



**SIMULASI 2D KARAKTERISTIK  $J$ - $V$  SEL SURYA BERBASIS  
 $\alpha$ -Si:H PADA BERBAGAI KETEBALAN LAPISAN-P,  
LAPISAN-I DAN LAPISAN-N**

**SKRIPSI**

Oleh

**Siti Mutma'inah  
NIM 131810201036**

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



**SIMULASI 2D KARAKTERISTIK  $J$ - $V$  SEL SURYA BERBASIS  
 $a$ - $Si:H$  PADA BERBAGAI KETEBALAN LAPISAN-P,  
LAPISAN-I DAN LAPISAN-N**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Siti Mutma'inah  
NIM 131810201036**

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

**2018**

## PERSEMBAHAN

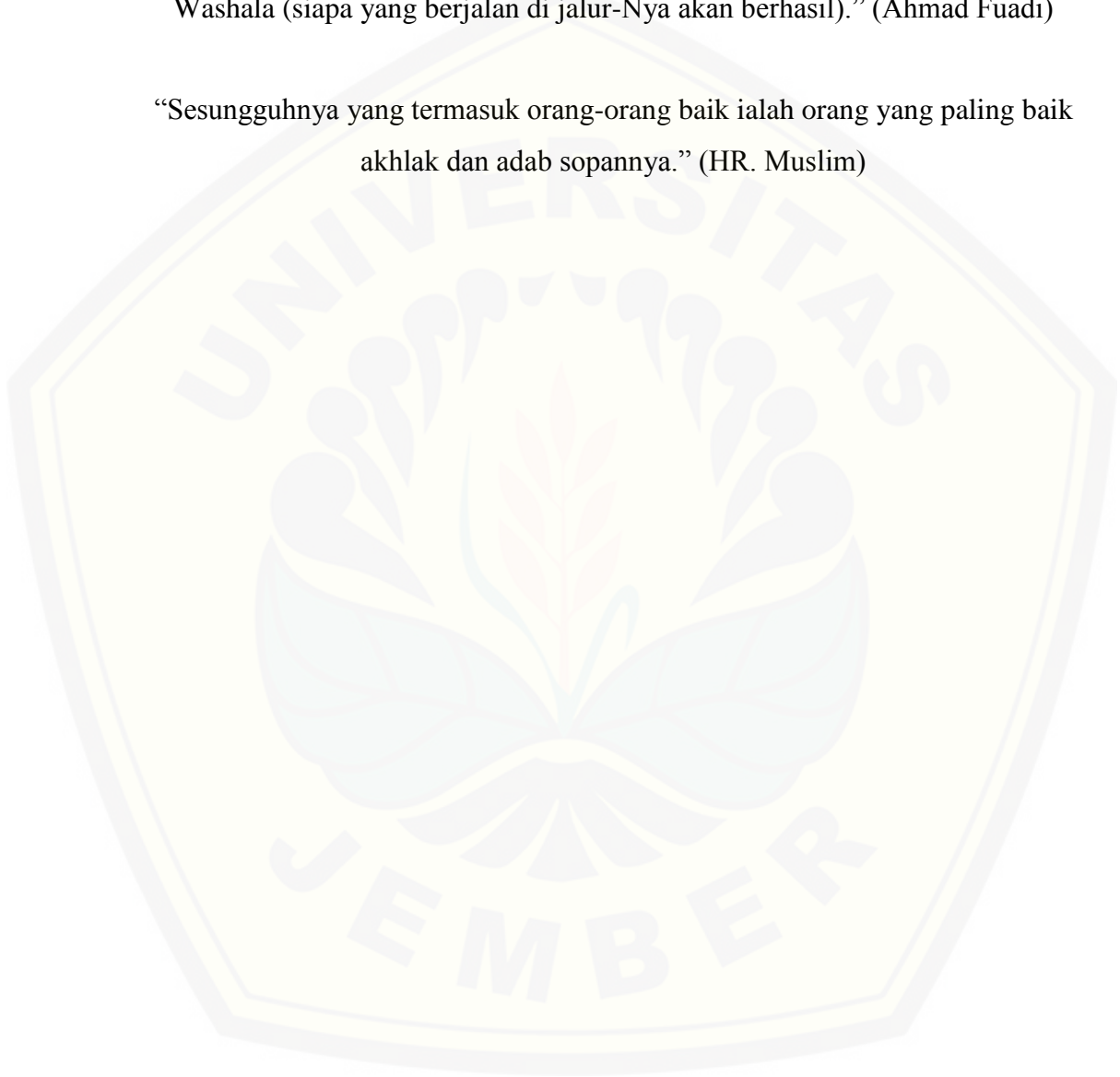
Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa cinta, syukur, dan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Ibunda Sutami dan Ayahanda Salam, adik tersayang Laili Nur Anisa, dan seluruh keluarga besar atas kasih sayang, dukungan moral dan doa yang tidak henti mereka panjatkan hingga saya mampu menyelesaikan pendidikan Sarjana Sains;
2. Seluruh dosen dan pahlawan tanpa tanda jasa yang sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dengan penuh kesabaran dan kasih sayang;
3. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
4. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui program program BIDIKMISI sehingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan di Universitas Jember ini.

