



**PENGARUH KONSENTRASI IMPURITAS TERHADAP
KARAKTERISTIK J - V DIODA SEL SURYA
BERBASIS SILIKON KRISTAL**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S-1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Lailiatul Muawanah
NIM 131810201038**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa syukur dan terima kasih untuk:

1. Kedua orang tuaku Kamisan dan Sholekah yang telah memberikan semangat, dukungan dan do'anya;
2. Saudara-saudaraku Wiwik Kuntari, Khusnul Khotimah dan Ma'rifatul Jannah yang selalu memberikan motivasi;
3. Sahabat-sahabat saya Dwi Indah Prabandari, Fitri Wahyu Islamy dan Siti Mutmainah yang selalu memberikan semangat, motivasi setiap harinya;
4. Sahabat-sahabat saya Dwi Puspita Wulandari, Risa Fitri Ratnasari, Gamma Ainul Haqqe Absyahrani dan Diana Yunitasari yang setiap harinya memberikan keceriaan dan semangat.

MOTTO

“Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut
untuk kebaikan dirinya sendiri”

(QS. Al-Ankabut: 6)¹



¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 2012. *Alquran dan Terjemahannya*. Surabaya: Mahkota.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lailiatul Muawanah

NIM : 131810201038

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi Impuritas terhadap Karakteristik *J-V* Dioda Sel Surya Berbasis Silikon Kristal” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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, 23 Juli 2018

Yang menyatakan,

Lailiatul Muawanah

NIM 131810201038

SKRIPSI

**PENGARUH KONSENTRASI IMPURITAS TERHADAP
KARAKTERISTIK *J-V* DIODA SEL SURYA
BERBASIS SILIKON KRISTAL**

Oleh

Lailiatul Muawanah
NIM 131810201038

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Wenny Maulina, S.Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Konsentrasi Impuritas terhadap Karakteristik *J-V* Dioda Sel Surya Berbasis Silikon Kristal” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat :

Tim Penguji:

Ketua

Anggota I

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si
NIP. 198111112005012001

Wenny Maulina, S.Si., M.Si
NIP. 198711042014042001

Anggota II

Anggota III

Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D
NIP. 196203111987021001

Supriyadi, S.Si., M.Si
NIP. 198204242006041002

Mengesahkan

Dekan

Drs. Sujito, Ph.D
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Pengaruh Konsentrasi Impuritas terhadap Karakteristik J - V Dioda Sel Surya Berbasis Silikon Kristal; Lailiatul Muawanah, 131810201038; 2018: 57 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Salah satu sifat fisis bahan semikonduktor yang memiliki peran penting untuk menentukan karakteristik listrik dari divais sel surya adalah sifat transport listriknya, berupa distribusi pembawa muatan. Dengan mengetahui distribusi pembawa muatan, maka dapat diketahui juga keberadaan cacat dan tingkat impuritas untuk mengontrol sifat listrik bahan agar menjadi bahan semikonduktor yang baik. Konsentrasi impuritas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya rapat arus yang dihasilkan, sehingga pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh konsentrasi impuritas terhadap karakteristik listrik dari divais sel surya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi impuritas terhadap karakteristik J - V dioda sel surya.

Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Tahap awal simulasi dimulai dengan memasukkan beberapa parameter *input* dan mengatur geometri silikon kristal dalam bentuk 2D. Simulasi ini dilakukan dengan bervariasi konsentrasi impuritas sebesar 10^{14} cm^{-1} , 10^{15} cm^{-1} , 10^{16} cm^{-1} dan 10^{17} cm^{-1} dengan tegangan *input* 0 volt sampai 0,525 volt dengan rentang 0,025. Selanjutnya dilakukan pengaturan kondisi batas dan menyelesaikan persamaan poisson dan kontinuitas, sehingga akan diperoleh hasil distribusi pembawa muatan elektron dan *hole*. Distribusi pembawa muatan yang diperoleh digunakan untuk menggambarkan karakteristik rapat arus-tegangan dari perangkat sel surya.

