

ANALISIS MEDAN LISTRIK DAN POTENSIAL SEMIKONDUKTOR PN JUNCTION SECARA NUMERIK MENGGUNAKAN APLIKASI MATLAB

Rasmianti¹⁾, Dahlang Tahir¹⁾, Eko Juarlin¹⁾

¹⁾Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan 10, Makassar, Sulawesi Selatan
E-mail: rasmi.anti@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis medan listrik dan energi potensial daerah deplesi semikonduktor p-n, *Abrupt*, dan *Lineary Graded Junction* menggunakan metode finite difference. Input parameter pada simulasi ini adalah titik diskritisasi, syarat batas, N_D , N_A , X_l , X_r , E_r , dan E_l menggunakan 3 skema, yaitu: *Forward*, *Central*, dan *Backward*. Setiap skema di uji coba, lalu diambil skema terbaik. Indikator penetapan skema terbaik adalah keluaran N (Distribusi Muatan) yang polanya sesuai dengan teori. Penelitian ini berhasil membangun simulasi sebaran distribusi muatan, medan listrik dan potensial di daerah deplesi dengan lebar yang digunakan $x_l = -2$ cm, $x_r = 2$ cm dengan nilai $N = 1$ cm⁻³ maka diperoleh hasil untuk sebaran medan listrik (E) = 2 dan potensial (V) = 4 V untuk *Abrupt Junction* dan untuk *Linearly Graded Junction* dengan nilai distribusi muatan (N) yang sama diperoleh hasil sebaran medan listrik (E) = -5 dan potensial (V) = -14 V. Divais tipe p-n *Abrupt Junction* dan *Linearly Graded Junction* menunjukkan sebaran distribusi dan medan listrik yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi muatan mempengaruhi distribusi medan listrik sedangkan luas daerah medan listrik dapat mempengaruhi nilai dari *potensial built in*.

Kata kunci: Simulasi, Semikonduktor, Daerah Deplesi, *Finite Difference*, *Abrupt Junction* dan *Linearly Graded Junction*.

I. PENDAHULUAN

Energi matahari menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang mampu mengimbangi energi non terbarukan seperti bahan bakar fosil dan minyak bumi yang semakin berkurang dengan cara mengkonversinya dalam bentuk energi listrik. Adapun perangkat konversi ini menggunakan material semikonduktor atau biasa di kenal dengan sel surya (Sadegh Hesari, 2016).

Perkembangan sel surya menjadi topik yang terus menerus mendapat perhatian karena perangkat semikonduktor menjadi dasar dari industri elektronik yang telah menjadi industri terbesar di dunia sejak tahun 1998. Dioda menjadi salah satu perangkat elektronik yang banyak digunakan, berasal dari sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n sehingga biasa disebut dengan sambungan p-n (*PN junction*) (Sze, S. M, 1985). Adapun teori yang berada di balik sistem operasi

PN *junction* salah satunya berkaitan dengan daerah deplesi (Sina Khorasani, 2016).

Persamaan dasar pada semikonduktor PN *junction* dapat di selesaikan dengan cara numerik menggunakan metode *Finite Difference* karena sulit di selesaikan secara analitik (Renshaw John samuel, 2013). Variasi dari berbagai teori terkait PN *junction* sudah banyak digunakan sementara kontribusi besar untuk saat ini hanya sebatas memodifikasi metode numeriknya (Parisi, Antonino dkk, 2015) (Hamid Fardi, 2015) (Hamid Fardi, dkk, 2014) dan (Purwandari & Winata, 2013).

