

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. LATAR BELAKANG**

Divais-divais optoelektronik adalah divais-divais yang prinsip kerjanya melibatkan konversi energi cahaya (opto) dan energi listrik (elektronik). Beberapa contoh divais optoelektronik adalah sel surya, fotodetektor, fotokonduktor, LED, dan lain-lain. Sel surya yang merupakan piranti (divais) yang dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung tanpa menghasilkan limbah. Sehingga benar-benar merupakan sumber energi listrik yang bersih dan tidak akan pernah habis selama matahari masih memancarkan cahayanya. Parameter unjuk kerja dari sel surya adalah efisiensi konversi yaitu rasio antara daya yang dihasilkan (listrik) dengan daya masukan (cahaya). Fotodetektor merupakan divais yang dapat mendeteksi dan mengkonversi energi cahaya dengan panjang gelombang tertentu menjadi energi listrik. Salah satu contoh penggunaan fotodetektor adalah sebagai komponen dalam sistem komunikasi serat optik, yang ditempatkan pada bagian receiver yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal optik dan mengkonversinya menjadi sinyal listrik. Parameter unjuk kerja untuk fotodetektor adalah responsivitas, detektivitas, dan efisiensi kuantum.

Pemakaian sel surya sebagai sumber energi listrik di Indonesia kuantitasnya masih sangat minim, diperkirakan hanya mencapai 51,48 MW saja ( 0,043 %) dari total kebutuhan energi listrik nasional tahun 1999 sebesar 120963 MW (Achiar Oemry, 1997). Minimnya tingkat pemakaian sumber energi listrik ini dibandingkan dengan sumber energi listrik lain disebabkan pemakaiannya masih dipandang belum ekonomis akibat biaya pemasangannya yang masih relatif mahal. Mahalnya biaya pemasangan ini dikarenakan masih rendahnya efisiensi konversi energi yang dapat dicapai sel surya hingga saat ini. Agar sumber energi ini dapat lebih kompetitif sebagai sumber energi listrik, maka perlu terus mengupayakan peningkatan efisien konversi yang dapat dicapainya. Untuk itu kegiatan penelitian dan pengembangan (Litbang) di bidang ini frekuensinya perlu lebih ditingkatkan.

Proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik atau sebaliknya dalam divais optoelektronik secara fisis cukup rumit untuk dikaji, karena banyak melibatkan variabel yang saling terkait dan saling mempengaruhi terhadap unjuk kerjanya. Variabel-variabel tersebut antara lain sifat-sifat bahan pembuat divais, struktur divais, serta karakteristik dari setiap lapisan. Perubahan variabel yang satu dapat menyebabkan perubahan pada variabel lainnya yang berlanjut pada perubahan unjuk kerjanya. Dengan demikian untuk mendapatkan suatu struktur divais optoelektronik yang memiliki unjuk kerja optimum perlu dilakukan proses optimalisasi. Proses optimalisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pertama optimalisasi secara langsung melalui proses pembuatan yang berulang-ulang dengan cara mengubah-ubah parameter-parameter pembuatannya, dan yang kedua optimalisasi melalui pengkajian teoritis proses fisis yang terjadi pada saat konversi energi cahaya menjadi listrik atau sebaliknya dan dilanjutkan perhitungan efisiensi dengan proses simulasi perhitungan dengan cara memasukkan parameter-parameter bahan pembuatannya. Kedua cara ini masing-masing mempunyai keunggulan dan kelemahan. Keunggulan cara pertama adalah hasil yang diperoleh mencerminkan nilai yang sesungguhnya terjadi, sedang kelemahannya adalah prosesnya membutuhkan biaya yang sangat mahal. Keunggulan cara kedua adalah prosesnya murah karena hanya membutuhkan sebuah PC, sedangkan kelemahannya adalah hasil yang diperoleh akan menyimpang dari yang sesungguhnya, akibat adanya pembatasan-pembatasan dan pengidealan-pengidealan pada saat pengkajian teorinya.

Sebagai tahap awal riset kearah pengembangan divais optoelektronik, melalui kegiatan penelitian ini akan dilakukan proses simulasi dari berbagai macam divais optoelektronik dalam rangka optimalisasi unjuk kerjanya. Proses simulasi akan difokuskan pada pengembangan berbagai struktur divais. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang mendekati hasil sebenarnya, maka dalam pengembangan model matematik dari fenomena fisis dalam divais akan diupayakan sedekat mungkin dengan fenomena fisis yang sebenarnya, proses pengidealan dan pembatasan-pembatasan akan dihindari sebanyak mungkin. Dalam proses komputasi, juga akan dipertimbangkan aspek-aspek yang merupakan fenomena atau efek yang akan timbul pada saat fabrikasinya nanti.

Dengan demikian diharapkan hasil simulasi yang diperoleh tidak terlampau jauh menyimpang dari keadaan sebenarnya, sehingga cukup akurat sebagai acuan (*guide*) dalam proses pembuatan divais optoelektronik sesungguhnya.

## 1.2. PERUMUSAN MASALAH

Atas dasar latar belakang masalah seperti yang telah dikemukakan, permasalahan yang ingin diteliti dalam penelitian ini dirumuskan dalam bentuk pertanyaan sebagai berikut :

“ Bagaimanakah kebergantungan unjuk kerja divais-divais optoelektronik seperti sel surya dan fotodetektor yang terbuat dari material film tipis semikonduktor terhadap struktur divais, karakteristik lapisan, serta parameter bahan pembuatnya ? “

Karena penelitian ini merupakan payung bagi empat penelitian mahasiswa, maka topik penelitian ini telah dibagi kedalam empat sub topik penelitian yang lebih spesifik dengan tinjauan pada berbagai struktur divais optoelektronik seperti sel surya dan fotodetektor yang memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Keempat sub topik penelitian yang dikembangkan masing-masing berjudul seperti berikut :

1. Optimasi dan Perbandingan Unjuk Kerja Sel Surya GaAs Antara yang Berstruktur p/n dan n/p.
2. Optimasi dan Perbandingan Unjuk Kerja Sel Surya Tandem GaAs/GaSb dan GaAs/Si.
3. Optimasi Unjuk Kerja Sel Surya Berstruktur Persambungan Hetero p-AlGaAs/n-GaAs.
4. Optimasi Unjuk Kerja Fotodetektor Ultra-Violet Berstruktur Persambungan p/n.

### **1.3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **A. Tujuan penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah melakukan simulasi untuk mengetahui gambaran kebergantungan unjuk kerja (*performance*) divais optoelektronik seperti sel surya dan fotodetektor yang terbuat dari film tipis semikonduktor terhadap struktur divais, karakteristik tiap lapisan, dan parameter bahan pembuatnya, yang selanjutnya dari gambaran kebergantungan ini dapat ditentukan struktur divais optoelektronik yang dapat menghasilkan unjuk kerja yang optimum yaitu unjuk kerjanya relatif tinggi dan biaya pembuatannya tidak terlampau tinggi.

