



**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR OPERASIONAL DALAM
SIMULASI KARAKTERISTIK ARUS-TEGANGAN
PADA DIODA Si MENGGUNAKAN FEMLAB**

SKRIPSI

Oleh
HERI KURNIAWAN
NIM 081810201016

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR OPERASIONAL DALAM
SIMULASI KARAKTERISTIK ARUS-TEGANGAN
PADA DIODA Si MENGGUNAKAN FEMLAB**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Ilmu Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
HERI KURNIAWAN
NIM 081810201016

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Titik Dahliawati serta Ayahanda Mohammad Hafit tercinta yang selalu menghantarkan setiap nafasku dengan hembusan doanya;
2. Ibu Endhah Purwandari, S.Si, M.Si, dan Bapak Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si yang selalu memberikan bimbingan dan arahnya;
3. para pahlawan tanpa tanda jasa sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidiku dengan penuh perhatian dan kesabaran;
4. Adik Muhammad Dwi Hendriyazah, serta sobat-sobat seperjuangan yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam setiap kesulitan;
5. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTO

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”
(Terjemahan Surat Al Fatihah, ayat 1)¹

“Dan orang-orang yang telah diberi ilmu, meyakini bahwasannya Al Qur’an itulah yang hak dari Tuhanmu lalu mereka beriman dan tunduk hati mereka kepada-Nya dan sesungguhnya Allah adalah Pemberi Petunjuk bagi orang-orang yang beriman kepada jalan yang lurus”
(Terjemahan Surat Al Hajj, ayat 54)¹

¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: Syaamil

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Heri Kurniawan

NIM : 081810201016

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisa Pengaruh Temperatur Operasional dalam Simulasi Karakteristik Arus-Tegangan pada Dioda Si Menggunakan *FEMLAB*” adalah benar-benar hasil karya tulis sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,

Yang menyatakan,

Heri Kurniawan

NIM 081810201016

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR OPERASIONAL DALAM
SIMULASI KARAKTERISTIK ARUS-TEGANGAN
PADA DIODA Si MENGGUNAKAN FEMLAB**

Oleh

Heri Kurniawan
NIM 081810201016

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Endhah Purwandari, S.Si, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisa Pengaruh Temperatur Operasional dalam Simulasi Karakteristik Arus-Tegangan pada Dioda Si Menggunakan *FEMLAB* " telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat :

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Endhah Purwandari, S.Si, M.Si
NIP 19811111 200501 2 001

Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si
NIP 19671215 199802 1 001

Anggota I,

Anggota II

Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc, Ph.D
NIP 19620311 198702 1 001

Dra. Arry Yuariatun Nurhayati
NIP 19610909 198601 2 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas MIPA,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D
NIP 19610108 198602 1 001

RINGKASAN

Analisa Pengaruh Temperatur Operasional dalam Simulasi Karakteristik Arus-Tegangan pada Dioda Si Menggunakan *FEMLAB*; Heri Kurniawan, 081810201016; 2012: 77 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Persambungan p-n atau dioda diciptakan dari bahan semikonduktor ekstrinsik tipe-p dan semikonduktor ekstrinsik tipe-n. Mutu pengoperasian dari dioda juga bergantung pada temperatur operasional dari dioda itu sendiri. Dioda dirancang bekerja baik pada temperatur ruang. Perubahan temperatur operasional dari dioda akan mempengaruhi jumlah pembawa muatan, dengan demikian arus yang dihasilkan juga akan berubah terhadap perubahan temperatur. Arus yang dihasilkan merupakan kontribusi dari pembawa muatan mayoritas yang merupakan fungsi tegangan masukan dioda. Keterkaitan antara arus-tegangan pada sambungan p-n dioda dijelaskan oleh kurva karakteristik arus-tegangan. Adanya perubahan temperatur akan menyebabkan adanya perubahan kurva karakteristik arus-tegangan. Arus-tegangan memiliki ketergantungan secara implisit terhadap temperatur operasional melalui besaran arus saturasi (I_s). Temperatur operasional ini berkontribusi sangat besar terhadap konsentrasi pembawa muatan intrinsik (n_i) serta arus saturasi (I_s) dari dioda. Dalam hal ini, analisis kebergantungan distribusi elektron dan *hole* terhadap parameter temperatur operasional dapat dilakukan melalui kajian teoritik. Untuk itulah, diperlukan sebuah simulasi pemodelan distribusi pembawa

muatan di bawah variasi temperatur operasional tertentu, sehingga dapat dianalisis karakteristik arus-tegangan yang dihasilkan.