Hasil simulasi yang diperoleh berupa distribusi pembawa muatan yang kemudian digunakan untuk menentukan kurva karakteristik J - V dioda sel surya. Kurva karakteristik J - V diperoleh hasil yang telah sesuai dengan teori. Rapat arus terendah diperoleh pada konsentrasi impuritas 10^{14} cm^{-1} sebesar 11,1 mA/cm, 10^{15} cm^{-1} sebesar 28,6 mA/cm, 10^{16} cm^{-1} sebesar 36,6 mA/cm, dan rapat arus tertinggi berada konsentrasi impuritas 10^{17} cm^{-1} sebesar 43,5 mA/cm. Rapat arus yang diperoleh dari simulasi sebelumnya sebesar 48,5 mA/cm, sedangkan pada penelitian ini diperoleh rapat arus sebesar 43,5 mA/cm. Hasil rapat arus hubung singkat (J_{sc}) yang diperoleh mendekati untuk rapat arus hubung singkat (J_{sc}) yang dihasilkan dari simulasi sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa besar konsentrasi impuritas mempengaruhi rapat arus yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi impuritas yang digunakan maka rapat arus yang dihasilkan akan semakin besar, sedangkan ketika konsentrasi impuritas yang semakin kecil digunakan akan menghasilkan rapat arus yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi impuritas dapat meningkatkan konduktivitas bahan untuk menyerap energi cahaya yang masuk dalam sel surya. Selain itu, dapat menentukan kinerja dari divais sel surya.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi Impuritas terhadap Karakteristik *J-V* Dioda Sel Surya Berbasis Silikon Kristal”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan dan bimbingan, serta do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji Utama dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan, kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan motivasi;
4. Rekan seperjuangan simulasi, Dwi Indah Prabandari, Fitri Wahyu Islamy, Aprizal Faruchi, Imroatus Solihah, Gutaminingsih, Siti Mutma'inah;
5. teman-teman Fisika 2013 Fakultas MIPA Universitas Jember yang telah memberikan motivasi, semangat dan selalu menemani saya dalam proses ini;
6. semua pihak yang turut membantu demi selesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca.

Jember, 23 Juli 2018
Penulis

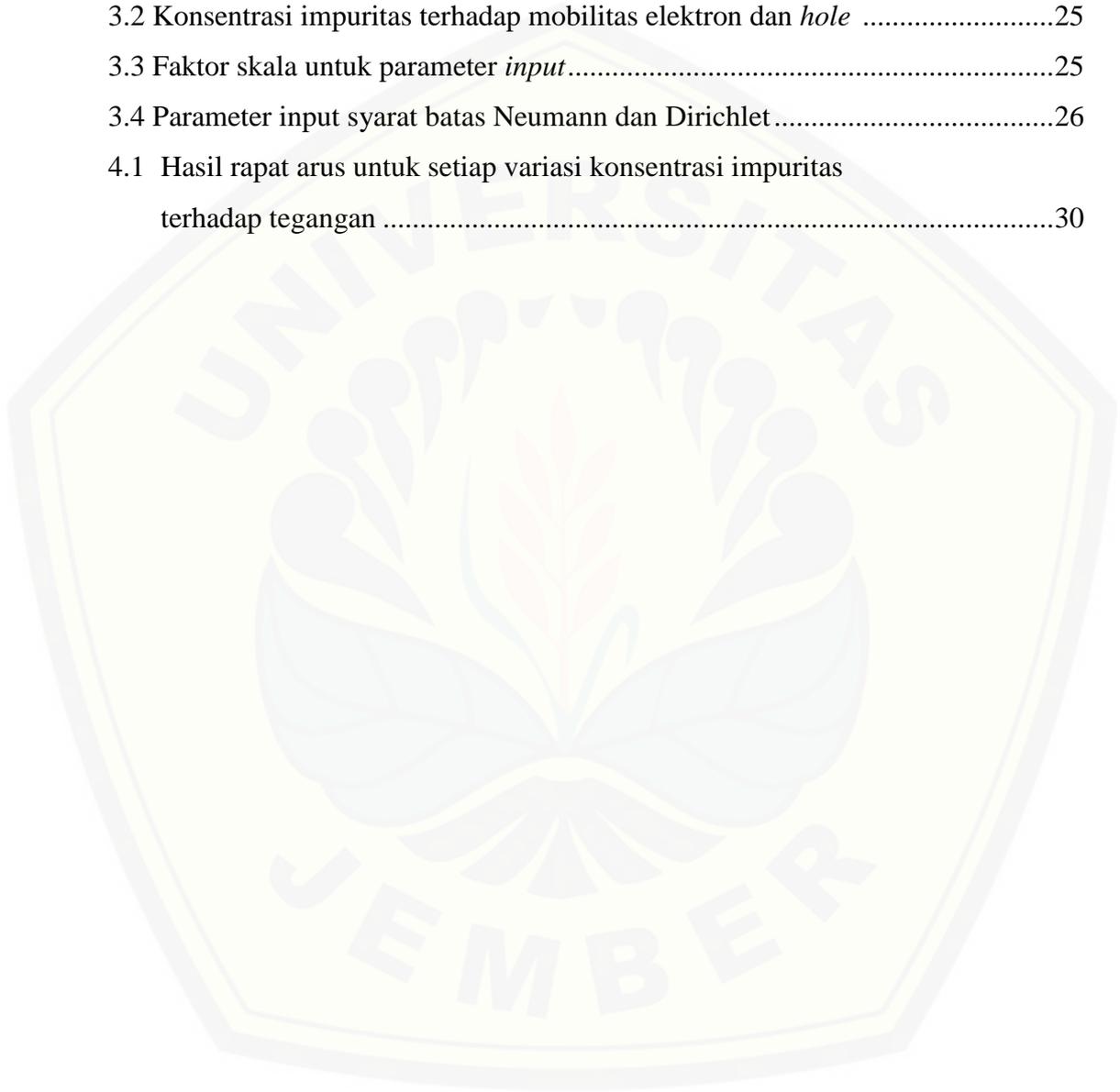
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Radiasi Matahari dan Aplikasi Sel Surya	5
2.2 Silikon Kristal (c-Si)	6
2.3 Dioda Persambungan P-N (P-N Junction)	7
2.4 Pengaruh Konsentrasi Impuritas terhadap karakteristik J-V	8
2.5 Persamaan Dasar Semikonduktor	10
2.5.1 Persamaan Poisson.....	10
2.5.2 Persamaan Kontinuitas	11
2.5.3 Syarat Batas Neuman dan Dirichlet	12

