

# PENGARUH PENAMBAHAN BORON PADA LAPISAN INTRISIK TERHADAP KARAKTERISTIK SEL SURYA SILIKON AMORF

Yunanto, Wirjoadi, Bambang Siswanto, Trimardji Atmono

*Puslitbang Teknologi Maju - Batan*

## ABSTRAK

*PENGARUH PENAMBAHAN BORON PADA LAPISAN INTRISIK TERHADAP KARAKTERISTIK SEL SURYA SILIKON AMORF. Telah dilakukan penambahan boron pada lapisan tipis intrisik diantara sambungan P-N dengan mengatur jumlah target pin hole Si mengandung boron. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan boron pada lapisan tipis intrisik terhadap tegangan terbuka, arus hubung singkat, faktor pengisian dan efisiensi sel surya. Pembuatan lapisan tipis tipe P dilakukan dengan menumbuki target utama Si dan pin hole B dengan ion Ar dalam tabung sputtering, lapisan tipis I dengan target utama Si yang diberi pin hole Si mengandung boron dan lapisan tipis tipe N dengan target utama Si dan target pin hole P. Untuk mengukur karakteristik sel surya digunakan volt dan ampere meter digital dan cahaya terkalibrasi cahaya matahari. Dari hasil pengukuran diperoleh tegangan terbuka 360 mV, arus hubung singkat 4,6 mA, faktor pengisian 0,65 dan efisiensi 3,4 %. Hasil tersebut diperoleh pada kondisi parameter tekanan gas  $1,5 \times 10^{-1}$  torr, daya RF 185 watt, waktu deposisi 40 menit dan kandungan boron 11 ppm.*

**Kata kunci :** sel surya, sputtering

## ABSTRACT

*INFLUENCE OF BORON ADDITION AT DEPOSITION INTRISIC ON CHARACTERISTIC AMORPHOUS SILICON SOLAR CELL. Addition of boron in intrinsic thin film P-N junction has been done by arranging amount target of pin hole Si containing boron. The research aim is to know the influence of boron addition to intrinsic thin film on the open voltage circuit, short circuit current, fill factor and efficiency of solar cell. Deposition of type P was carried out by bombarding Si as main target and B pin hole target with the ion Ar in sputtering chamber. Thin film deposition of I with the main target Si (with Si pin hole containing boron) and thin film of N type with main target Si and pin hole target P. To measure the characteristic of solar cell, it was used volt and ampere meter digital and also light which is calibrated by sunlight. From measurement result, it was obtained that open voltage circuit was 360 mV, short current circuit 4,6 mA, fill factor 0,65 and efficiency 3,4 %. The results were achieved by condition of following parameter: gas pressure  $1,5 \times 10^{-1}$  torr, RF power 185 watt, and time deposition 40 minute as well as boron content 11 ppm.*

**Key word :** sputtering, solarcell

## PENDAHULUAN

Selama ini sel surya dibuat dari silikon kristal, dimana pembuatannya lebih sulit dan memerlukan bahan yang lebih banyak sehingga harganya menjadi mahal. Untuk itu pada tahun terakhir banyak dilakukan penelitian pembuatan sel surya dari bahan silikon dengan struktur amorf dan dalam bentuk lapisan tipis. Untuk membuat sel surya yang mempunyai efisiensi yang cukup tinggi tetapi dengan menggunakan bahan yang murah dan tidak mengganggu lingkungan, akhir-akhir ini telah dikembangkan sel surya dari lapisan tipis silikon amorf. Keuntungan sel surya silikon amorf adalah pembuatannya lebih

mudah dan murah. Selain itu lebar pita dari silikon amorf lebih lebar dari pada silikon kristal sehingga untuk pembuatan sel surya akan lebih baik. Dengan demikian akan terjadi lebih banyak rekombinasi antara elektron dan lubang yang akan meningkatkan efisiensi sel surya<sup>[1]</sup>.