**MOTTO**

“Man Jadda Wa Jadda (siapa yang bersungguh-sungguh akan berhasil), Man Shabara Zhafira (siapa yang bersabar akan beruntung), Man Sara Darbi Ala Washala (siapa yang berjalan di jalur-Nya akan berhasil).” (Ahmad Fuadi)

“Sesungguhnya yang termasuk orang-orang baik ialah orang yang paling baik akhlak dan adab sopannya.” (HR. Muslim)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Mutma'inah

NIM : 131810201036

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Simulasi 2D Karakteristik  $J$ - $V$  Sel Surya berbasis a-Si:H pada Berbagai Ketebalan Lapisan-p, Lapisan-i dan Lapisan-n” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, 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.

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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2018

Yang menyatakan,

Siti Mutma'inah  
NIM 131810201036

**SKRIPSI**

**SIMULASI 2D KARAKTERISTIK  $J$ - $V$  SEL SURYA BERBASIS  
 $a$ -Si:H PADA BERBAGAI KETEBALAN LAPISAN-P,  
LAPISAN-I DAN LAPISAN-N**

Oleh

Siti Mutma'inah  
NIM 131810201036

Pembimbing:

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

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Simulasi 2D Karakteristik  $J$ - $V$  Sel Surya berbasis a-Si:H pada Berbagai Ketebalan Lapisan-p, Lapisan-i dan Lapisan-n” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

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,

Dra. Arry Yuariatun Nurhayati, M.Si.  
NIP. 196109091986012001

Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D  
NIP. 197202101998021001

Mengesahkan,

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D  
NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Simulasi 2D Karakteristik  $J$ - $V$  Sel Surya Berbasis a-Si:H pada Berbagai Ketebalan Lapisan-p, Lapisan-i dan Lapisan-n**, Siti Mutma'inah, 131810201036; 2018; 63 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) sel surya adalah ketebalan lapisan dari bahan penyusunnya. Dengan demikian, jika sel surya dibuat dengan konstruksi berbentuk persambungan p-i-n, maka setiap ketebalan lapisan akan berkontribusi terhadap karakteristik kelistrikan yang dihasilkan. Oleh karena pengujian secara eksperimen membutuhkan biaya yang cukup mahal dan waktu yang lama, maka perlu dilakukan optimasi beberapa parameter bahan melalui simulasi agar dapat meminimalisir jumlah tahapan optimasi dalam fabrikasi divais sehingga bisa meminimalisir waktu dan biaya yang dibutuhkan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n terhadap karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis a-Si:H, sehingga diperoleh ketebalan yang sesuai untuk meningkatkan kinerja divais sel surya.

Simulasi dalam penelitian dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Kegiatan simulasi dimulai dengan memasukkan parameter input bahan silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H). Kemudian mengatur geometri sel surya dalam bentuk 2D yang terdiri dari tiga subdomain yaitu lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n dengan ketebalan awal lapisan p/i/n sebesar  $150 \text{ \AA}/5500 \text{ \AA}/300 \text{ \AA}$ . Tahap selanjutnya adalah mengatur syarat batas, dan memasukkan persamaan yang digunakan dalam simulasi berupa persamaan Poisson dan Kontinuitas untuk menghasilkan distribusi pembawa muatan yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) sel surya.

Hasil simulasi karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) sel surya berbasis a-Si:H pada berbagai ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n menunjukkan bahwa ketebalan masing-masing lapisan memiliki pengaruh terhadap karakteristik  $J$ - $V$  sel surya. Ketebalan lapisan-p memiliki pengaruh cukup besar dilihat dari perubahan nilai rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) yang diperoleh dengan  $J_{SC}$  tertinggi sebesar  $17,09 \text{ mA/cm}$  ketika ketebalan lapisan-p  $190 \text{ \AA}$  dengan  $V_{OC}$  bernilai konstan sebesar  $0,575 \text{ volt}$ . Ketebalan lapisan-i memiliki pengaruh paling besar dilihat dari perubahan nilai  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  yang diperoleh dengan  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  tertinggi sebesar  $49,66 \text{ mA/cm}$  dan  $0,625 \text{ volt}$  ketika lapisan-i paling tebal  $7500 \text{ \AA}$ . Sedangkan lapisan-n memiliki sedikit pengaruh terhadap karakteristik  $J$ - $V$  sel surya dengan  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  tertinggi sebesar  $15,98 \text{ mA/cm}$  dan  $0,6 \text{ volt}$  diperoleh ketika lapisan-n yang cukup tipis yaitu  $150 \text{ \AA}$ . Rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) dan tegangan hubung terbuka ( $V_{OC}$ ) maksimum dalam simulasi diperoleh ketika ketebalan lapisan p/i/n sebesar  $190 \text{ \AA}/7500 \text{ \AA}/150 \text{ \AA}$  dengan nilai  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  secara berurutan  $53,3 \text{ mA/cm}$  dan  $0,65 \text{ volt}$  menunjukkan bahwa variasi ketebalan  $190 \text{ \AA}/7500 \text{ \AA}/150 \text{ \AA}$  memiliki pengaruh paling besar dalam meningkatkan kinerja divais sel surya.