#### **b. Manfaat penelitian**

Hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan pembandingan atau acuan bagi yang melakukan penelitian sejenis, sedangkan bagi para peneliti yang mengerjakan pembuatan divais ini langsung secara eksperimen, hasil kajian ini dapat dijadikan panduan (*guide*) dalam fabrikasinya, sehingga prosesnya dapat lebih efisien, efektif dan ekonomis.

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIK PENELITIAN**

Dari sekian banyak macam divais optoelektronik, tinjauan penelitian ini difokuskan pada dua jenis divais optoelektronik saja, yaitu sel surya dan fotodetektor. Hal yang menjadi pertimbangan adalah penggunaan kedua jenis divais optoelektronik ini frekuensinya cukup tinggi dibanding yang lainnya. Prinsip fisis dari sel surya dan fotodetektor sebenarnya hampir mirip, yaitu terjadinya pembangkitan pasangan elektron-hole melalui proses eksitasi ketika foton menumbuk permukaan divais. Perbedaannya adalah dari panjang gelombang foton yang dapat diserap dan berkontribusi pada proses pembangkitan ini. Sel surya dapat menyerap spektrum energi foton dalam rentang yang cukup lebar yaitu foton yang memiliki energi sama atau lebih besar dari celah pita energi material pembuat sel surya. Sedangkan fotodetektor hanya akan menyerap energi foton yang energinya di sekitar celah pita energi material pembuatnya. Berdasarkan kajian dari berbagai literatur, berikut ini akan dipaparkan hubungan fungsional dari karakteristik utama divais sel surya dan fotodetektor dengan parameter-parameter fisis bahan pembuat, struktur divais serta karakteristik setiap lapisan.

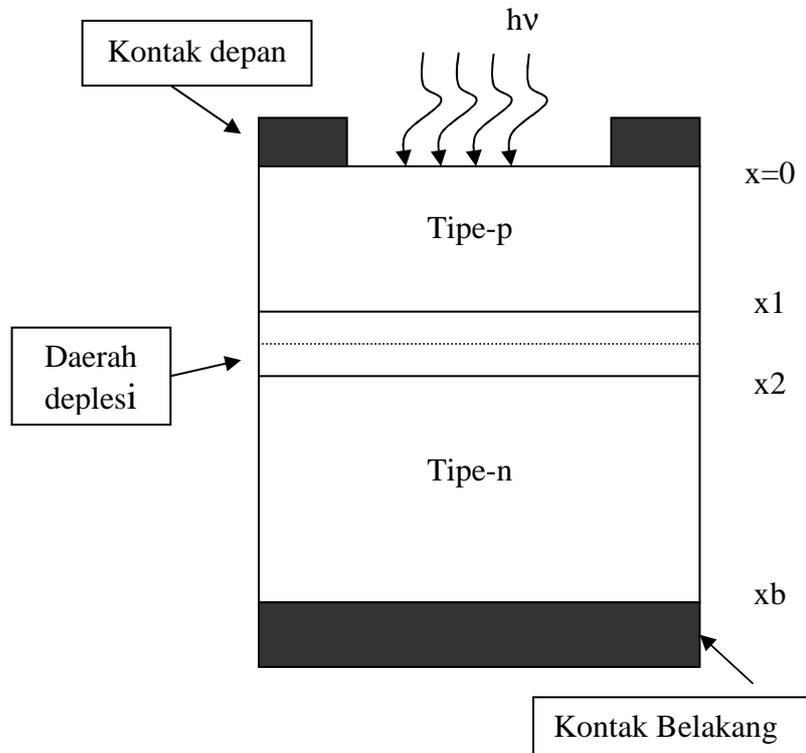
#### **2.1. Sel Surya**

Terdapat berbagai macam struktur sel surya yang dikembangkan, antara lain struktur persambungan metal-semikonduktor, persambungan p-n, persambungan p-i-n, serta persambungan multi lapisan. Struktur sel surya yang paling sederhana adalah persambungan p-n. Kebergantungan karakteristik utama sel surya berstruktur persambungan p-n terhadap parameter-parameter yang mempengaruhinya dapat diformulasikan sebagai berikut :

##### **A. Rapat Arus Penyinaran (*Photocurrent*) pada sel surya persambungan p/n**

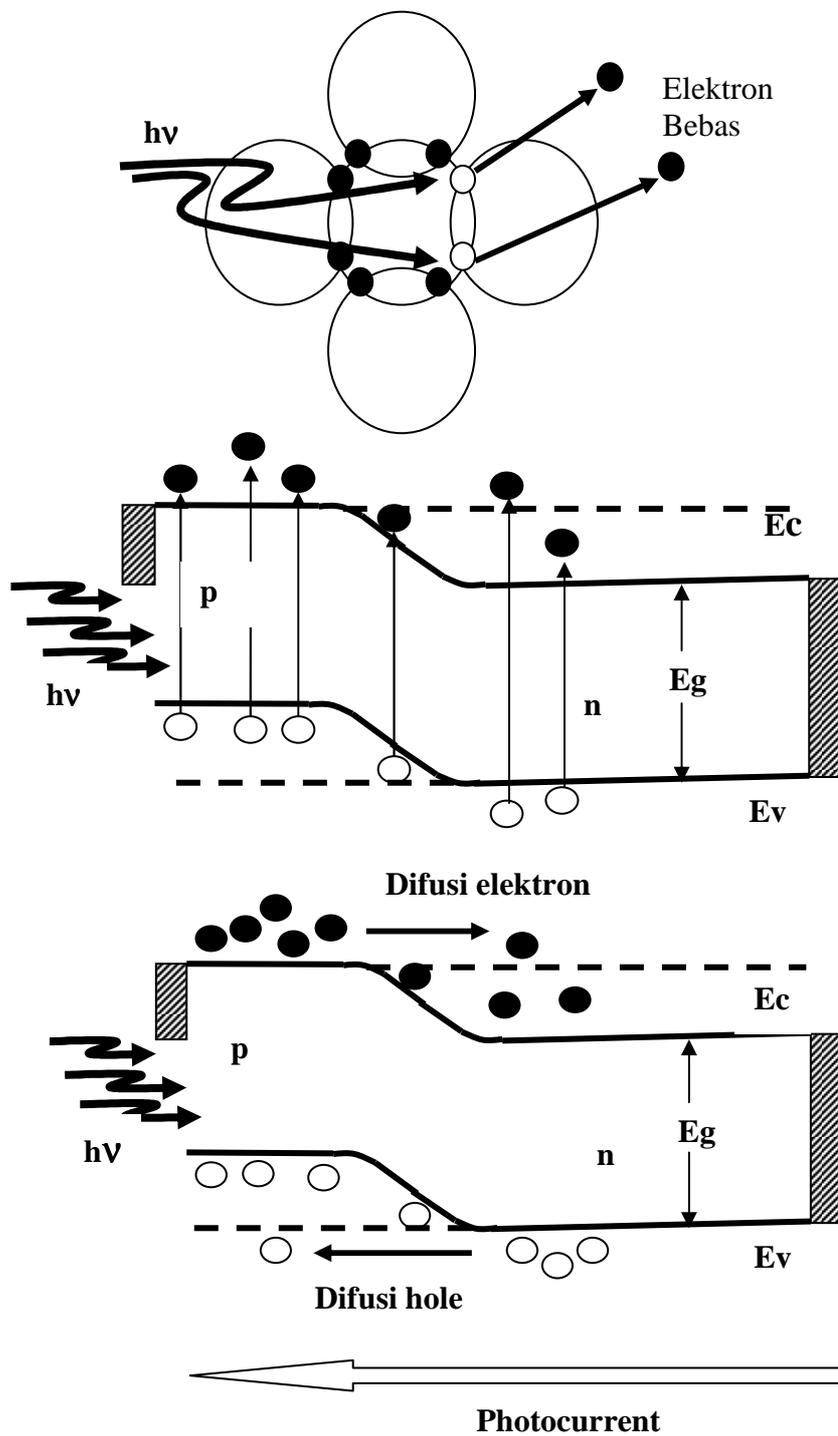
Ketika cahaya dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) tertentu jatuh ke permukaan sel surya, maka dalam sel surya tersebut akan dibangkitkan pasangan elektron-hole dengan laju pembangkitan sebagai fungsi jarak  $x$  dari permukaan atas sebagai berikut: (Hans Joachim Moller, 1993)