2.6 Mekanisme Transport dalam Semikonduktor	13
2.6.1 Arus <i>Drift</i>	13
2.6.2 Arus Difusi	14
2.7 Karakteristik Rapat Arus -Tegangan Dioda Sel Surya.....	15
2.8 Perumusan untuk Simulasi dengan FEMLAB.....	16
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Rancangan Penelitian	19
3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	20
3.2.1 Jenis Penelitian	20
3.2.2 Sumber Data Penelitian	20
3.3 Variabel dan Skala Pengukuran.....	20
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	21
3.4.1 Kajian Pustaka	21
3.4.2 Kegiatan Simulasi	21
3.4.3 Analisis Data.....	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil.....	30
4.2 Pembahasan.....	33
BAB 5. PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Parameter <i>input</i>	24
3.2 Konsentrasi impuritas terhadap mobilitas elektron dan <i>hole</i>	25
3.3 Faktor skala untuk parameter <i>input</i>	25
3.4 Parameter input syarat batas Neumann dan Dirichlet.....	26
4.1 Hasil rapat arus untuk setiap variasi konsentrasi impuritas terhadap tegangan	30

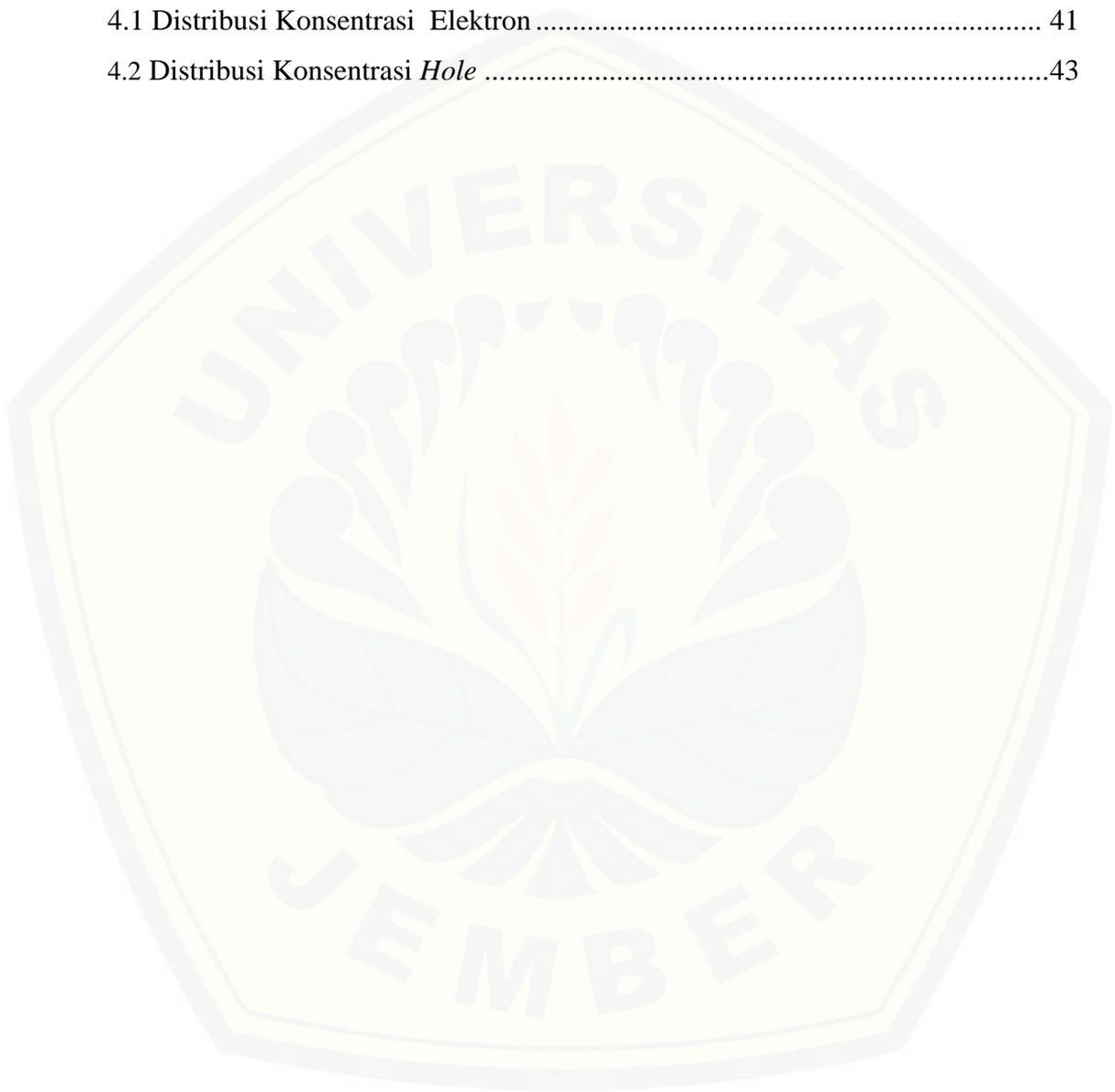


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Spektrum radiasi matahari pada beberapa kondisi yang berbeda.....	5
2.2 Persambungan P-N.....	8
2.3 Pengaruh impuritas terhadap rapat arus hubung pendek J_{sc}	9
2.4 Pengaruh impuritas terhadap tegangan hubung terbuka V_{oc}	10
2.5 Mobilitas elektron (μ_n) dan hole (μ_p) silikon pada 300 K.....	14
2.6 Karakteristik J - V	16
2.7 (a) Pemodelan geometri dioda persambungan p-n pada silikon kristal (b) Pembagian geometri dioda persambungan p-n pada silikon kristal menjadi segitiga kecil.....	18
3.1 Alur kegiatan penelitian	19
3.2 Diagram alir kegiatan simulasi	22
3.3 Geometri dioda sel surya.....	23
4.1 Kurva karakteristik rapat arus-tegangan	31
4.2 Perubahan nilai J_{sc} terhadap konsentrasi impuritas.....	32
4.3 Perubahan nilai V_{oc} terhadap konsentrasi impuritas	32

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
4.1 Distribusi Konsentrasi Elektron	41
4.2 Distribusi Konsentrasi <i>Hole</i>	43



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kassap (2004) dan Pierret (2002) menyatakan bahwa konsentrasi impuritas yang semakin meningkat akan menyebabkan menurunnya mobilitas pembawa muatan. Callister (1940) juga menunjukkan adanya mobilitas elektron dan *hole* pada silikon sebagai fungsi impuritas pada suhu kamar. Maka salah satu parameter yang mempengaruhi konsentrasi impuritas yaitu mobilitas pembawa muatannya, sehingga ketika mobilitas semakin menurun dapat meningkatkan rapat arus listrik. Ghania (2012) melakukan kajian tentang peningkatan efisiensi sel surya terhadap efek impuritas photovoltaik diperoleh hasil bahwa nilai rapat arus berbanding lurus terhadap peningkatan konsentrasi impuritas.