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Simulasi 2D Karakteristik *J-V* Sel Surya berbasis *a-Si:H* pada Berbagai Ketebalan Lapisan-*p*, Lapisan-*i* dan Lapisan-*n*”. 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, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA), yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, serta perhatian dalam membantu dan membimbing penulis dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini;
2. Dra. Arry Yuariatun Nurhayati, M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Penguji II atas segala masukan, kritik serta saran yang telah diberikan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini;
3. Nurul Priyantari, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik (DPA) yang telah membimbing dan mengarahkan selama masa perkuliahan;
4. Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
5. Sahabat-sahabatku Yazella Feni F., Kholifatus Sa'diyah, Dewi Yuliana, Nur 'Aini, Vita Fatimah J. A., Silvia Q. M., Laila N. E., Warniati, Ulva Nailis K, dan Nur Kholifah yang telah memberikan semangat dan doa selama ini;
6. Tim Komputasi Material: Imroatus Solihah, Fitri Wahyu Islamy, Lailiatul Muawanah, Dwi Indah Prabandari, Gutaminingsih, Aprizal Faruchi, Khoirul Anwar, dan Yuningtyas Nely Kusuma Dewi;
7. Keluarga besar Fisika angkatan 2013 yang telah memberikan pengalaman,

semangat, dan motivasinya;

8. Keluarga besar HIMAFI, BEM FMIPA, UKM Pramuka dan UKM Pamadiksi Universitas Jember yang telah memberikan semangat, dukungan, doa dan pengalaman luar biasa;
9. Keluarga KALSEMA yang selalu siap sedia memberikan semangat, dukungan, kasih sayang dan doa;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Juli 2018

Penulis

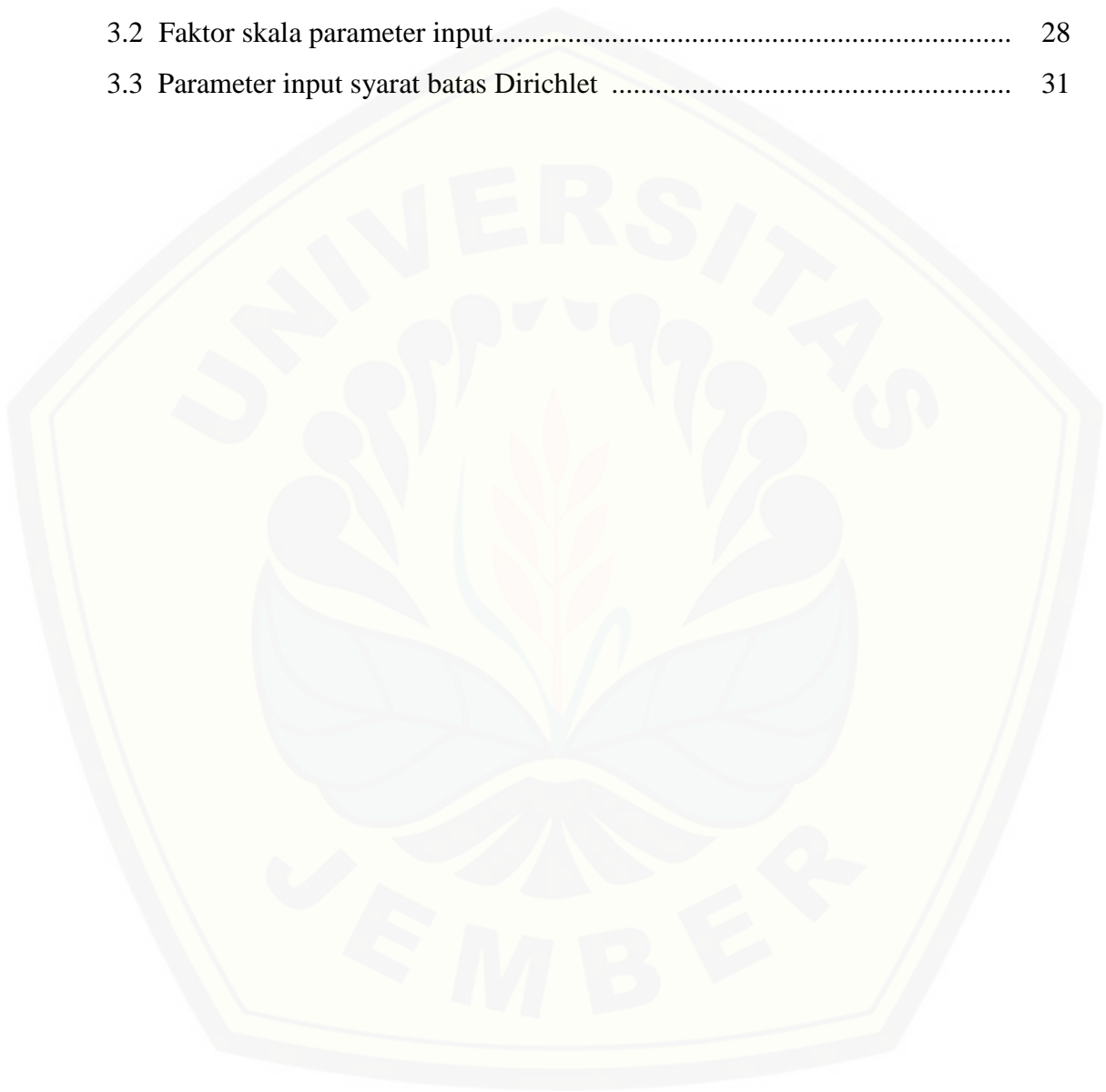
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL. ....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Manfaat</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Sel Surya</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Sel Surya Berbasis Silikon Amorf Terhidrogenasi (a-Si:H)</b> ....	<b>6</b>
<b>2.3 Tipe Persambungan p-i-n Sel Surya</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 Pengaruh Ketebalan Lapisan-p, Lapisan-i dan Lapisan-n</b>	
<b>dalam Sel Surya</b> .....	<b>9</b>
2.4.1 Ketebalan Lapisan-p .....	10
2.4.2 Ketebalan Lapisan-i .....	11
2.4.3 Ketebalan Lapisan-n .....	13
<b>2.5 Karakteristik J-V Sel Surya</b> .....	<b>14</b>