Di dalam penelitian ini, dilakukan simulasi karakteristik arus-tegangan yang diperoleh berdasarkan distribusi konsentrasi pembawa muatan. Model distribusi pembawa muatan *hole* dan elektron diperoleh dengan menyelesaikan persamaan dasar divais semikonduktor, yang diaplikasikan untuk dioda berbasis silikon. Pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak *FEMLAB* yang memiliki kelebihan selain dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial divais semikonduktor, juga mampu menggambarkan geometri dari divais, sehingga hasil simulasi ini lebih mudah untuk dianalisa. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh kemiripan antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen pembanding yakni Aslizar (1996).

Hasil penelitian yang sudah dilakukan diperoleh bahwa adanya variasi temperatur operasional menyebabkan adanya perubahan distribusi konsentrasi *hole* dan elektron. Hal ini terlihat bahwa untuk setiap *mesh* yang sama di dalam geometri dioda Si menghasilkan nilai konsentrasi *hole* maupun elektron yang semakin bertambah seiring dengan pertambahan temperatur operasional dioda. Berangkat dari adanya perubahan distribusi konsentrasi *hole* dan elektron di dalam pengaruh temperatur operasional oleh sebab itu dilakukan pengkajian tentang kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si. Dari hasil diperoleh adanya perubahan kurva karakteristik arus-tegangan di bawah pengaruh variasi temperatur operasional. Nilai arus dioda yang dihasilkan semakin bertambah seiring dengan pertambahan temperatur operasional pada tegangan masukan yang sama. Sesuai dengan teori yang ada bahwa parameter temperatur operasional mempengaruhi nilai konsentrasi muatan pembawa muatan intrinsik (n_i), nilai arus saturasi (I_s), dan fungsi eksponensial $e^{qV/kT}$ pada perhitungan arus dioda sehingga temperatur operasional sangatlah penting untuk di pertimbangkan di dalam pengoperasian dioda Si.

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya serta sentuhan kasih sayang –Nya yang tersirat dalam ilmu yang terdapat pada setiap jengkal luasnya alam semesta. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasul Tercinta Muhammad SAW hingga menembus keterbatasan dimensi ruang-waktu yang hanya akan berakhir pada penghujung usia semesta.

Karya tulis ilmiah (SKRIPSI) yang berjudul berjudul "**Analisa Pengaruh Temperatur Operasional dalam Simulasi Karakteristik Arus-Tegangan pada Dioda Si Menggunakan *FEMLAB***" ini penulis tujukan untuk dapat memahami setetes dari luasnya rahasia keagungan-Nya yang tersimpan dalam disiplin ilmu fisika semikonduktor, serta untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Endhah Purwandari, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Edy Supriyanto, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, serta perhatian beliau guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya penelitian dan penulisan skripsi ini;

2. Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc, Ph.D, selaku Dosen Penguji I dan Dra. Arry Yuariatun Nurhayati selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas segala masukan, kritikan dan saran yang telah diberikan bagi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Agung Tjahjo Nugroho, S.Si, M.Phil selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan motivasi;
4. Darwoto S.Pd, serta Siti Andayani S.Pd, selaku Guru Fisika yang memberangkatkan penulis untuk terjun di dunia fisika;
5. rekan kerja laboratorium komputasi, Melandi Novianto, Farah Wahidiyah dan Jakfar Helmi, terima kasih atas setiap waktu yang kalian luangkan untuk berdiskusi dan saling mengisi demi selesainya skripsi ini;
6. sobat-sobat Fisika: Sudarmono, Lutfi, Retno, Hera, Ajeng, Prila, serta seluruh angkatan 2008, terima kasih atas setiap waktu yang kalian luangkan untuk berdiskusi dan saling mengisi;
7. Budiyono, Edy Sutrisno, Sunarto, Taufik Usman, Aji Priyono, Ansori, Hadi, serta segenap keluarga besar FMIPA Universitas Jember;
8. semua pihak yang turut membantu demi selesainya tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis juga menyadari bahwa penulis adalah insan yang jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis akan selalu mengharapkan munculnya segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan penelitian yang tertulis dalam skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi disiplin ilmu Fisika serta kepada setiap pembacanya.