Berbagai penelitian telah dilakukan menggunakan metode yang beragam. Metode simulasi dengan software yang berbeda-beda seperti yang dilakukan oleh (Purwandari & Winata, 2013) dalam penentuan temperatur filamen optimum pada bahan menggunakan bantuan *FEMLAB* dalam perhitungan efisiensi sel surya. Penelitian lain dilakukan oleh (Parisi, Antonino dkk, 2015) menggunakan software C++ hasil simulasinya sesuai dengan data hasil eksperimen. Selain kedua software tersebut, *MATLAB* menjadi salah satu yang digemari karena fleksibel dan mudah untuk digunakan (Hamid Fardi, 2015) dan (Hamid Fardi, dkk, 2014).

Adapun simulasi yang akan kami lakukan adalah menganalisa medan listrik dan energi potensial pada sambungan PN semikonduktor dengan meninjau daerah deplesi menggunakan metode *Finite Difference* yang tersedia pada aplikasi *MATLAB*. Hasil ini diharapkan memperoleh simulasi yang lebih baik dari sebelumnya dan bisa memberikan kontribusi dalam melakukan penelitian eksperimen secara langsung.

II. METODOLOGI

Program analisis semikonduktor yang dibangun pada penelitian ini menggunakan aplikasi *MATLAB* untuk melihat kurva medan listrik dan potensial pada suatu divais semikonduktor dengan meninjau daerah deplesi yang mana di dalamnya terdapat dua kasus penting yaitu *Abrupt Junction* dan *Linearly Graded Junction*. Pada penelitian yang menggunakan metode FD ini diselesaikan dengan membagi ke dalam bentuk 2 skema yaitu skema mundur untuk daerah kiri divais dan skema maju untuk daerah kanan divais. Penentuan skema menggunakan persamaan berikut :

Skema untuk *forward difference* (Skema maju) dan *backwad difference* (Skema mundur) di tuliskan sebagai berikut:

$$f'_+(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (\text{II.1})$$

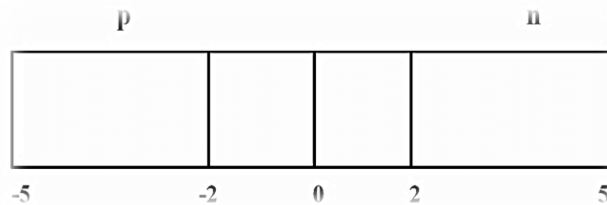
$$f'_-(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(x-\Delta x)}{\Delta x} \quad (\text{II.2})$$

Adapun syarat mutlak untuk program ini bisa berhasil adalah $N_D \cdot X_D = N_A \cdot X_A$ sedangkan untuk variabel-variabel yang digunakan dalam program ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel IV.1 Menunjukkan konstanta fisika yang digunakan

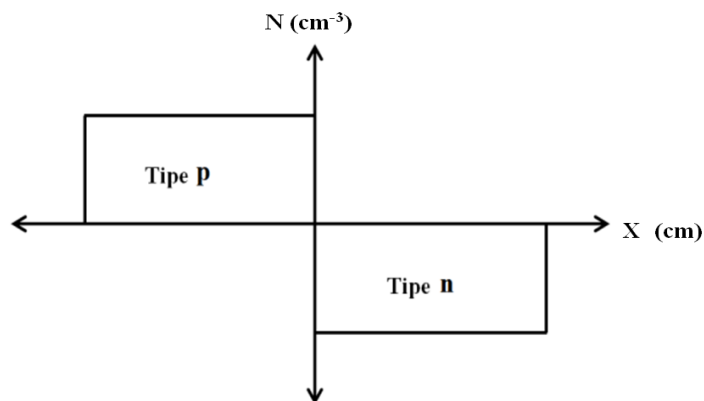
No.	Variabel	Simbol	Nilai	Satuan
1	Konsentrasi Donor	N_D	1	cm^{-3}
2	Konsentrasi Akseptor	N_A	1	cm^{-3}
3	Batas Divais kiri	X_l	-5	Cm
4	Batas Divais tengah	X_0	0	Cm
5	Batas Divais kanan	X_r	5	Cm
6	Batas Deplesi Kiri	x_l	-2	Cm
7	Batas Deplesi Kanan	x_r	2	Cm
8	Kuat medan	E	-	V/cm
9	Potensial	V	-	V

Ilustrasi dari semikonduktor tipe p-n sebagaimana di tunjukkan pada gambar IV.1 tentang gambaran awal panjang divais dan lebar daerah deplesi yang akan digunakan.