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, besar konsentrasi impuritas dalam bahan mempengaruhi nilai rapat arus listrik yang diperoleh sehingga dapat digunakan untuk memprediksi karakteristik kelistrikan dari bahan. Di dalam penelitian ini, akan dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh konsentrasi impuritas terhadap karakteristik *J-V* dioda sel surya berbasis silikon kristal dalam bentuk pemodelan 2D. Variasi besarnya konsentrasi impuritas yang akan menjadi *input* dari karakteristik kelistrikan yang disimulasikan di dalam penelitian ini, akan bersesuaian dengan data mobilitas elektron dan *hole* tertentu.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan beberapa persamaan differensial parsial yang menjadi persamaan model dalam simulasi adalah metode elemen hingga (*finite element method*). Persamaan differensial yang akan diselesaikan merupakan persamaan dasar semikonduktor yang diaplikasikan pada dioda sel surya. Bentuk geometri yang digunakan merujuk pada penelitian Danielsson (2000) dan Fitriana (2014). Adapun data *input* yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari kajian penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Pierret (2002). Data *input* menyesuaikan dengan data yang digunakan oleh Pierret yaitu konsentrasi impuritas pada 10^{14} cm^{-3} sampai 10^{17} cm^{-3} pada temperatur 300K. Karakteristik *J-V* yang diperoleh dari distribusi pembawa muatan, nantinya akan dianalisis hasilnya untuk mengetahui pengaruh dari variasi konsentrasi impuritas yang diberikan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh konsentrasi impuritas terhadap karakteristik J - V dioda sel surya berbasis silikon kristal?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan dalam simulasi adalah silikon kristal.
2. Massa dari impuritas yang digunakan dalam penelitian tidak dianalisa lebih lanjut karena penelitian ini hanya menggunakan mobilitas pembawa muatan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi impuritas terhadap karakteristik J - V .