$$G(\lambda) = (\lambda)F(\lambda)[1-R(\lambda)]\exp(-\alpha(\lambda)x) \quad (1)$$



Gambar 2.1. Skema sel surya persambungan p/n

Karena terjadi perbedaan konsentrasi antara hole dan elektron di kedua sisi persambungan, maka akan terjadi proses difusi elektron dari tipe-p ke tipe-n dan sebaliknya hole berdifusi dari tipe-n ke tipe-p (seperti diperlihatkan pada gambar 2.2. Akibat adanya difusi kedua jenis pembawa muatan ini, maka akan muncul rapat arus penyinaran (*photocurrent*).



Gambar 2.2. Mekanisme fisis konversi cahaya listrik pada sel surya

Total rapat arus penyinaran  $J_{ph}$  ( $A/cm^2$ ) yang dapat dikoleksi dalam suatu sel surya adalah (J.J. Liou, 1992):

$$J_{ph} = J_{n,ph}(x_1) + J_{p,ph}(x_2) + J_{scr,ph} \quad (2)$$

dimana  $J_{n,ph}(x_1)$ ,  $J_{p,ph}(x_2)$  dan  $J_{scr,ph}$  berturut-turut adalah rapat arus penyinaran yang dapat dikoleksi dalam lapisan tipe-p, lapisan tipe-n dan lapisan muatan ruang (space charge) persambungan p-n pada suatu panjang gelombang tertentu.  $x_1$  dan  $x_2$  merupakan batas dari lapisan muatan ruang. Dari hasil analisis fisis proses konversi cahaya-listrik pada sel surya persambungan p/n, dapat dirumuskan persamaan rapat arus listrik pada setiap lapisan sebagai fungsi panjang gelombang datang sebagai berikut :

$$\begin{aligned} J_{nph}(x_1) &= K_1 \alpha L_n \exp(-\alpha x_1) + \frac{K_1}{A} x_1 [(S_f L_n D_n + \alpha L_n) - \exp(-\alpha x_1) (S_f L_n / D_n) \cosh(x_1 / L_n) + \sinh(x_1 / L_n)] \\ J_{pph}(x_1) &= K_2 \alpha L_p - \frac{K_2}{B} x_2 (S_b L_p D_p) (\cosh(W_b / L_p) - \exp(-\alpha W_b)) + \sinh(W_b / L_p) + \alpha L_p \exp(-\alpha W_b) \\ J_{scrph}(x_1) &= qF(1-R) \exp(-\alpha x_1) (1 - \exp(-\alpha W)) \end{aligned} \quad (3)$$

dimana

$$A = (S_f L_n / D_n) \sinh(x_1 / L_n) + \cosh(x_1 / L_n)$$

$$B = (S_b L_p / D_p) \sinh(W_b / L_p) + \cosh(W_b / L_p)$$

$$K_1 = qF(1-R)\alpha L_n / (\alpha^2 L_n^2 - 1)$$

$$K_2 = [qF(1-R)\alpha L_p / (\alpha^2 L_p^2 - 1)] \exp(-\alpha x_2)$$

$$W_b = x_1 - x_2$$

$F(\lambda)$  adalah rapat fluks foton yaitu jumlah foton yang menumbuk permukaan depan sel surya per  $cm^2$  per detik per satuan lebar pita panjang gelombang. Untuk kondisi AM1,5 dapat didekati dengan dua persamaan kurva linier sebagai berikut (J.J. Liou, 1992):

$$F(\lambda) = C(19,7\lambda - 4,7) \times 10^{15} \text{ untuk } 0,24 \leq \lambda \leq 0,47 \mu m$$

$$F(\lambda) = C(-2,5\lambda - 5,7) \times 10^{15} \text{ untuk } \lambda \geq 0,48 \mu m$$

C adalah konsentrasi matahari ( $C=1$  untuk kondisi 1 Sun)

$R(\lambda)$  adalah fraksi foton yang dipantulkan oleh permukaan depan sel, dikenal dengan istilah reflektivitas yang dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (4)$$

disini  $n(\lambda)$  adalah indeks bias dan  $k(\lambda)$  adalah koefisien peredaman (extinction), keduanya merupakan fungsi dari panjang gelombang cahaya datang.

Persamaan rapat arus penyinaran yang dikemukakan di atas (pers. 2 - .3) berlaku untuk suatu panjang gelombang ( $\lambda$ ) tertentu dan hanya cocok untuk lebar pita panjang gelombang yang sangat sempit ( $\approx 100 \text{ \AA}$ ). Dengan demikian total rapat arus penyinaran merupakan jumlah rapat arus penyinaran yang dibangkitkan oleh setiap  $100 \text{ \AA}$  lebar pita panjang gelombang, sehingga dapat dirumuskan seperti berikut (J.J. Liou, 1992):

$$J_{ph} = \sum_{i=1}^n J_{ph}(\lambda_i), \lambda_i = 0,24 + 0,01(i-1) \quad (5)$$

$n$  adalah bilangan bulat yang besarnya bergantung dari panjang gelombang terbesar yang dapat diserap oleh sel surya. Misalnya untuk sel GaAs, panjang gelombang terbesar yang dapat diserap adalah  $0,88 \mu\text{m}$  (bersesuaian dengan  $E_g=1,42 \text{ eV}$ ), maka  $n$  paling besar adalah 65.