Gambar IV.1 Ilustrasi Divais semikonduktor tipe p-n

Sementara untuk melihat skema grafik dari hubungan N sebagai distribusi muatan dengan X sebagai panjang divais dapat ditunjukkan pada gambar IV.2 sebagai berikut.

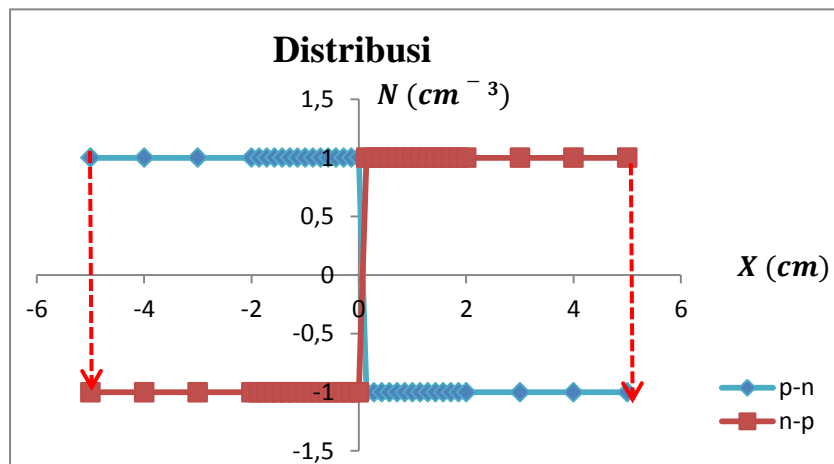


Gambar IV.2 Ilustrasi Grafik Distribusi Muatan (N) terhadap panjang divais (X)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL SIMULASI MEDAN LISTRIK DAN POTENSIAL PADA KASUS ABRUPT JUNCTION

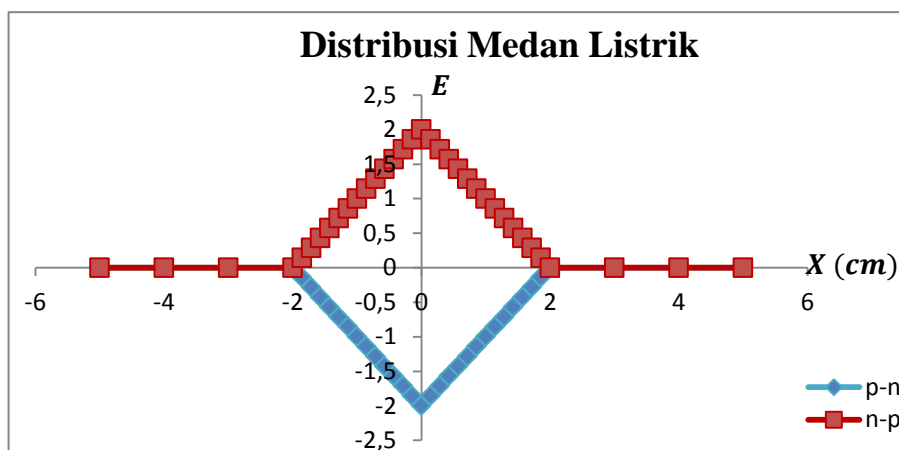
Pada kasus *Abrupt Junction* hasil yang diperoleh harus memenuhi syarat berikut: $-2 \leq x \leq 0$ untuk daerah tipe p dan $0 < x \leq 2$ untuk daerah tipe n. Gambar IV.3 di bawah dimana garis merah menunjukkan semikonduktor tipe p-n dan garis biru menunjukkan semikonduktor tipe n-p di sepanjang garis divais dan yang menjadi ciri dari kasus *Abrupt Junction*.