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konsentrasi impuritas terhadap karakteristik J - V dioda sel surya berbasis silikon kristal.

1.5 Manfaat Penelitian

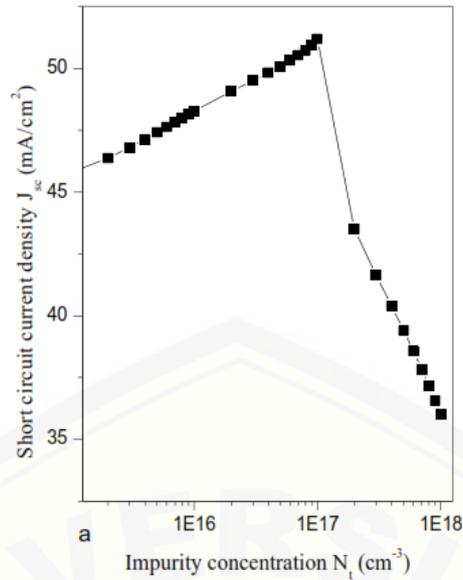
Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi konsentrasi impuritas terhadap karakteristik J - V yang dihasilkan.
2. Memberikan informasi fisis yang berkaitan dengan sel surya berbasis silikon kristal, yang berhubungan dengan mekanisme transport dari pembawa muatan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

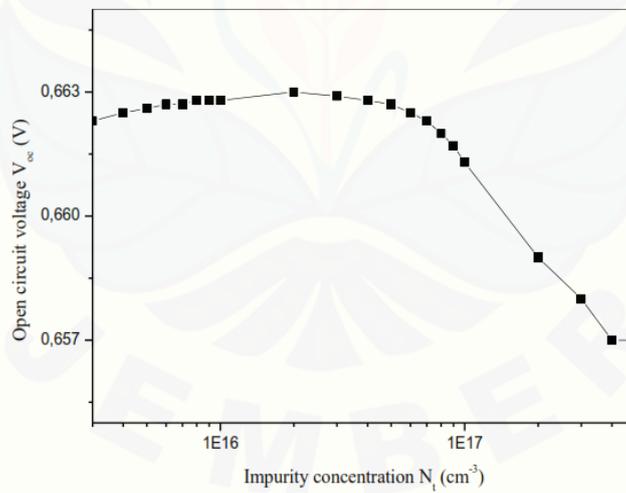
2.1 Pengaruh Konsentrasi Impuritas terhadap Karakteristik *J-V* Sel Surya

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa rapat arus dan efisiensi meningkat seiring dengan menambahnya konsentrasi impuritas, hanya ketika konsentrasi impuritas yang lebih rendah dari konsentrasi impuritas dangkal Na. Hal ini disebabkan nilai konsentrasi impuritas yang lebih rendah dapat menjaga konsentrasi impuritas yang meningkat bernilai nol, dimana peningkatan tersebut meningkatkan daerah inframerah yang dapat meningkatkan rapat arus dan efisiensi sel surya dengan proses fotoemisi elektron dari pita valensi Se. Sebaliknya ketika konsentrasi impuritas yang semakin meningkat, rapat arus dan efisiensi sel surya akan menurun dengan seiring meningkatnya konsentrasi impuritas dengan proses fotoemisi elektron dari pita konduksi Se (Ghania, 2012).



Gambar 2.3 Pengaruh impuritas terhadap rapat arus hubung pendek J_{sc} (Sumber: Ghania, 2012)

Gambar 2.4 merupakan rangkaian hubung terbuka sel surya sebagai fungsi konsentrasi impuritas Se. Gambar 2.4 menunjukkan bahwa tegangan rangkaian terbuka tetap konstan ketika konsentrasi impuritas berada dibawah dasar konsentrasi impuritas dangkal 10^{17} cm^{-3} dan menurun dengan meningkatnya konsentrasi impuritas. (Ghania, 2012).