<b>2.6 Persamaan Dasar Semikonduktor .....</b>	<b>15</b>
2.6.1 Persamaan Rapat Arus .....	16
2.6.2 Persamaan Poisson dan Kontinuitas .....	17
<b>2.7 Analisis Numerik menggunakan Metode Elemen Hingga. ....</b>	<b>21</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Kerangka Pemecahan Masalah .....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Identifikasi Masalah.....	25
3.4.2 Mekanisme Simulasi.....	25
3.4.3 Metode Analisis Data.....	33
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Pengaruh Ketebalan Lapisan-p .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Pengaruh Ketebalan Lapisan-i .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Pengaruh Ketebalan Lapisan-n .....</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Karakteristik Rapat Arus-Tegangan Hasil Optimasi</b> <b>Ketebalan Lapisan-p, Lapisan-i dan Lapisan-n.....</b>	<b>45</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>51</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
3.1 Parameter input .....	27
3.2 Faktor skala parameter input.....	28
3.3 Parameter input syarat batas Dirichlet .....	31



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Ilustrasi proses konversi <i>photovoltaic</i> dalam sel surya berbasis c-Si .....	5
2.2 Struktur atom silikon (a) silikon kristal dan (b) silikon amorf .....	6
2.3 Pengaruh kehadiran atom hidrogen pada rapat keadaan dalam celah pita energi a-Si .....	7
2.4 Koefisien absorpsi sebagai fungsi foton .....	8
2.5 Skema mekanisme rekombinasi pada sel surya a-Si (a) persambungan p-n dan (b) persambungan p-i-n .....	9
2.6 Hubungan antara ketebalan lapisan-p sel surya a-Si:H persambungan p-i-n terhadap tegangan yang dihasilkan .....	10
2.7 Pengaruh ketebalan lapisan-p terhadap karakteristik sel surya a-Si:H.....	11
2.8 Pengaruh ketebalan lapisan-i terhadap karakteristik sel surya a-Si:H.....	12
2.9 Pengaruh ketebalan lapisan-n terhadap karakteristik sel surya a-Si:H.....	14
2.10 Grafik karakteristik rapat arus-tegangan ( <i>J-V</i> ) sel surya .....	15
3.1 Diagram alir kegiatan penelitian .....	24
3.2 Alur kegiatan simulasi .....	26
3.3 Geometri 2D divais sel surya material silikon amorf terhidrogenasi.....	28
3.4 Pembagian geometri 2D divais sel surya material silikon amorf terhidrogenasi .....	29
4.1 Hasil simulasi grafik karakteristik rapat arus-tegangan ( <i>J-V</i> ) sel surya ketika ketebalan lapisan-p divariasikan dengan lapisan-i dan lapisan-n masing-masing tetap 5500 Å dan 300 Å .....	37
4.2 Hasil simulasi grafik hubungan antara ketebalan lapisan-p dengan rapat arus ketika lapisan-i dan lapisan-n masing-masing tetap 5500 Å dan 300 Å .....	38