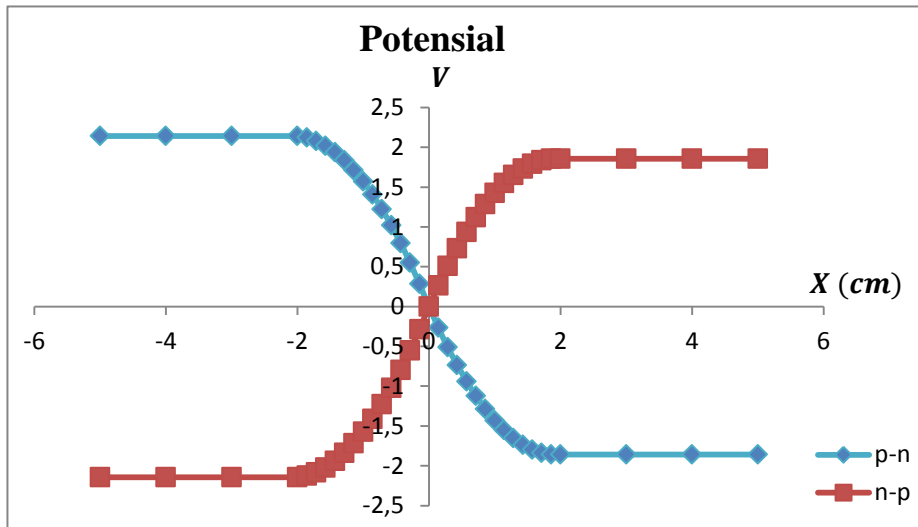
Gambar IV.3 Grafik Distribusi Muatan (N) terhadap panjang divais (X)

Semikonduktor p-n

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar IV.4 merupakan hasil sebaran medan listrik yang ada pada semikonduktor dimana garis biru menunjukkan tipe p-n dan garis merah menunjukkan tipe n-p sepanjang garis divais dimana pada daerah kiri divais digunakan syarat $x \leq 0$ adalah daerah N_A dan pada daerah kanan $x \geq 0$ adalah daerah N_D . Sebaliknya untuk semikonduktor tipe n-p daerah kiri divais $x \leq 0$ menjadi daerah N_D dan pada daerah kanan $x \geq 0$ menjadi daerah N_A .



Gambar IV.4 Grafik Medan Listrik (\vec{E}) terhadap Panjang Divais (X)



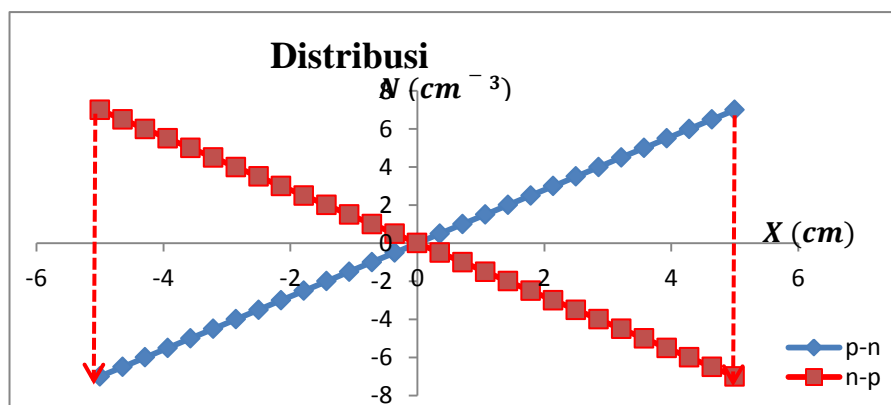
Gambar IV.5 Grafik Potensial (V) terhadap Panjang Divais (X)

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar IV.5 merupakan hasil sebaran Potensial yang ada pada semikonduktor tipe p-n dan n-p di sepanjang garis divais dengan syarat batas untuk Potensial (V) konstanta $V_l = -5$ pada daerah kiri divais sedangkan untuk daerah tengah divais $V = 0$ dan pada daerah kanan divais $V_r = 5$.