## **B. Rapat Arus Gelap pada sel surya persambungan p/n**

Dalam semikonduktor sambungan p-n beberapa mekanisme transpor arus (transpor hole-hole dan elektron-elektron melalui daerah deplesi) dapat terjadi pada saat yang bersamaan, dan besar dari masing-masing arus ini ditentukan oleh tingkat doping tak murnian pada kedua sisi sambungan. Mekanisme transpor ini dalam arah bias maju meliputi injeksi dari pembawa-pembawa muatan melalui potensial penghalang (*barrier*) sambungan dan rekombinasi dari hole-hole dan elektron-elektron dalam daerah deplesi, seperti terlihat dalam gambar. Kedua mekanisme transpor ini menghasilkan dua komponen arus gelap yakni arus injeksi ( $I_{inj}$ ) dan arus rekombinasi ( $I_{rec}$ )

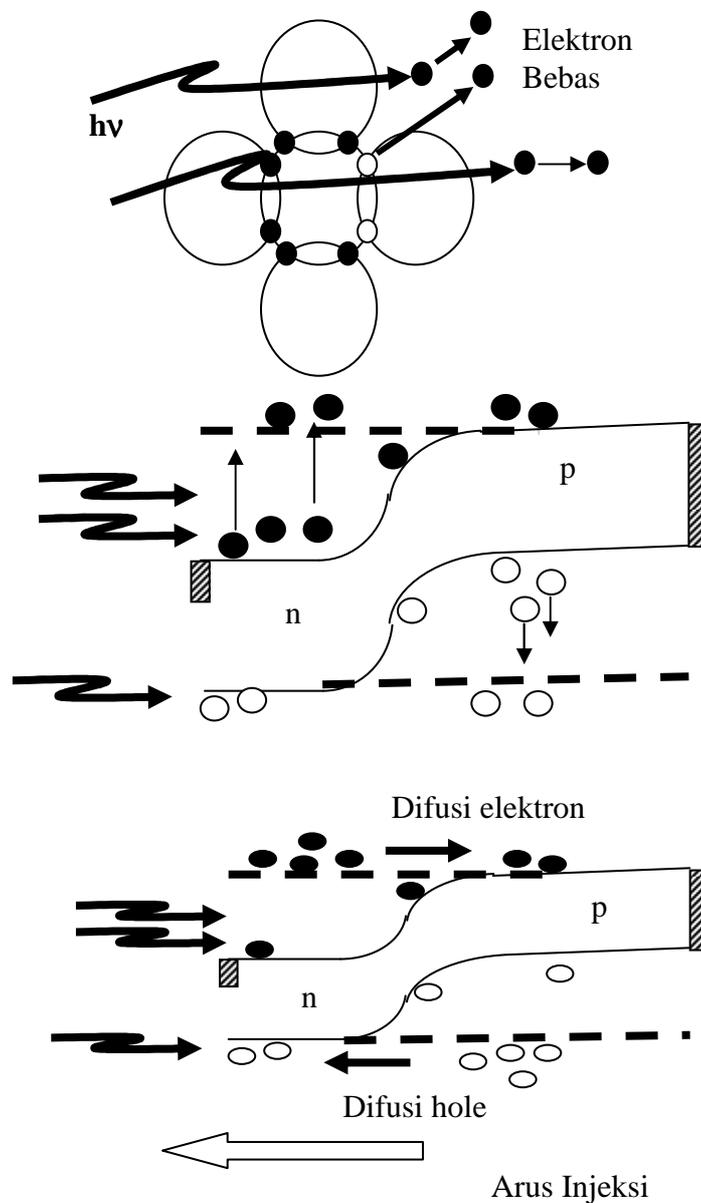
### **a. Rapat arus injeksi**

Komponen-komponen arus injeksi terdiri dari elektron-elektron yang terinjeksi dari sisi n melalui potensial penghalang ke dalam sisi p dan hole-hole yang terinjeksi dari sisi p ke dalam sisi n (lihat gambar 2.3). Jika tingkat doping tak murnian pada kedua sisi profilnya seragam (uniform), maka medan listrik diluar daerah deplesi dapat diabaikan, dan rapat arus injeksi dapat dirumuskan sebagai berikut (harold J. Hovel, 1975)

$$J_{inj} = J_o \left( \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right) \quad (6)$$

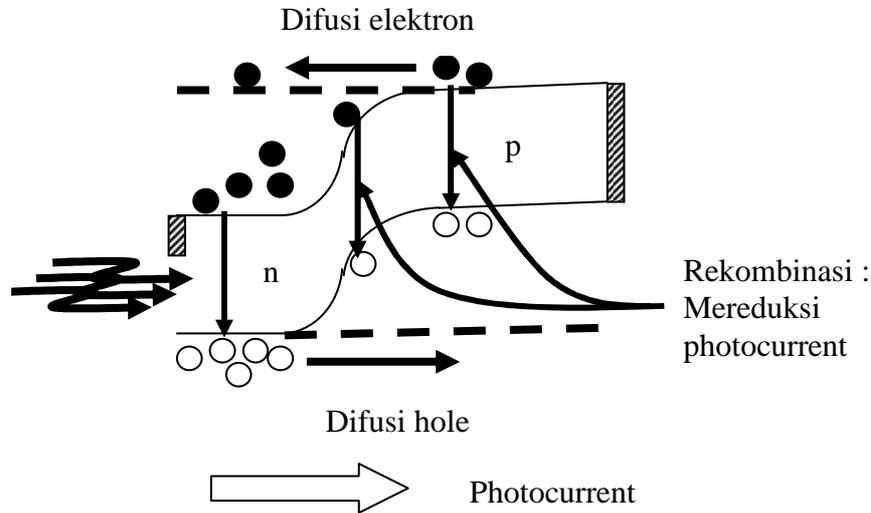
dimana

$$J_o = q \frac{D_n}{L_n} \frac{n_i^2}{N_A} \left[ \frac{\left(\frac{S_f L_n}{D_n}\right) \cosh\left(\frac{x_j}{L_n}\right) + \sinh\left(\frac{x_j}{L_n}\right)}{\cosh\left(\frac{x_j}{L_n}\right) + \left(\frac{S_f L_n}{D_n}\right) \sinh\left(\frac{x_j}{L_n}\right)} \right] + q \frac{D_p}{L_p} \frac{n_i^2}{N_D} \left[ \frac{\left(\frac{S_b L_p}{D_p}\right) \cosh\left(\frac{t}{L_p}\right) + \sinh\left(\frac{t}{L_p}\right)}{\cosh\left(\frac{t}{L_p}\right) + \left(\frac{S_p L_p}{D_p}\right) \sinh\left(\frac{t}{L_p}\right)} \right]$$