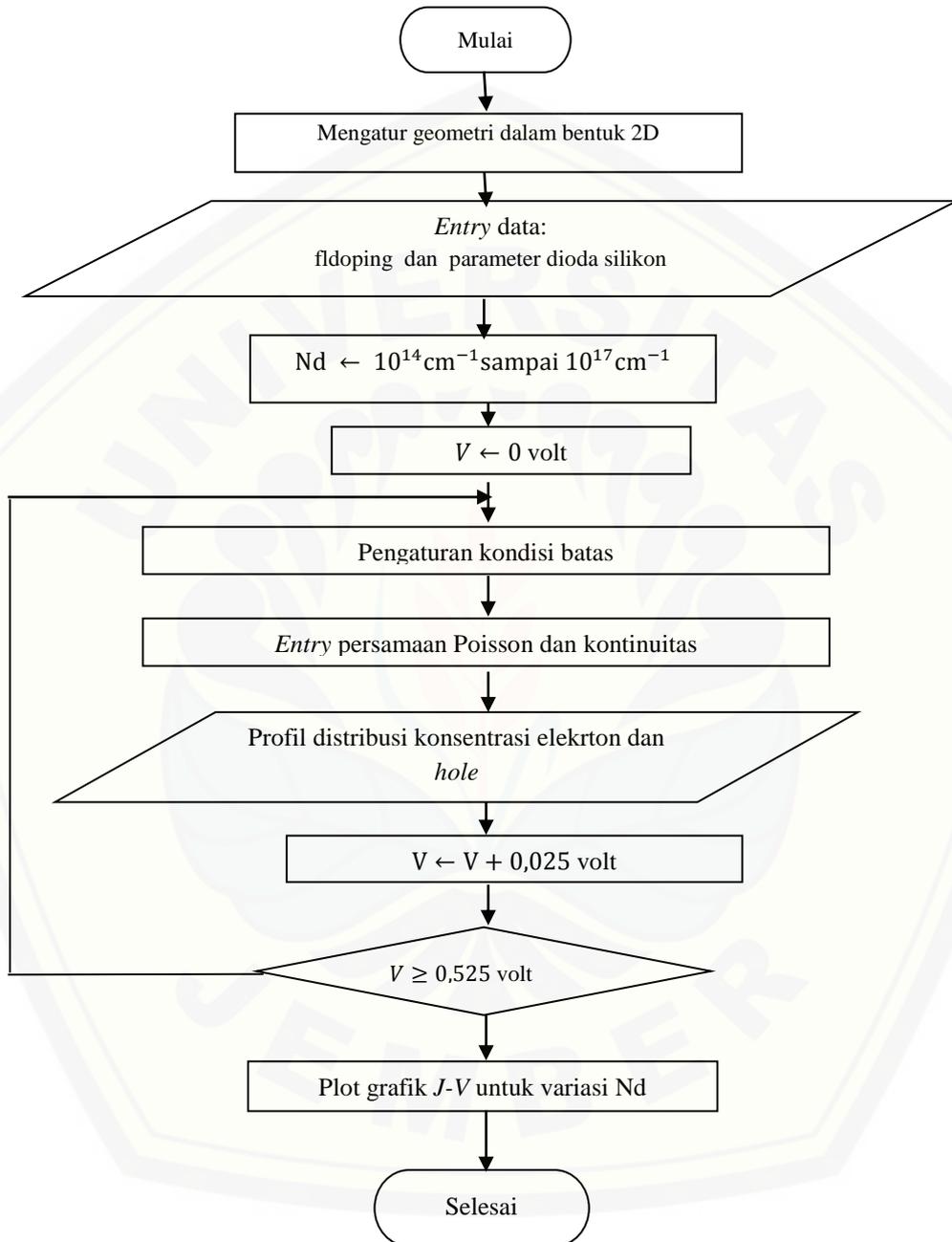


Gambar 2.4 Pengaruh impuritas terhadap tegangan hubung terbuka V_{oc} (Sumber: Ghania, 2012)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Tahapan kegiatan simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2 Diagram alir kegiatan simulasi

3.2 Analisis Data

Kegiatan simulasi ini akan didapatkan hasil karakteristik $J-V$ dari dioda sel surya berbasis silikon kristal dengan bentuk geometri 2D. Analisa yang dilakukan pada penelitian sebagai berikut :

1. Karakteristik $J-V$ dioda sel surya berbasis silikon kristal diamati melalui pengaruh konsentrasi impuritas dan mobilitas pembawa muatan yang diberikan. Konsentrasi impuritas yang diberikan mulai dari 10^{14} cm^{-1} sampai dengan 10^{17} cm^{-1} yang masing-masing memiliki mobilitas pembawa muatan. Hasil yang akan didapatkan berupa distribusi pembawa muatan yaitu elektron dan *hole* yang kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan nilai $J-V$.
2. Kurva $J-V$ diperoleh dari pengaruh mobilitas pembawa muatan terhadap konsentrasi impuritas yang diberikan. Kemudian dilakukan pengamatan untuk perubahan tegangan yang diberikan. Variasi tegangan keluaran yang diberikan sebesar 0 volt sampai 0,525 volt dengan rentang 0,025 volt.