HASIL SIMULASI MEDAN LISTRIK DAN POTENSIAL PADA KASUS *LINEARLY GRADED JUNCTION*

Pada kasus *Linearly Graded Junction* hasil yang diperoleh harus memenuhi syarat berikut: N_D dan N_A diberi nilai $\frac{7}{5}$ yang diperoleh dari persamaan IV.1 dengan $(x_1, y_1) = (0,0)$ dan $(x_2, y_2) = (-5, -7)$ untuk daerah kiri divais sedangkan $(x_1, y_1) = (0,0)$ dan $(x_2, y_2) = (5,7)$ untuk daerah kanan divais. Adapun untuk variabel yang digunakan sama dengan tabel IV.1.

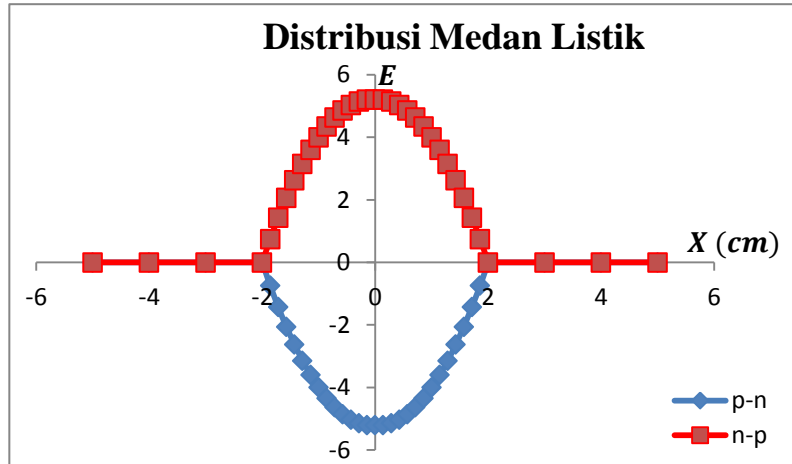
$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \quad (\text{IV.1})$$



Gambar IV.9 Grafik Distribusi Muatan (N) p-n terhadap panjang Divais (X)

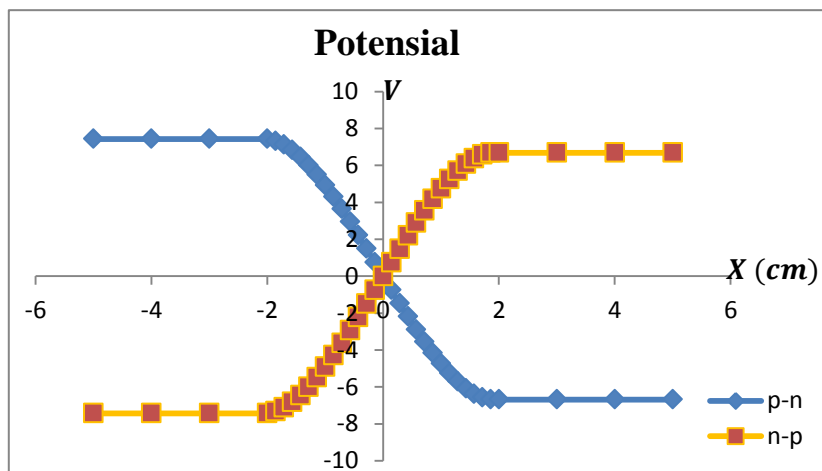
Gambar IV.9 di atas menunjukkan sebaran distribusi muatan di sepanjang garis divais pada semikonduktor dimana garis biru menunjukkan tipe p-n dan garis merah menunjukkan tipe n-p.