Gambar 2.3. Mekanisme munculnya arus injeksi

### b. Rapat arus rekombinasi



Gambar 2.4. Mekanisme terjadinya rapat arus rekombinasi

Jika pada sambungan p-n diberi bias maju, maka elektron-elektron dari sisi n dan hole-hole dari sisi p terinjeksi melalui persambungan di daerah deplesi ke dalam sisi p dan sisi n secara berturut-turut. Tetapi pada saat yang bersamaan, beberapa pembawa muatan ini berekombinasi di dalam daerah deplesi dan sebagai akibatnya akan terjadi peningkatan arus gelap yang melalui sel surya. Dalam teori Sah-Noyce-Shockley (S-N-S) (Ronald C. Knetcley, 1984), disebutkan bahwa apabila diasumsikan tingkat doping pada kedua sisi sambungan seragam dan pusat rekombinasi terletak di sekitar pusat celah pita energi, maka komponen rapat arus rekombinasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$J_{rec} = \frac{qn_i W}{\sqrt{\tau_{po} \tau_{no}}} \frac{\sinh(qV/2kT) \pi}{q(V_{bi} - V)/kT} \quad (7)$$

W dalam persamaan (7) adalah lebar daerah deplesi, untuk kasus tingkat doping yang seragam, dirumuskan sebagai berikut : (S. M. Sze, 1985)

$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon\epsilon_o V_{bi}}{q} \frac{N_A + N_D}{N_A N_D}} \quad (8)$$

disini  $V_{bi}$  adalah tegangan built-in dalam sambungan p-n, dengan mengasumsikan bahwa semua donor dan akseptor terionisasi sempurna, maka  $V_{bi}$  dapat ditentukan menurut persamaan (S.M. Sze, 1985) :

$$V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{(n_i)^2} \quad (9)$$

### C. Parameter-parameter sel surya

#### a. Hubungan arus-tegangan (I-V)

Dengan memperhitungkan hambatan seri ( $R_s$ ) dan hambatan shunt ( $R_{sh}$ ), maka hubungan arus-tegangan untuk suatu sel surya dibawah penyinaran dapat dirumuskan sebagai berikut (Ronald C. Knetcley, 1984) :

$$J(V) = J_o \left( \exp \frac{q(V + JR_s)}{kT} - 1 \right) + \frac{qn_i W \sinh \frac{q(V + JR_s)}{2kT}}{q(V_{bi} - (V + JR_s))/kT} \frac{\pi}{2} + \frac{V}{R_{sh}} - J_{ph} \quad (10)$$

dari persamaan (10) dapat diturunkan rapat arus hubung singkat ( $J_{sc}$ ) dan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} J_{sc} &= - J_{ph} \\ V_{oc} &= n \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{J_{ph}}{J_o} + 1 \right) \end{aligned} \quad (11)$$

#### b. Fill faktor dan Efisiensi

Dari hubungan arus-tegangan di atas (pers. 10) dapat diperoleh harga daya maksimum yang dihasilkan sel surya ( $P_{maks}$ ) dari hasil perkalian arus dan tegangan. Daya keluaran maksimum dapat juga dirumuskan sebagai berikut (Ronald C. Knetcley, 1984) :

$$P_{maks} = I_{sc} \times V_{oc} \times FF \quad (12)$$

disini FF didefinisikan sebagai faktor. Sedangkan efisiensi konversi sel surya dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{maks}}{P_{in}} \times 100\% \quad (13)$$

$P_{in}$  adalah daya sinar matahari yang masuk ke sel surya, untuk kondisi penyinaran terestrial (di permukaan bumi./AM1,5) dengan konsentrasi matahari (C) satu nilai  $P_{in}$  adalah sekitar 90,6 mW/cm<sup>2</sup> (J.J. Liou, 1992)

## 2.2. Fotodetektor

Karakteristik utama dari fotodetektor antara lain adalah tingkat responsivitas, tingkat sensitivitas, dan efisiensi kuantum (Bart J. Van Zeghbroeck, 1996). Responsivitas fotodetektor didefinisikan sebagai rasio dari arus pada fotodetektor terhadap daya optik yang masuk pada divais. Sensitivitas didefinisikan sebagai daya masukan minimum yang masih dapat terdeteksi oleh divais. Dan efisiensi kuantum didefinisikan sebagai rasio dari jumlah pasangan elektron-hole yang menghasilkan arus listrik terhadap jumlah foton yang menumbuk divais.

Seperti halnya sel surya, fotodetektor pun terdiri dari berbagai struktur, seperti persambungan p-n, persambungan p-i-n, serta persambungan M-S. Berikut ini disajikan hasil kajian literatur tentang kebergantungan karakteristik utama fotodetektor persambungan p-i-n terhadap parameter-parameter yang mempengaruhinya.

### A. Rapat Photocurrent

Dengan mengasumsikan seluruh pasangan elektron-hole yang dibangkitkan berkontribusi terhadap pembangkitan photocurrent, maka photocurrent yang dibangkitkan merupakan integral dari laju generasi pada seluruh daerah deplesi :

$$I_{ph} = -qA \int_{-x_p}^{x_n+d} g_{op} dx \quad (11)$$

disini  $g_{op}$  adalah laju pembangkitan elektron-hole, yang dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$g_{op} = \frac{\alpha P_{opt}}{Ahv} \quad (12)$$

dengan A adalah luas area permukaan fotodetektor yang disinari,  $P_{opt}$  adalah daya optik input,  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi, dan  $hv$  adalah energi foton. Untuk struktur fotodetektor persambungan p-i-n dengan tingkat doping yang tinggi di daerah tipe-p dan tipe-n, dan penambahan lapisan transparan di permukaan atas divais, persamaan integral di atas dapat direduksi menjadi :

$$I_{ph} = \frac{q(1-R)P_{in}}{hv} (1 - e^{-\alpha d}) \quad (13)$$

dimana  $P_{in}$  adalah daya optik input, dan R adalah reflektansi permukaan.

### B. Responsivitas total

Responsivitas total dari suatu fotodetektor dinyatakan dengan formula sebagai berikut :

$$R = \left| \frac{I_{ph}}{P_{in}} \right| = \frac{q(1-R)\exp(-a^*W_p)}{hv} \left( 1 - \frac{e^{-\alpha d}}{1 + \alpha L_p} \right) \quad (14)$$

### C. Efisiensi kuantum

Efisiensi kuantum dari fotodetektor dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{R h \nu}{q} = (1-R)\exp(a^*W_p) \left[ 1 - \frac{e^{-\alpha d}}{1 + \alpha L_p} \right] \quad (15)$$