4.3	Hasil simulasi grafik karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) sel surya ketika ketebalan lapisan-i divariasi dengan lapisan-p dan lapisan-n masing-masing tetap 150 Å dan 300 Å .....	40
4.4	Hasil simulasi grafik variasi ketebalan lapisan-i ketika lapisan-p dan lapisan-n masing-masing tetap 150 Å dan 300 Å terhadap rapat arus dan tegangan .....	41
4.5	Hasil simulasi grafik karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) sel surya ketika ketebalan lapisan-n divariasi dengan lapisan-p dan lapisan-i masing-masing tetap 150 Å dan 5500 Å .....	43
4.6	Hasil simulasi grafik variasi ketebalan lapisan-n ketika lapisan-p dan lapisan-i masing-masing tetap 150 Å dan 5500 Å terhadap rapat arus dan tegangan .....	44
4.7	Hasil simulasi grafik karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis a-Si:H dengan ketebalan lapisan p/i/n sebesar 190 Å/7500 Å/150 Å .....	45

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
4.1 Karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis a-Si:H pada variasi ketebalan lapisan-p (70-220) Å .....	51
4.2 Karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis a-Si:H pada variasi ketebalan lapisan-i (4500-7500).....	52
4.3 Karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis a-Si:H pada variasi ketebalan lapisan-n (100-350) Å .....	53
4.4 Karakteristik rapat arus tegangan sel surya berbasis a-Si:H dengan ketebalan lapisan p/i/n sebesar 190 Å/7500 Å/150 Å.....	54
4.5 Langkah simulasi .....	55



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sel surya merupakan alat yang bekerja dengan menggunakan prinsip *photovoltaic* yaitu mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya menjadi sumber energi alternatif yang cukup efisien dikarenakan sumber energi dari sel surya tidak akan habis selama masih ada matahari yang memancarkan sinarnya ke bumi (Setiadi, 2013). Bahan semikonduktor yang sering digunakan sebagai bahan sel surya adalah berbentuk kristal berupa silikon (Si) dan germanium (Ge). Namun, penggunaan silikon yang berbentuk kristal masih perlu dipertimbangkan karena biaya pembuatannya yang cukup mahal. Oleh karena itu, penggunaan silikon jenis amorf bisa menjadi alternatif pilihan karena biaya produksinya lebih murah dengan sifat elektronik dan optik yang masih sama dengan silikon kristal (Santoso *et al.*, 1996). Selain itu, material silikon amorf memiliki beberapa keunggulan dibanding silikon kristal yaitu celah pita energi yang lebih lebar dan mudah dikontrol, koefisien absorpsi yang tinggi dan suhu penumbuhan yang lebih rendah sehingga cocok untuk pengembangan sel surya (Street, 1991).

Silikon amorf memiliki perbedaan mendasar dengan silikon kristal pada keteraturan struktur ikatan atomnya. Ikatan antar atom dalam silikon amorf tidak teratur dengan jarak dan sudut ikatan yang berbeda (Usman, 2006). Ketidakteraturan ikatan tersebut menyebabkan beberapa atom dalam silikon amorf tidak membentuk ikatan dengan atom yang lain yang dikenal dengan ikatan lepas (*dangling bond*) (Street, 1991). Ikatan lepas tersebut berkelakuan sebagai keadaan cacat dalam silikon amorf yang kemudian diisi oleh atom hidrogen. Kehadiran atom hidrogen dalam matriks silikon amorf dapat menutupi ikatan lepasnya dan mengurangi keadaan cacat pada silikon amorf yang kemudian dikenal sebagai silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H) (Takahashi dan Konagai, 1986).

Sel surya berbasis silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H) disusun menggunakan persambungan p-i-n. Masing-masing lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n memiliki karakteristik dan peran tersendiri dalam sel surya. Menurut Usman (2006), lapisan-p merupakan lapisan dengan pembawa muatan mayoritas

*hole* dan pembawa muatan minoritas elektron. Lapisan-i sebagai lapisan aktif yang memegang peranan penting dalam penyerapan energi foton untuk mengeksitasi pembawa muatan dari pita valensi menuju pita konduksi (Sze, 1985). Sedangkan menurut Takahashi dan Konagai (1986), lapisan-n merupakan lapisan dengan pembawa muatan mayoritas elektron dan memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dari lapisan-i.

Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristik rapat arus-tegangan sel surya adalah ketebalan lapisan bahan. Penelitian pengaruh ketebalan lapisan terhadap karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis silikon amorf terhidrogenasi dengan persambungan p-i-n telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya secara eksperimen. Usman (2006) telah melakukan penelitian variasi ketebalan lapisan-p dan lapisan-i menghasilkan karakteristik rapat arus-tegangan ( $J-V$ ) dengan nilai rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) secara berurutan sebesar 15,92  $mA/cm$  dan 13,5  $mA/cm$  serta tegangan hubung terbuka ( $V_{OC}$ ) sekitar 0,77 *volt*. Penelitian tentang pengaruh ketebalan lapisan-n telah dilakukan oleh Takahashi dan Konagai (1986) menghasilkan karakteristik rapat arus-tegangan ( $J-V$ ) dengan nilai rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) sebesar 10  $mA/cm$  dan tegangan hubung terbuka ( $V_{OC}$ ) sekitar 0,8 *volt*. Kedua penelitian tersebut menggunakan parameter dan ketebalan yang berbeda sehingga belum diketahui variasi ketebalan yang memiliki pengaruh paling besar dalam menghasilkan karakteristik rapat arus-tegangan ( $J-V$ ).