Semikonduktor p-n



Gambar IV.10 Grafik Medan Listrik (\vec{E}) terhadap Panjang Divais (X)

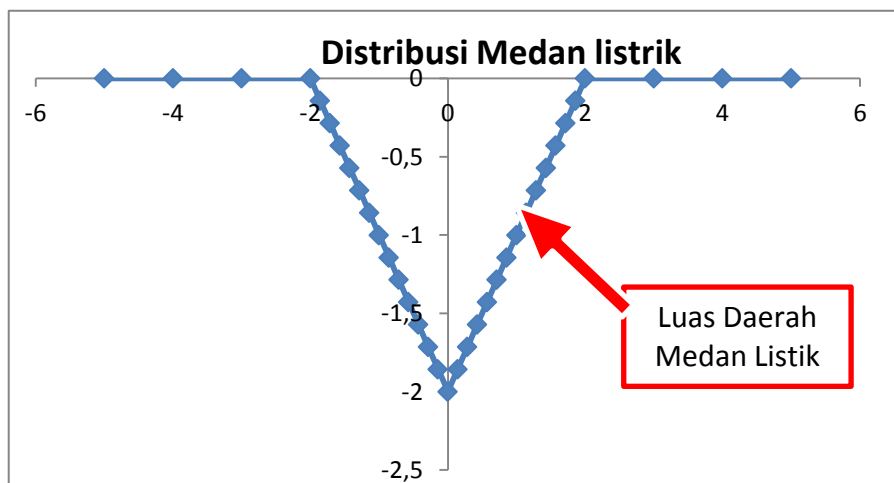
Hasil pada kasus *Linearly Graded Junction* dengan sebaran distribusi muatan yang berbeda pada divais sehingga kurva medan listrik yang dihasilkan pun berbeda sebagaimana yang ditampilkan gambar IV.10 kurva hasil sebaran Medan Listrik pada semikonduktor tipe p-n dan n-p yang di tunjukkan pada garis biru dan merah di sepanjang garis divais. Sedangkan untuk kurva Potensial (V) dengan konstanta V_l , V dan V_r sama dengan yang ada pada sambungan tipe p-n pada kasus *Abrupt Junction* sebagaimana yang terlihat pada gambar IV.11 dimana semikonduktor n-p mengubah syarat pada daerah kiri divais $x \leq 0$ menjadi daerah N_D dan pada daerah kanan $x \geq 0$ menjadi daerah N_A .



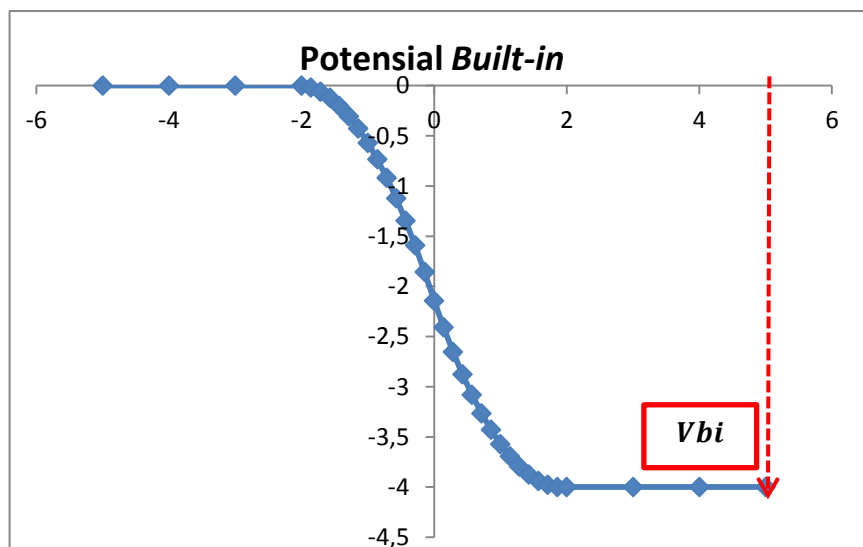
Gambar IV.11 Grafik Potensial (V) terhadap Panjang Divais (X)