## **BAB III**

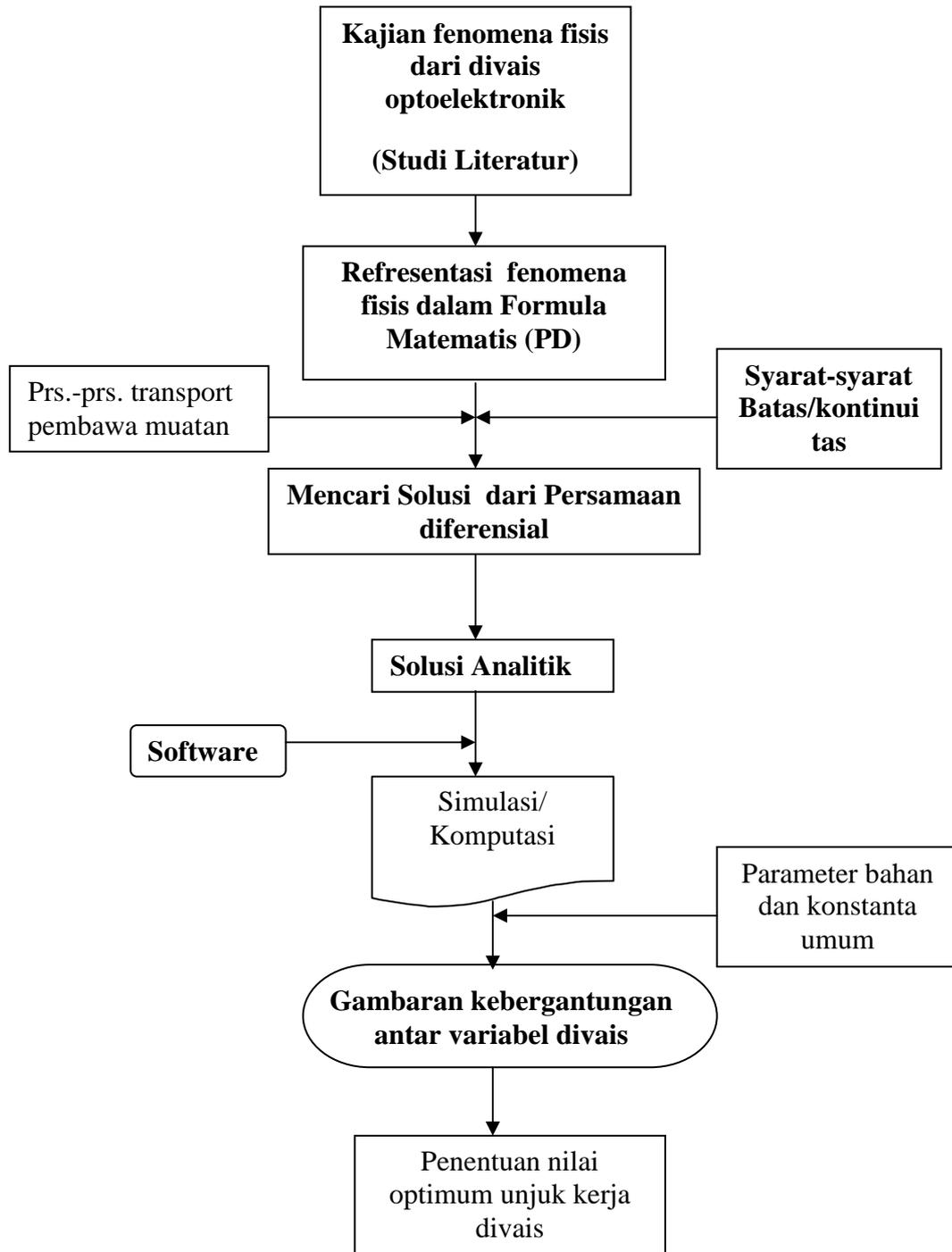
### **METODE DAN DISAIN PENELITIAN**

#### **3.1. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan simulasi. Metode studi literatur digunakan untuk mempelajari fenomena fisis yang terjadi pada setiap divais optoelektronik yang diteliti, hingga dapat direfresentasikan dalam perumusan matematis yang sesederhana mungkin dan bila mungkin diperoleh solusi persamaan yang eksak serta mengkoleksi parameter-parameter dari bahan pembuat divais. Metode simulasi digunakan untuk melakukan perhitungan untuk mendapatkan gambaran visual yang menunjukkan kebergantungan unjuk kerja setiap divais optoelektronik terhadap struktur divais, karakteristik lapisan, serta parameter bahan semikonduktor pembuatnya. Proses simulasi dilakukan dengan bantuan software Sigma Plot Versi 2.0.

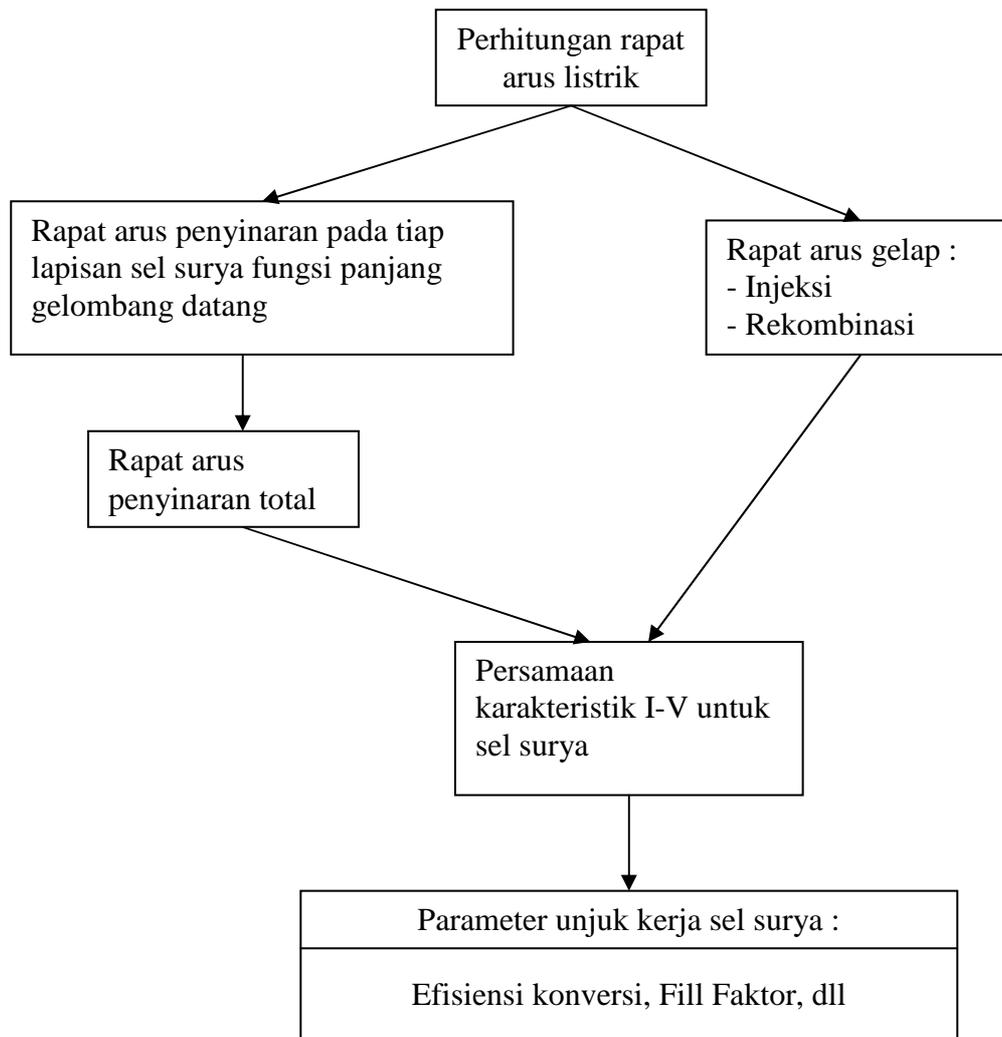
#### **3.2. Desain Penelitian**

Sesuai dengan metode penelitian yang digunakan maka, seluruh alur kegiatan penelitian yang akan dilakukan dapat dipetakan dalam disain penelitian sebagai berikut :