Jember, Februari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Material Semikonduktor	6
2.2 Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik	9
2.2.1 Semikonduktor Intrinsik	9

2.2.2 Semikonduktor Ekstrinsik	11
2.2.2.1 Semikonduktor Tipe-n	11
2.2.2.2 Semikonduktor Tipe-p	13
2.3 Persamaan Dasar Devais Semikonduktor	14
2.3.1 Persamaan Rapat Arus	14
2.3.2 Persamaan Poisson	16
2.3.3 Persamaan Kontinuitas Pembawa Muatan	16
2.4 Dioda Silikon	18
2.4.1 Panjar Maju	21
2.4.2 Panjar Mundur	22
2.4.3 Karakteristik Arus-Tegangan pada Dioda Silikon	23
2.5 Analisa Numerik Menggunakan <i>FEMLAB</i>	30
BAB 3. METODE PENELITIAN	33
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2 Prosedur Penelitian	33
3.2.1 Diagram Penelitian	34
3.2.2 Instalasi Perangkat Lunak <i>MATLAB</i> 5.3 dan <i>FEMLAB</i> 21	35
3.2.3 Perumusan Persamaan <i>Transport</i> Pembawa Muatan Dioda Si	35
3.2.4 Pemodelan Geometri Pembawa Muatan Dioda Si	36
3.2.5 Penyelesaian Persamaan Diferensial untuk Variasi Temperatur Operasional	39
3.2.6 Penentuan Karakteristik Arus-Tegangan Dioda Si	41
3.2.7 Analisa Data	41
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pemodelan Distribusi Konsentrasi <i>Hole</i> dan Elektron Terhadap Variasi Temperatur Operasional pada Dioda Si	43
4.2 Kurva Karakteristik Arus-Tegangan Dioda Si Terhadap Variasi Temperatur Operasional	58

BAB 5. PENUTUP	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	78



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Material semikonduktor dan celah energi yang dimiliki	7
3.1 Parameter dioda Si	37
4.1 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 288$ K dengan $V = 0,34$ volt	44
4.2 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 293$ K dengan $V = 0,34$ volt	46
4.3 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 298$ K dengan $V = 0,34$ volt	47
4.4 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 303$ K dengan $V = 0,34$ volt	49
4.5 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 308$ K dengan $V = 0,34$ volt	50
4.6 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 313$ K dengan $V = 0,34$ volt	51
4.7 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 318$ K dengan $V = 0,34$ volt	52
4.8 Perhitungan konsentrasi <i>hole</i> dan elektron pada $T = 323$ K dengan $V = 0,34$ volt	54
4.9 Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 288$ K.....	60
4.10 Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 293$ K.....	61
4.11 Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 298$ K.....	63
4.12 Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 303$ K.....	64
4.13 Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 308$ K.....	66
4.14 Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 313$ K.....	67

4.15	Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 318 \text{ K}$	68
4.16	Perhitungan deskripsi nilai rapat arus pada $T = 323 \text{ K}$	70
4.17	Perhitungan Arus Saturasi dioda Si variasi Temperatur Operasional	72



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Gambaran ikatan kovalen atom Silikon 8
2.2	Model pita energi material semikonduktor..... 9
2.3	Kristal Silikon dengan atom pengotor Fosfor 12
2.4	Kristal Silikon dengan atom pengotor Boron 13
2.5	Difusi elektron dan <i>hole</i> 18
2.6	Skema diagram dari dioda pada keadaan terbuka 20
2.7	Dioda berpanjar maju 21
2.8	Dioda Berpanjar mundur 22
2.9	Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dioda Silikon 25
2.10	Variasi temperatur operasional terhadap kurva karakteristik arus-tegangan dioda 28
2.11	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si untuk tegangan panjar maju variasi temperatur operasional 29
2.12	Pendefinisian geometri menjadi elemen-elemen kecil dalam <i>FEM</i> pada dioda 31
3.1	Diagram prosedur penelitian 34
3.2	Model dari struktur dioda Si 37
4.1	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 288 \text{ K}$ 44
4.2	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 293 \text{ K}$ 45
4.3	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 298 \text{ K}$ 47
4.4	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 303 \text{ K}$ 48
4.5	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 308 \text{ K}$ 49

4.6	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 313 \text{ K}$	51
4.7	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 318 \text{ K}$	52
4.8	Hasil pemodelan distribusi pembawa muatan pada $T = 319 \text{ K}$	53
4.9	Grafik hubungan konsentrasi <i>hole</i> terhadap tegangan masukan pada variasi temperatur operasional yang diambil pada <i>mesh</i> 3202 K	56
4.10	Grafik hubungan konsentrasi elektron terhadap tegangan masukan pada variasi temperatur operasional yang diambil pada <i>mesh</i> 3202K	56
4.11	Grafik hubungan konsentrasi elektron terhadap tegangan masukan variasi temperatur operasional pada <i>mesh</i> 63K	58
4.12	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 288 \text{ K}$	59
4.13	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 293 \text{ K}$	61
4.14	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 298 \text{ K}$	62
4.15	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 303 \text{ K}$	64
4.16	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 308 \text{ K}$	65
4.17	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 313 \text{ K}$	66
4.18	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 318 \text{ K}$	68
4.19	Kurva karakteristik arus-tegangan dioda Si pada $T = 323 \text{ K}$	69