Hubungan Medan Listrik dan Potensial

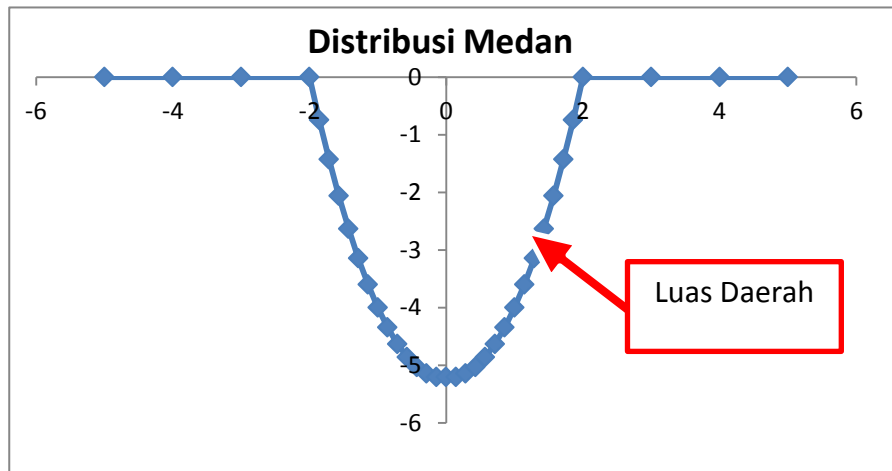
Hasil dari simulasi medan listrik dan potensial menggunakan metode *Finite Difference* sebagaimana yang terdapat pada kurva gambar IV.12 untuk *Abrupt Junction* dan IV.14 untuk *Linearly graded junction* berikut menjelaskan bahwa dengan mengetahui luas daerah medan listrik dapat pula diketahui nilai potensial *built in* atau V_{bi} seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.13 untuk *Abrupt Junction* dan IV.15 untuk *Linearly graded junction*, dimana pada kasus *Linearly graded junction* luas daerah sebaran medan listrik yang terbaca lebih banyak dibandingkan dengan *Abrupt Junction*.



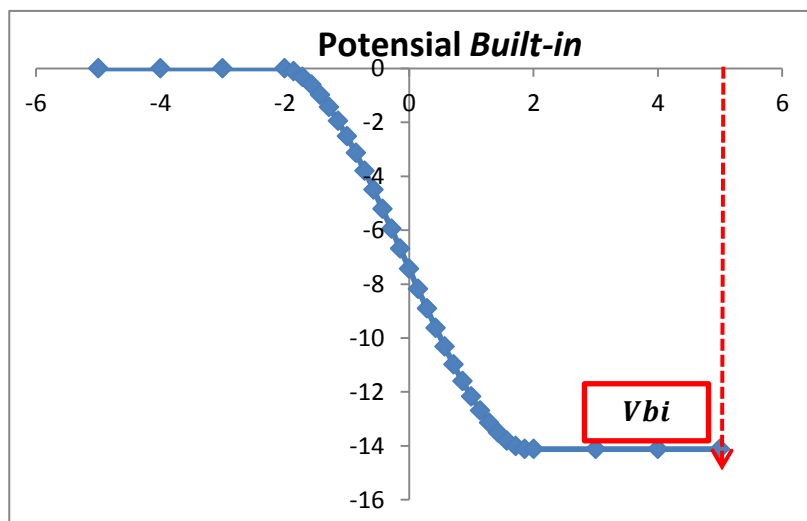
Gambar IV.12 Area Medan Listrik untuk kasus *Abrupt Junction*