Gambar 3.1. Disain Penelitian

Contoh alur simulasi untuk optimasi unjuk kerja sel surya dapat dilihat pada bagan di bawah ini :



Gambar 3.2. Alur simulasi untuk optimasi unjuk kerja sel surya

### **3.3. Variabel Penelitian**

Dalam penelitian ini terdapat dua macam variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat, masing-masing variabel tersebut diidentifikasi sebagai berikut :

- Variabel terikat : unjuk kerja divais optoelektronik diwakili oleh rapat photocurrent, tegangan rangkaian terbuka, dan efisiensi konversi untuk sel surya, serta tingkat responsivitas, detektivitas, dan efisiensi kuantum untuk fotodetektor.
- Variabel bebas : struktur divais, karakteristik lapisan divais, serta parameter bahan semikonduktor.

### **3.4. Teknik Analisis data**

Untuk memudahkan proses analisis, maka data-data yang diperoleh dari hasil simulasi akan disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan kebergantungan unjuk kerja setiap divais optoelektronik terhadap struktur divais, karakteristik setiap lapisan, serta parameter bahan semikonduktor pembuatnya. Dari visualisasi grafis fungsi tersebut selanjutnya struktur divais, karakteristik lapisan serta parameter bahan yang menghasilkan unjuk kerja divais optoelektronik yang optimum dapat ditentukan. Proses penentuan kriteria unjuk kerja divais optimum ini juga didasarkan pada pertimbangan ekonomis dalam proses fabrikasinya nanti.

### **3.5. Jadwal Kegiatan**

Jadwal seluruh kegiatan penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Jenis kegiatan	Bulan ke-											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Pengusulan proposal												
2	Seleksi proposal dan pengumuman hasil												
3	Implementasi Kegiatan												
4	Evaluasi kegiatan												
5	Seminar hasil kegiatan												
6	Pelaporan												

## REFERENSI

- Achiar Oemry, Silicon Solar Cell in Indonesia On Clean energy For The Coming Age, Japan-Indonesia Joint Seminar On Photovoltaic, Proceeding, ITB, 1997
- Bart J. Van Zeghbroeck, *Principles of Electronic Devices*, <http://ece-www.colorado.edu/~bart/6355.htm> , 1996
- Gerardo R. Araujo, *Compound Semiconductor Solar Cells*, dari Antonio Luque, Solar Cells and Optics for Photovoltaic Concentrations, IOP Publishing Ltd., England, 1989
- Hans Joachim Moller, *Semiconductor for Solar Cells*, Artech House Inc., London, 1993
- Harold J. Hovel, *Solar Cells*, in Semiconductors and Semimetals, Vol. 11, Academic Press, New York, 1975.
- J.J. Liou and W.W. Wong, *Comparison and Optimization of The Performance of Si and GaAs Sollar Cells*, Solar Energy Material and Solar Cells, Vol. 28, 1992, pp. 9-28
- J. S. Blackmore, Semiconducting and Other Major Properties of Gallium Arsenide, J. Appl. Phys., Vol. 53, No. 10, Oct 1982, p.R. 123-176
- Mark B. Spitzer and John C. C. Fan, *Multijunction Cells for Space Application*, Solar Cells, Vol. 29, 1990, pp. 183-203
- Martin Melander, *UV Photodiode with Antireflective Coating ; Optimization of The Photodiode Responsivity*, ITM, VLSI, 21 Januari 2003.
- M. Razeghi and A. Rogalski, *Semiconductor ultraviolet detectors*, J. Appl. Phys., Vol. 79, No. 10, May 1999
- P. S. Dutta and H. L. Bath, *The Physics and Technology of Gallium Antimonide : An Emerging Optoelectronics Material*, J. Appl. Phys., Vol. 81, No. 9, May 1997, pp. 5821-5860
- Ronald C. Knetcley et. al., *High Efficiency GaAs Solar Cells*, IEEE Transaction on Electron devices, Vol-ED 31, No. 5, May 1984.
- S. M. Sze, *Semiconductor Devices : Physics and Technology*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1985.





**Laporan Akhir Hibah Penelitian**  
**Dalam Rangka Implementasi proyek SP4 Jurusan Fisika**  
**Tahun Anggaran 2004**

**Judul :**

**SIMULASI UNTUK OPTIMALISASI UNJUK KERJA**  
**DIVAIIS-DIVAIIS OPTOELEKTRONIK BERBASIS BAHAN**  
**FILM TIPIS SEMIKONDUKTOR**

**Oleh :**

**Dadi Rusdiana, S.Pd., M.Si.**  
**Drs. Saeful Karim, M.Si.**  
**Selly Feranie, S.Pd., M.Si.**

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA**  
**FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**  
**2004**

## LEMBAR PENGESAHAN HIBAH PENELITIAN

- 1.a. Judul : **Simulasi Untuk Optimalisasi Unjuk Kerja Divais-Divais Optoelektronik Berbasis Bahan Film Tipis Semikonduktor**
- b. Bidang Ilmu : Fisika Murni
2. Ketua Peneliti
- a. Nama : Dadi Rusdiana, S.Pd., M.Si.
- b. NIP : 132086620
- c. Pangkat/Gol. : Penata Tk 1/III c
- d. Jabatan : Lektor
- e. Jurusan : Pendidikan Fisika
- f. Fakultas : FPMIPA
- g. Universitas : UPI
3. Anggota Peneliti : 1. Drs. Saeful Karim, M.Si.  
2. Selly Feranie, S.Pd., M.Si.
4. Lokasi : Lab. Elektronika Jurusan Fisika FPMIPA UPI
5. Jangka waktu : 12 bulan
6. Total biaya : Rp.13.000.000,00 (Tiga belas juta rupiah)

Ketua program studi fisika,

Bandung, 8 November 2004  
Ketua Peneliti,

Drs. Saeful Karim, M.Si.  
NIP. 131 946 758

Dadi Rusdiana, S. Pd., M.Si.  
NIP. 132 086 620

Mengetahui :

Dekan FPMIPA UPI,

Drs. Harry Firman, M. Pd.  
NIP. 130 514 761

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kekhadirat Alloh SWT, karena hanya atas izinNya kami dapat menyusun laporan akhir kegiatan hibah penelitian dalam rangka implementasi proyek SP4 Jurusan Fisika FPMIPA UPI tahun anggaran 2004 tepat pada waktu yang telah ditetapkan.