Analisa yang dilakukan adalah dengan mengamati grafik dari setiap perubahan rapat arus dan tegangan yang dihasilkan dari setiap variasi konsentrasi impuritas. Perubahan grafik rapat arus dan tegangan diamati untuk setiap variasi tegangan keluaran yang diberikan. Melalui perubahan nilai konsentrasi impuritas dan variasi tegangan keluaran maka dapat digunakan sebagai acuan untuk menganalisa karakteristik $J-V$ dioda sel surya berbasis silikon kristal. Karakteristik $J-V$ dapat diidentifikasi dengan membandingkan grafik satu dengan yang lain. Jika grafik rapat arus-tegangan tersebut terdapat perbedaan maka konsentrasi impuritas berpengaruh terhadap $J-V$ yang dihasilkan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi impuritas terhadap karakteristik J - V dioda sel surya berbasis silikon kristal, dapat diambil kesimpulan bahwa konsentrasi impuritas yang divariasikan dari 10^{14} cm^{-3} , 10^{15} cm^{-3} , 10^{16} cm^{-3} dan 10^{17} cm^{-3} dapat memberikan pengaruh terhadap karakteristik J - V dioda sel surya yang dihasilkan. Besarnya nilai konsentrasi impuritas mempengaruhi nilai rapat arus (J_{sc}) yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi impuritas yang ditambahkan, maka rapat arus listrik yang dihasilkan dioda sel surya semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin besar impuritas yang digunakan akan mempengaruhi nilai konduktivitas suatu bahan semikonduktor, sehingga menghasilkan rapat arus yang semakin besar. Rapat arus hubung singkat (J_{sc}) tertinggi didapatkan pada konsentrasi impuritas 10^{17} cm^{-3} yakni sebesar 43,5 mA/cm, sedangkan rapat arus hubung singkat (J_{sc}) terendah didapat pada konsentrasi impuritas 10^{14} cm^{-3} yakni sebesar 11,1 mA/cm. Namun demikian pada penelitian ini, peningkatan konsentrasi impuritas tidak memberikan perubahan terhadap nilai tegangan hubung terbuka V_{oc} .

5.2 Saran

Saran yang direkomendasikan oleh peneliti untuk penelitian lebih lanjut adalah perlu dilakukan observasi terhadap pemilihan koefisien difusi pembawa muatan yang tepat untuk menganalisis nilai tegangan rangkaian terbuka yang belum memberikan perubahan dalam kegiatan simulasi ini.