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa setiap variasi ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n memiliki pengaruh yang berbeda dalam karakteristik rapat arus-tegangan yang dihasilkan. Kinerja sel surya dapat dilihat berdasarkan karakteristik rapat arus-tegangan ( $J-V$ ) yang dihasilkan. Semakin besar rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) dan tegangan hubung terbuka ( $V_{OC}$ ) yang dihasilkan, maka kinerja sel surya semakin baik pula (Rusman, 2015). Oleh karena pengujian secara eksperimen membutuhkan biaya yang cukup mahal dan waktu yang lama, maka perlu dilakukan optimasi beberapa parameter bahan untuk mendapatkan karakteristik rapat arus-tegangan yang baik melalui simulasi dengan harapan dapat meminimalisir jumlah tahapan optimasi yang dilakukan dalam fabrikasi divais sehingga bisa meminimalisir waktu dan biaya yang dibutuhkan

selama fabrikasi. Simulasi dalam penelitian dimodelkan dalam geometri 2D menggunakan metode elemen hingga. Ketebalan masing-masing lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n divariasi untuk mengetahui pengaruh dari ketebalan lapisan pada bahan dengan parameter input dan ketebalan awal yang sama, sehingga bisa diketahui variasi ketebalan lapisan yang memiliki pengaruh paling besar dalam meningkatkan kinerja divais sel surya persambungan p-i-n berbasis silikon amorf terhidrogenasi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n terhadap karakteristik rapat arus-tegangan sel surya persambungan p-i-n berbasis a-Si:H dalam bentuk 2D dengan menggunakan metode elemen hingga?
2. Variasi ketebalan lapisan manakah yang memiliki pengaruh paling besar untuk meningkatkan kinerja divais sel surya?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Geometri sel surya dimodelkan dalam bentuk 2D.
2. Struktur bahan yang disimulasikan adalah silikon amorf terhidrogenasi (a-Si:H), karena bahan silikon amorf terhidrogenasi memiliki koefisien absorpsi yang lebih tinggi, teknologi pembuatan yang lebih sederhana dan bahan baku yang melimpah.
3. Metode yang digunakan adalah metode elemen hingga, karena metode elemen hingga mampu memodelkan material semikonduktor yang memiliki geometri tidak teratur.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n terhadap karakteristik rapat arus-tegangan sel surya persambungan p-i-n berbasis a-Si:H dalam bentuk 2D menggunakan metode elemen hingga.
2. Mengetahui variasi ketebalan lapisan yang memiliki pengaruh paling besar untuk meningkatkan kinerja divais sel surya.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang pengaruh variasi ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n terhadap karakteristik rapat arus-tegangan pada sel surya berbasis silikon amorf terhidrogenasi.
2. Memberikan informasi ketebalan setiap lapisan pada persambungan p-i-n yang memiliki pengaruh paling besar untuk meningkatkan kinerja divais sel surya.
3. Dapat meminimalisir tahapan penelitian yang dilakukan pada proses fabrikasi sel surya.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah diuraikan di atas, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Hasil simulasi karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) sel surya berbasis a-Si:H pada berbagai ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n dengan ketebalan awal lapisan p/i/n sebesar 150 Å/ 5500 Å/ 300 Å menunjukkan bahwa ketebalan masing-masing lapisan memiliki pengaruh terhadap karakteristik  $J$ - $V$  sel surya. Ketebalan lapisan-p memiliki pengaruh cukup besar dilihat dari perubahan nilai rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) yang diperoleh dengan  $J_{SC}$  tertinggi sebesar 17,09 mA/cm ketika ketebalan lapisan-p 190 Å dengan  $V_{OC}$  bernilai konstan sebesar 0,575 volt. Ketebalan lapisan-i memiliki pengaruh paling besar dilihat dari perubahan nilai  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  yang diperoleh dengan  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  tertinggi sebesar 49,66 mA/cm dan 0,625 volt ketika lapisan-i paling tebal 7500 Å. Sedangkan lapisan-n memiliki sedikit pengaruh terhadap karakteristik  $J$ - $V$  sel surya dengan  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  tertinggi sebesar 15,98 mA/cm dan 0,6 volt diperoleh ketika lapisan-n yang cukup tipis yaitu 150 Å.
2. Rapat arus hubung singkat ( $J_{SC}$ ) dan tegangan hubung terbuka ( $V_{OC}$ ) maksimum dalam simulasi diperoleh ketika ketebalan lapisan p/i/n sebesar 190 Å/7500 Å/150 Å dengan nilai  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  secara berurutan 53,3 mA/cm dan 0,65 volt menunjukkan bahwa variasi ketebalan lapisan p/i/n sebesar 190 Å/7500 Å/150 Å memiliki pengaruh paling besar dalam meningkatkan kinerja divais sel surya.

