran..... 48

DAFTAR PUSTAKA ..... 49

LAMPIRAN ..... 51





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Termoelektrik .....	6
Gambar 2.2 Thermoelectric generator (TEG).....	6
Gambar 2.3 Hubungan koefisien Seebeck terhadap temperatur .....	7
Gambar 2.4 Hubungan <i>Internal resistance</i> modul termoelektrik terhadap temperatur.....	9
Gambar 2.5 Hubungan konduktivitas termal modul termoelektrik terhadap temperatur.....	9
Gambar 2.6 Daya yang dihasilkan <i>single thermocouple</i> pada gradien temperatur.....	10
Gambar 2.7 Tipikal yang khas dalam termoelektrik.....	11
Gambar 3.1 Geometri termoelektrik .....	13
Gambar 3.2 Distribusi temperatur.....	14
Gambar 3.3 Hubungan RL dengan <i>output power</i> .....	14
Gambar 3.4 Geometri termoelektrik untuk validasi ANSYS 14.5.....	15
Gambar 3.5 Distribusi temperatur ANSYS APDL .....	16
Gambar 3.6 Hubungan RL dengan <i>output power</i> ANSYS APDL .....	17
Gambar 3.7 Detail modul termoelektrik .....	18
Gambar 3.8 Desain geometri.....	22
Gambar 3.9 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 4.1 Hubungan <i>load resistance</i> dengan output power yang dihasilkan termoelektrik.....	28
Gambar 4.2 Hasil <i>meshing</i> .....	31
Gambar 4.3 Distribusi temperatur.....	31
Gambar 4.4 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan kalor yang diserap pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ variasi 1 .....	33
Gambar 4.5 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan arus yang dihasilkan termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ variasi 1 .....	34

Gambar 4.6 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan daya yang dihasilkan termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ variasi 1 .....	36
Gambar 4.7 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan tegangan yang dihasilkan termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ variasi 1 .....	37
Gambar 4.8 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan efisiensi termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ variasi 1 .....	38
Gambar 4.9 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan kalor yang diserap pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ .....	42
Gambar 4.10 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan arus yang dihasilkan termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ .....	43
Gambar 4.11 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan daya yang dihasilkan termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ .....	44
Gambar 4.12 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan tegangan yang dihasilkan termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ .....	45
Gambar 4.13 Hubungan antara lebar elemen modul termoelektrik dengan efisiensi termoelektrik pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ .....	46

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi termoelektrik Chris Gould and Noel Shammass.....	15
Tabel 3.2 <i>Material properties</i> silikon <i>doping</i> boron untuk tipe-p dan silikon <i>doping phosphorus</i> untuk tipe-n.....	15
Tabel 3.3 Dimensi termoelektrik pada variasi geometri 1 .....	18
Tabel 3.4 Dimensi termoelektrik pada variasi geometri 2 .....	19
Tabel 3.5 Dimensi termoelektrik pada variasi geometri 3 .....	19
Tabel 3.6 Dimensi termoelektrik pada variasi geometri 4 .....	20
Tabel 4.1 Properti material tipe-p .....	27
Tabel 4.2 Properti material tipe-n .....	27
Tabel 4.3 Properti material <i>copper</i> .....	27
Tabel 4.4 Properti material <i>substrate</i> .....	27
Tabel 4.5 Hasil <i>output</i> termoelektrik untuk beberapa variasi <i>load resistance</i> .....	28
Tabel 4.6 Dimensi geometri modul termoelektrik pada variasi 1 .....	32
Tabel 4.7 Data hasil keluaran pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ pada variasi 1 .....	32
Tabel 4.8 Dimensi geometri modul termoelektrik pada variasi 2.....	39
Tabel 4.9 Data hasil keluaran pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ pada variasi 2 .....	39
Tabel 4.10 Dimensi geometri modul termoelektrik pada variasi 3 .....	40
Tabel 4.11 Data hasil keluaran pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ pada variasi 3 .....	40
Tabel 4.12 Dimensi geometri modul termoelektrik pada variasi 4.....	41
Tabel 4.13 Data hasil keluaran pada $\Delta T = 373^{\circ}\text{C}$ pada variasi 4 .....	41