Laporan ini memuat serangkaian kegiatan penelitian yang telah dilakukan serta hasil-hasil yang diperolehnya. Penelitian ini berjudul “ Simulasi untuk optimalisasi Unjuk Kerja Divais-Divais Optoelektronik Berbasis Bahan Film Tipis Semikonduktor“, yang merupakan penelitian payung bagi empat penelitian mahasiswa program studi fisika dalam rangka penyusunan tugas akhirnya. Setiap mahasiswa melakukan penelitian dengan topik tersebut diatas yang difokuskan pada pengkajian struktur-struktur divais sel surya dan fotodektor yang memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Hingga laporan ini disusun, dua orang diantara mereka telah menyelesaikan proses penelitiannya, sedangkan dua orang lagi diharapkan dapat menyelesaikannya dalam waktu dekat. Sebagai kontrol kualitas terhadap penelitian yang dilakukan, sebagian dari data hasil penelitian ini telah dipublikasikan dalam acara seminar nasional.

Pada kesempatan ini kami ingin menghaturkan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pengelola proyek SP4 jurusan Fisika FPMIPA UPI yang telah mendanai penelitian ini, serta kepada berbagai pihak yang tidak disebut satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan andil pada kelancaran pelaksanaan penelitian ini.

Kami menyadari bahwa hasil yang diperoleh dari penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, namun demikian kami berharap hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi terutama bagi perkembangan teknologi semikonduktor di Indonesia.

Bandung, 8 November 2004

Tim Peneliti

## Lampiran 1.

### PERSONALIA PENELITIAN

#### 1. Ketua Peneliti

Nama : Dadi Rusdiana, S.Pd, M.Si.  
Nip : 132 086 620  
Pangkat/Gol : Penata Tk I/III c  
Jabatan : Lektor  
Jurusan/Fakultas/Univ : Pend. Fisika FPMIPA UPI

#### 2. Anggota Peneliti

2.1. Nama : Drs. Saeful Karim, M, Si.  
Nip : 131 946 758  
Pangkat/Gol : Pembina/IV a  
Jabatan : Lektor Kepala  
Jurusan/Fakultas/Univ. : Pend. Fisika FPMIPA UPI

2.2. Nama : Selly Feranie, S. Pd., M, Si.  
Nip : 132  
Pangkat/Gol : Penata Muda Tk 1/III a  
Jabatan : Assisten Ahli  
Jurusan/Fakultas/Univ. : Pend. Fisika FPMIPA UPI

#### 3. Mahasiswa Peneliti

Mahasiswa peneliti yang terlibat berjumlah 4 orang , yaitu:

No	Nama	Nim
1	Nelli Julianti S.	001503
2	Yeyet Yetia	000273
3	Agus Rustandi	000887
4	Dedi Hidayat	001817

## DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar pengesahan .....	i
Abstrak .....	ii
Kata Pengantar .....	iii
Daftar isi .....	iv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH.....	3
1.3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	4
<b>BAB II. KERANGKA TEORITIK PENELITIAN</b>	
2.1. Sel Surya .....	5
2.2. Fotodetektor .....	13
<b>BAB III. METODE DAN DISAIN PENELITIAN</b>	
3.1. Metode Penelitian .....	15
3.2. Disain Penelitian .....	15
3.3. Variabel Penelitian .....	18
3.4. Teknik Analisis Data .....	18
3.5. Jadwal Kegiatan .....	18
<b>BAB IV. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Optimalisasi dan perbandingan unjuk kerja sel surya GaAs antara yang berstruktur persambungan p/n dan n/p .....	20
4.2. Optimalisasi dan perbandingan unjuk kerja sel surya tandem GaAs/GaSb dan GaAs/Si .....	32
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	44
5.2. Saran .....	45
REFERENSI .....	46
LAMPIRAN-LAMPIRAN .....	47

# **SIMULASI UNTUK OPTIMALISASI UNJUK KERJA DIVAIS-DIV AIS OPTOELEKTRONIK BERBASIS BAHAN FILM TIPIS SEMIKONDUKTOR**

## **ABSTRAK**

Proses simulasi untuk optimalisasi unjuk kerja divais-divais optoelektronik seperti sel surya dan fotodetektor telah dilakukan. Proses simulasi dimulai dengan pengakjian fenomena fisis dari sel surya dan fotodetektor ketika disinari, yang dilanjutkan dengan representasi dalam perumusan matematika dan pemecahan solusinya guna mendapatkan hubungan kebergantungan antara unjuk kerja divais optoelektronik dengan struktur divais, karakteristik lapisan, serta parameter bahan pembuatnya. Parameter unjuk kerja divais optoelektronik antara lain rapat arus penyinaran, tegangan rangkaian terbuka serta efisiensi konversi untuk divais sel surya, sedangkan untuk divais fotodetektor meliputi Responsivitas, detektivitas, dan efisiensi kuantum. Struktur divais optoelektronik yang dikaji meliputi sel surya GaAs persambungan p/n dan n/p, sel surya tandem GaAs/GaSb dan GaAs/Si, sel surya berstruktur persambungan hetero p-AlGaAs/n-GaAs, serta fotodetektor ultraviolet berstruktur p/n. Nilai optimum dari unjuk kerja divais optoelektronik ditentukan berdasarkan pencapaian unjuk kerja yang relatif tinggi dan biaya pembuatan yang tidak terlalu tinggi.

Hasil simulasi menunjukkan unjuk kerja optimum sel surya GaAs berstruktur persambungan p/n lebih tinggi dibanding unjuk kerja optimum sel surya GaAs berstruktur persambungan n/p. Nilai optimum dari efisiensi konversi untuk sel surya GaAs berstruktur persambungan p/n adalah sekitar 19,80 %, yang dapat dicapai dengan karakteristik lapisan sebagai berikut; ketebalan lapisan tipe-p sekitar 1,2  $\mu\text{m}$ , ketebalan lapisan tipe-n sekitar 3,5  $\mu\text{m}$ , konsentrasi doping akseptor sekitar  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  dan konsentrasi doping donor sekitar  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Sedangkan untuk sel surya GaAs berstruktur persambungan n/p adalah 19,2 %, yang dapat dicapai dengan karakteristik lapisan sebagai berikut; ketebalan lapisan tipe-n sekitar 0,5  $\mu\text{m}$ , ketebalan lapisan tipe-n sekitar 3,5  $\mu\text{m}$ , konsentrasi doping donor sekitar  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  dan konsentrasi doping akseptor sekitar  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Efisiensi konversi optimum yang dicapai sel surya tandem GaAs/GaSb lebih tinggi dari sel surya tandem GaAs/Si baik untuk struktur tandem maupun monolitiknya. Nilai efisiensi konversi optimum yang dapat dicapai sel surya tandem GaAs/GaSb dan GaAs/Si dengan struktur mekanik, berturut-turut adalah 26,66 % dan 24,71 %, sedangkan efisiensi konversi optimum yang dapat dicapai sel surya tandem GaAs/GaSb dan GaAs/Si dengan struktur monolitik berturut-turut adalah 25,55 % dan 22,94 %