### 5.2 Saran

Pada penelitian ini telah menunjukkan pengaruh ketebalan lapisan-p, lapisan-i dan lapisan-n sel surya berbasis a-Si:H terhadap karakteristik rapat arus-tegangan ( $J$ - $V$ ) yang dihasilkan, namun ada data hasil simulasi yang divergen menyebabkan nilai  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  tidak muncul. Penelitian selanjutnya diharapkan menganalisa penyebab data menjadi divergen agar dapat dilihat nilai  $J_{SC}$  dan  $V_{OC}$  yang dihasilkan sehingga bisa dilanjutkan untuk mengkaji efisiensi sel surya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aditiyan, N. 2015. Karakterisasi Panel Surya Model SR-156P-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari. *Skripsi*. Lampung: Universitas Lampung.
- Ahda, S., T. Winata., A. Supu., A. Fisli, dan Mardiyanto. 2004. Pengukuran Fotokonduktivitas, Struktur dan Laju Penumbuhan pada Lapisan Tipis a-Si:H yang Ditumbuhkan dengan Metode HW-PECVD. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*. 7 September. 392-396
- Buwono, M. C. 2010. Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Arus Sel Surya dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Danielsson, E. 2000. *FEMLAB Model Library For Semiconductor Device Model*. Stockholom: The Royal Insitute Of Insitute.
- Hack, M. dan Shur. 1985. Physics of Amorphous Silicon Alloy p-i-n Solar Cells. *Journal of Applied Physics*. 58(2): 997-1020.
- Hamakawa, Y. 1981. Recent Progress Of The Amorphous Silicon Solar Cells and Their Technology. *Journal de Physique Colloques*. 42 (C4): 1131-1142
- Jelodarian, P dan A. Kosarian. 2012. Effect of p-Layer and i-Layer Properties on the Electrical Behaviour of Advanced a-Si:H/a-SiGe:H Thin Film Solar Cell from Numerical Modeling Prospect. *International Journal of Photoenergy*. 2012:1-7
- Kabir, M.I., S. A. Shahahmadi., V. Lim., S. Zaidi., K. Sopian, dan N. Amin. 2012. Amorphous Silicon Single-Junction Thin-Film Solar Cell Exceeding 10% Efficiency by Design Optimization. *International Journal of Photoenergy*. 2012:1-7.
- Mialhe, P. dan Charette. 1983. Experimental Analysis of I-V Characteristic of Solar Cells. *American Journal Physics*. 51 (1): 68-70.
- Neaman, D. A. 2003. *Semiconductor of Physics and Devices: Basic Principles Third Edition*. Mexico: University of New Mexico.
- Nema, S., R. K. Nema., G. Agnihotri. 2010. Matlab/ Simulink Based Study of Photovoltaic Cells/ Modules/ Array and Their Experimental Verification. *International Journal of Energy and Environment*. 1: 487-500.

- Poissant, Y., P. Chatterjee., P. R. I. Cabarrocas. 2003. No Benefit from Microcrystalline Silicon N Layer in Single Junction Amorphous Silicon p-i-n Solar Cells. *Journal of Applied Physics*. 93: 170-174.
- Prayogi, S. 2017. Fabrikasi Sel Surya Berbasis a-Si:H Lapisan Intrinsik Ganda (P- $i_x i_y$ -N) dengan PECVD dan Analisis Efisiensinya. *Tesis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Puri, R. K. dan V. K. Babbar. 2001. *Solid State Physics and Electronic*. New Delhi: S. Chand and Company LTD.
- Purwandari, E., T. Winata. 2012. Optimasi Tekanan Deposisi dalam Simulasi Efisiensi Sel Surya berbasis Material a-Si:H. *Jurnal Gradien*. 8 (1): 716-721.
- Rif'an, M., Sholeh H.P., M. Shidiq., R. Yuwono., H. Suyono dan Fitriana. 2012. Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya. *Jurnal EECCIS*. 6 (1):44-48.
- Rio, S. R, dan M. Iida. 1999. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Rusman. 2015. Pengaruh Variasi Beban terhadap Efisiensi Solar Cell dengan Kapasitas 50 WP. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro*. 4 (2): 84-90.
- Sanchez, C.V. 2001. *Thin Film Nanocrystalline Silicon Solar Cell By Hot-Wire CVD*. Barcelona: Department De Fisica Aplicada I Optica.
- Santoso, A., Darsono., T. Sujitno, dan Suprpto. 1996. Pembuatan dan Penentuan Koefisien Serapan Silikon Amorf Terhidrogenasi dengan Metode Evaporasi Langsung. *Prosiding Penelitian dan Presentasi Ilmiah*. 23-25 April. PPNY-Batan. 43-49.
- Satwiko, S. 2012. Uji Karakteristik pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY, Purworejo*. 14 April 2012. 208-212.
- Setiadi, R. 2013. Pengaruh Komposisi Campuran Lapisan Aktif P3ht-Zno Terhadap Karakteristik Sel Surya Polimer Hibrid Substrat Fleksibel. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Snowden, C.M. 1986. *Introduction to Semiconductor Device Modeling*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