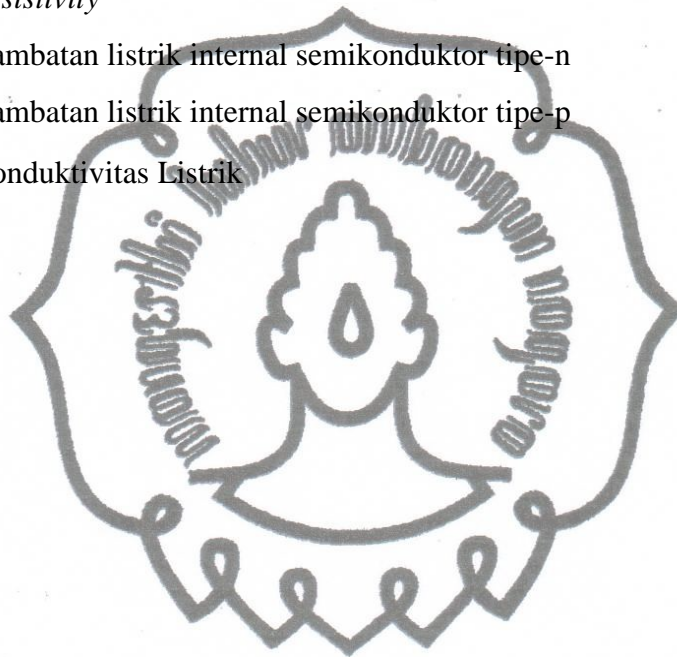
## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Vase Seebeck .....	7
Rumus 2.2 Efek Peltier .....	8
Rumus 2.3 Efek Thomson.....	8
Rumus 2.4 Joule heat .....	9
Rumus 2.5 Daya listrik.....	10
Rumus 2.6 <i>Figure of merit</i> .....	11
Rumus 2.7 Koefisien Seebeck .....	11
Rumus 2.8 Konduktivitas listrik .....	12
Rumus 2.9 Konduktivitas termal.....	12
Rumus 2.10 Temperatur rata-rata .....	12
Rumus 3.1 Hukum termodinamika I.....	23
Rumus 3.2 Efek Peltier .....	23
Rumus 3.3 Kalor Peltier.....	23
Rumus 3.4 Joule heating .....	23
Rumus 3.5 Kerja pada termoelektrik .....	23
Rumus 3.6 Kalor yang diserap sisi panas termoelektrik .....	23
Rumus 3.7 Arus listrik .....	24
Rumus 3.8 Daya keluaran .....	24
Rumus 3.9 Tegangan.....	24
Rumus 3.10 Efisiensi termal .....	24
Rumus 3.11 Koefisien Seebeck kombinasi .....	24
Rumus 3.12 Hambatan listrik internal .....	25
Rumus 3.13 Konduktivitas termal internal .....	25
Rumus 3.14 Perbedaan temperatur .....	25

### DAFTAR NOTASI

$A_n$	= Luas area semikonduktir tipe-n = $W_n \times L_n$	(m <sup>2</sup> )
$A_p$	= Konduktivitas termal semikonduktor tipe-p = $W_p \times L_p$	(m <sup>2</sup> )
$I$	= Arus yang dihasilkan termoelektrik	(Ampere)
$K$	= Konduktivitas termal total	(W/m.K)
$\kappa_e$	= Konduktivitas Termal Elektron	(W/m.K)
$\kappa_{ph}$	= Konduktivitas Termal Foton	(W/m.K)
$L_n$	= Tinggi semikonduktor tipe-n	(m)
$L_p$	= Tinggi semikonduktor tipe-p	(m)
$P_o$	= Daya yang dihasilkan termoelektrik	(W)
$Q_h$	= Kalor yang diserap termoelektrik	(W)
$Q_P$	= Kalor Peltier	(W)
$Q_t$	= Kalor Thomson	(W)
$Q_j$	= Joule heat	(W)
$R$	= Hambatan listrik internal total	( $\Omega$ m)
$R_o$	= Load resistance	( $\Omega$ )
$S$	= Koefisien Seebeck	(V/K)
$T$	= Temperatur	(K)
$T_H$	= Temperatur panas	(K)
$T_C$	= Temperatur dingin	(K)
$\Delta V$	= Perbedaan Tegangan	( $\mu$ V)
$\Delta T$	= Perbedaan Temperatur	(K)
$V$	= Tegangan yang dihasilkan termoelektrik	(V)
$V_S$	= Vase Seebeck	(V)
$ZT$	= Figure of Merit	
$\alpha$	= Koefisien Seebeck total <i>commit to user</i>	(V/K)

$\alpha_n$	= Koefisien Seebeck semikonduktor tipe-n	(V/K)
$\alpha_p$	= Koefisien Seebeck semikonduktor tipe-p	(V/K)
$\eta$	= Efisiensi termal termoelektrik	(%)
$\lambda_n$	= Konduktivitas termal semikonduktor tipe-n	(W/m.K)
$\lambda_p$	= Konduktivitas termal semikonduktor tipe-p	(W/m.K)
$\mu_T$	= Koefisien Thomson	
$\pi$	= Koefisien Peltier	
$\rho$	= <i>Resistivity</i>	( $\Omega\text{m}$ )
$\rho_n$	= Hambatan listrik internal semikonduktor tipe-n	( $\Omega\text{m}$ )
$\rho_p$	= Hambatan listrik internal semikonduktor tipe-p	( $\Omega\text{m}$ )
$\sigma$	= Konduktivitas Listrik	(Siemens/m)



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Command Prompt*

Lampiran 2 Hasil *Meshing* dan Distribusi Temperatur

Lampiran 3 Grafik data keluaran modul termoelektrik

Lampiran 4 Variasi *Load Resistance* dan  $\Delta T$

Lampiran 5 Analisa Non Dimensional

Lampiran 6 Perhitungan Manual