Gambar IV.13 Daerah Potensial *Built In*



Gambar IV.14 Area Medan Listrik untuk kasus *Linearly Graded Junction*



Gambar IV.13 Daerah Potensial *Built In*

KESIMPULAN

Metode finite difference dalam penelitian ini berhasil digunakan untuk membangun sebuah simulasi dari sebaran distribusi muatan, medan listrik dan potensial di sepanjang garis divais dan daerah deplesi yang telah ditentukan lebarnya. Divais tipe p-n *Abrupt Junction* dan *Linearly Graded Junction* menunjukkan sebaran distribusi dan medan listrik yang berbeda. Berdasarkan hasil dari kedua kasus ini pula dapat diketahui bahwa luas daerah medan listrik dapat mempengaruhi nilai dari potensial *built in*.

DAFTAR PUSTAKA

Callister, D William. 2003. *Material Science and Engineerin An Introduction 6nd Ed.* Salt Lake City: John Wiley & Sons.

- Colavin, Alexandre. 2012. *Finite Difference Method for Difference Equations*. Stanford: Stanford University.
- Enderlein, Rilf & Horing, Normang J. 1997. *Fundamental of Semiconductor Physics and Devices*. Singapore: World Scientific
- Griffiths, David J. 1999. *Introduction to Electrodynamics*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Hamid, Fardi. 2015. *Numerical Analysis of Semiconductor PN junction Using Matlab*. Journal of Scientific Research and Reports. 6(2):84-98, 2015; article no. JSRR. 2015.134.
- Hamid Fardi, Pace Shawn dan Alaghand Gita. 2014. *A Semiconductor Devices Simulator Utilizing Matlab*. Hawaii: Colorado Denver University.
- Hu, Chenming. 2009. *Semiconductor Physics and Devices: Modern Semiconductor Devices for Integrated Circuit 1st Edition*. Berkeley: California University.
- Keenam, Padraig. 1992. *The Solution of Two Point Boundary Value Problem in a Parallel Environment*. Irelandia: Dublin city University.
- Kittel, C. 2005. *Introduction to Solid State Physics Eighth Edition*. Berkeley: John Wiley & Sons.
- Parisi Antonino, Pernice Riccardo, Rocca Vincenzo, Curcio Luciano, Stivala Salvatore, C. Cino Alfonso, Cipriani Giovanni, Di dio Vincenzo, Galluzzo Ricco Giuseppe, Miceli Rosario, dan Busacco C Alessandro. 2015. *Graded Carrier Concentration Absorber Profile for High Efficiency CIGS Solar Cell*. International journal of Photoenergy Vol. 2015, article ID 4105549,9
- Papadopoulos, C. 2014. *Solid State Electronic Devices: An Introduction*. Canada: Victoria University.
- Purwandari & Winata. 2013. *Analisis Perhitungan Efisiensi Sel Surya Berbasis A-Si:H dalam Penentuan Temperatur Filamen Optimum Bahan*. Jurnal Ilmu dasar. Vol.14 No. 1, Januari 2013: 27-30.
- Renshaw, John samuel. 2013. *Numerical modeling and fabrication of high Efficiency crystalline silicon solar cells*. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Sadegh, Hesari. 2016. *Design and Implementation of Maximum Solar Power Tracking System Using Photovoltaic Panels*. International journal of Renewable Energy Research. Vol.6, No.4, 2016.
- Sina, Khorasani. 2016. *Abrupt PN Junction: Analytical Solutions Under Equilibrium and Non-equilibrium*. Journal of Solid State Electronics. Vol.122,pp. 37-44 (2016)
- SM SZE. 1985. *Semiconductor Devices Physic and Technology 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Streetman, B and S. K. Banerjee. 2006. *Solid State Electronic Devices, 6th ed*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall
- Xiulan, Cheng. 2012. *Fundamentals of Semiconductor*. Hangzou: Zhejiang University.