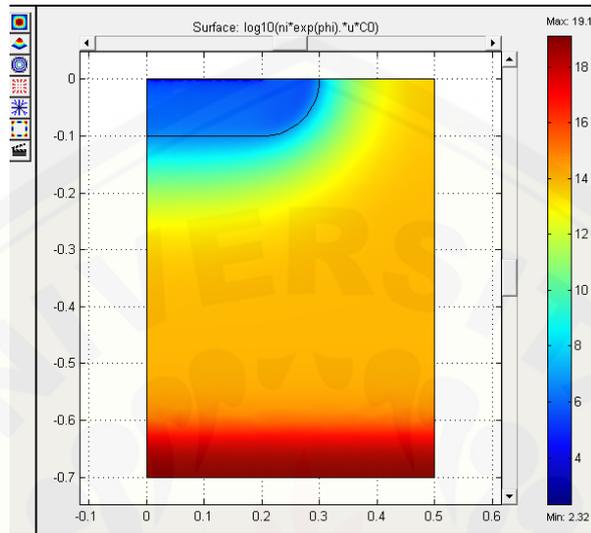
DAFTAR PUSTAKA

- Anjarani, K. 2012 *Studi Karakteristik Arus Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya*. Jakarta: UNJ.
- Andreev, V. M. 2012. *GaAs and High-Efficiency Space Cells. Practical Handbook of Photovoltaics. Proceedings of the World Electrotechnology Congress*. 20-25 November 2017. Press: 397–416.
- Callister, W. D.1940. *Materials Science and Engineering An Introduction*, United States of America.
- Colinge, J.P. 2002. *Physics of Semiconductor Devices*. New York: Kluwer academic Publisher.
- Danielsson, E. 2000. *FEMLAB Model Library For Semiconductor Device Model*. Stockholm: The Royal Institute Of Institute.
- Fatma, G. 2016. Simulasi Karakteristik I-V Dioda Sel Surya pada Variasi Ketebalan Lapisan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Fitriana. 2014. Simulasi Pengaruh Panjang Gelombang Foton Datang terhadap Karakteristik I-V Dioda Sel Surya Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Ghania, Z. 2012. Study Of Silicon Solar Cells Performances Using The Impurity Photovoltaic Effect. *Disertasi*. Spain: Universidad Autonoma de Madrid.
- Goetzberger, A. 1998. *Crystalline Silicon Solar Cell*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Gray, J.L. 2003. *The Physics of the Solar Cell*. USA: Purdue University.
- Green, M.A. dan Keevers, M. 1995. Optical properties of intrinsic silicon at 300 K. Sidney: University of New South Wales.
- Hack, M. dan Shur, M. 1985. *Physics of Amorphous Silicon Alloy p-i-n Solar Cells*, *J. Appl. Phys.*, 58(2): 997-1020.
- Honsberg, C. dan Bowden, S. 1998. Short-Circuit Current <http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/short-circuit-current> [2 Oktober 2017].

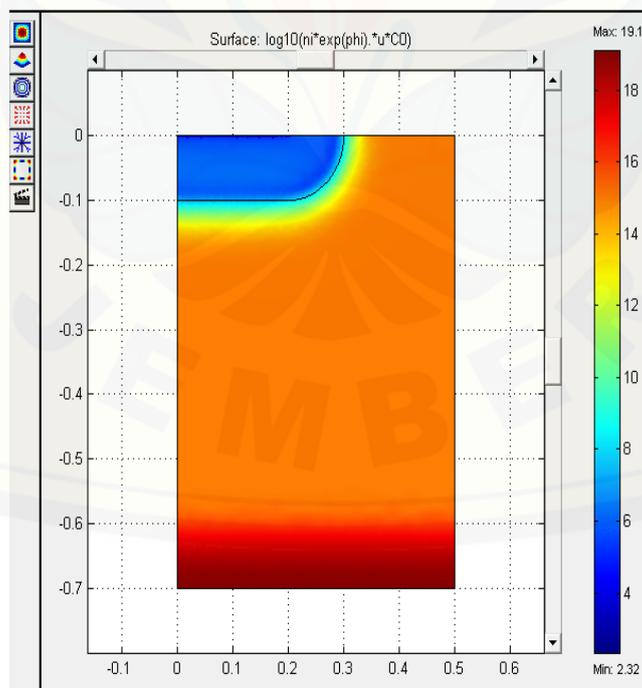
LAMPIRAN

4.1 Distribusi Konsentrasi Elektron

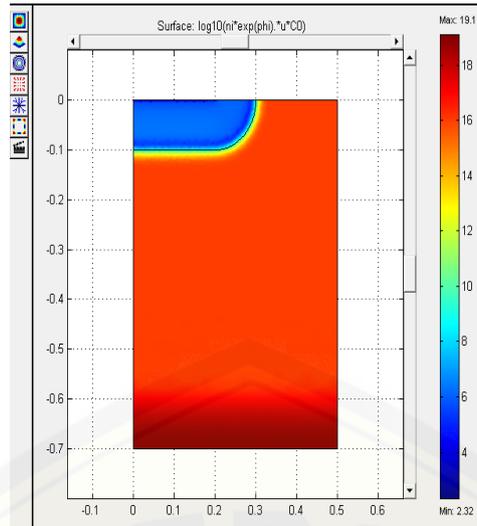
- a. Konsentrasi impuritas 10^{14} cm^{-1} pada $V = 0$ volt dengan fungsi konsentrasi $10\log(n_i \cdot \exp(\phi) \cdot u \cdot C_0)$



- b. Konsentrasi impuritas 10^{15} cm^{-1} pada $V = 0$ volt dengan fungsi konsentrasi $10\log(n_i \cdot \exp(\phi) \cdot u \cdot C_0)$



- c. Konsentrasi impuritas 10^{16} cm^{-1} pada $V = 0$ volt dengan fungsi konsentrasi $10\log(n_i \cdot \exp(\phi) \cdot u \cdot C_0)$



d. Konsentrasi impuritas 10^{17} cm^{-1} pada $V = 0$ volt dengan fungsi konsentrasi $10\log(ni*\exp(\phii).*u*CO)$