- Solehuddin, M. 2016. Simulasi 2D Perhitungan Efisiensi Konversi Energi Sel Surya Persambungan p-i-n Berbasis Material Silikon Amorf Terhidrogenasi (a-Si:H). *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Street, R. I. 1991. *Hydrogenated Amorphous Silicon*. Cambridge: Cambridge University Press Cambridge.
- Stuckelberger, M. E. 2014. Hydrogenated Amorphous Silicon Impact of Process Conditions on Material Properties and Solar Cell Efficiency. *Tesis*. Swiss: Ecole Polytechnique Federale De Lausanne.
- Stulik, P dan J. Singh. 1998. Calculation of Collection Efficiency for Amorphous Silicon Solar Cells. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 242: 115-121.
- Susilo, S., M. N. Izam., E. P. Budiana. 2012. Perancangan Solar Tracker sebagai Peningkatan Efisiensi Energi Listrik yang Dihasilkan Panel Surya dengan Menggunakan Logika Kabur (Fuzzy Logic). *Mekanika*. 10 (2): 83-86.
- Syakbaniah. 2000. Penentuan Celah Optik dan Konsentrasi H pada Lapisan-i a-Si:H yang Dideposisi dalam PECVD Ganda. *Laporan Penelitian*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Sze, S. M. 1985. *Semiconductor Devices : Physics and Technology*. New York: John Wiley and Sons.
- Takahashi, K. dan M. Konagai. 1986. *Amorphous Silicon Solar Cells*. London: North Oxford Academic Pub. Ltd.
- Usman, I. 2006. Penumbuhan Lapisan Tipis Silikon Amorf Terhidrogenasi dengan Teknik HWC-VHF-PECVD dan Aplikasinya pada Divais Sel surya. *Disertasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Usman, I., T. Winata. 2008. Pengaruh Ketebalan Lapisan Aktif terhadap Karakteristik Sel Surya Berbasis a-Si:H yang Ditumbuhkan dengan Teknik HWC-VHF-PECVD. *Jurnal Matematika dan Sains*. 13 (4): 109-113.
- Wronski, C. R., J. M. Pearce., R. J. Koval., A. S. Ferlauto., R. W. Collins. 2002. Progress in Amorphous Silicon Based Solar Cell Technology. *World Climate and Energy Event*. 6-11 Januari. 67-72.
- Yuliananda, S., G. Sarya., R. A. R. Hastijanti. 2015. Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*. 1 (2): 193-202.



LAMPIRAN

4.1 Karakteristik rapat arus-tegangan sel surya berbasis a-Si:H pada variasi ketebalan lapisan-p (70-220) Å

Tegangan (V)	Rapat arus ( $mA/cm$ ) pada berbagai ketebalan lapisan-p					
	70 Å	100 Å	130 Å	160 Å	190 Å	220 Å
0,000	14,59	16,09	15,52	16,19	17,09	16,67
0,025	14,47	15,95	15,39	16,09	16,93	16,52
0,050	14,34	15,80	15,24	15,89	16,76	16,35
0,075	14,20	15,63	15,08	15,72	16,57	16,16
0,100	14,05	15,45	14,91	15,53	16,36	15,96
0,125	13,88	15,25	14,72	15,33	16,14	15,74
0,150	13,69	15,03	14,51	15,10	15,89	15,50
0,175	13,48	14,79	14,28	14,85	15,62	15,23
0,200	13,25	14,52	14,02	14,57	15,31	14,94
0,225	12,99	14,22	13,73	14,26	14,98	14,61
0,250	12,69	13,88	13,40	13,91	14,60	14,24
0,275	12,36	13,50	13,04	13,52	14,18	13,83
0,300	11,98	13,07	12,62	13,08	13,71	13,37
0,325	11,54	12,58	12,15	12,58	13,17	12,84
0,350	11,04	12,02	11,60	12,01	12,57	12,25
0,375	10,46	11,37	10,98	11,36	11,87	11,57
0,400	9,78	10,62	10,25	10,60	11,07	10,79
0,425	8,99	9,75	9,41	9,72	10,15	9,89
0,450	8,05	8,73	8,43	8,70	9,08	8,84
0,475	6,95	7,53	7,27	7,51	7,83	7,63
0,500	5,65	6,12	5,92	6,12	6,38	6,23
0,525	4,12	4,47	4,34	4,49	4,70	4,59
0,550	2,32	2,55	2,50	2,60	2,75	2,71
0,575	0,23	0,31	0,36	0,42	0,50	0,54