Pembuatan sel surya silikon amorf dapat dilakukan menggunakan metode plasma CVD dimana bahannya utamanya adalah gas SiH<sub>4</sub>. Untuk membentuk lapisan tipis tipe P gas SiH dicampur dengan gas B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> dan untuk membentuk tipe N dicampur dengan gas PH<sub>3</sub>. Metode ini pembuatannya mudah tetapi gasnya mahal dan beracun. Metode lain yaitu metode *sputtering*

dimana bahan utama dari padatan silikon. Untuk membuat tipe P bahan silikon dicampur dengan boron dan untuk membuat tipe N bahan silikon dicampur fosfor. Metode ini lebih sulit dibandingkan dengan metode CVD. Untuk membuat lapisan tipis dengan metode *sputtering* bahan silikon ditumbuki dengan gas Ar dan untuk menaikkan konduktivitas harus dicampur dengan gas H<sub>2</sub>.

Pembuatan sel surya dari bahan silikon amorf mempunyai kekurangan yaitu harus dilakukan proses hidrogenisasi dengan menyisipkan ion H<sub>2</sub> pada susunan atom Si, sehingga konduktivitasnya me-ningkat. Dengan proses hidrogenisasi ini maka hidrogen akan mengisi ikatan kosong dalam jaringan amorf dan penggabungan hidrogen tersebut dapat mengakibatkan terjadinya pengurangan jumlah rapat keadaan terlokalisir pada celah secara drastis<sup>[2]</sup>.

Sambungan P-N berfungsi untuk menimbulkan aliran elektron dan lubang (*hole*) dari lapisan tipis tipe N dan P, bila sambungan tersebut dikenai cahaya. Untuk sel surya silikon kristal diantara sambungan P-N tidak diperlukan lapisan tipis I (intrisik), sedangkan untuk silikon amorf diantara lapisan tipis tipe P dan N diberi lapisan tipis I. Lapisan tipis ini dapat meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya, tetapi hal ini juga menyebabkan timbulnya medan listrik yang lemah pada lapisan tipis ini. Medan listrik ini akan menaikkan tahanan seri dari sel surya dan dapat mengurangi arus hubung singkat<sup>[1]</sup>.

Selain itu lapisan I berfungsi untuk mencegah terjadinya aliran elektron melalui terowongan yang menyebabkan tidak terjadi proses penyearahan. Ketebalan lapisan tipis I tidak boleh terlalu tebal karena akan menyebabkan tahanan seri yang pada akhirnya menurunkan arus hubung singkat. Tetapi kalau terlalu tipis masih akan terjadi penerobosan elektron pada sambungan P-N. Penambahan boron pada lapisan tipis intrisik akan

mempengaruhi posisi tingkat energi Fermi dan medan listrik yang ditimbulkan pada lapisan intrisik. Dengan mengatur kandungan boron pada lapisan tipis intrisik diharapkan akan dapat meningkatkan tegangan terbuka, arus hubung singkat, faktor pengisian dan efisiensi.

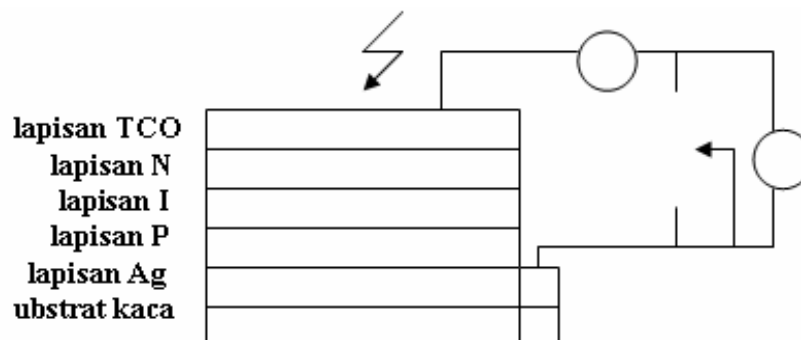
## TATA KERJA

### Penyiapan Cuplikan

Substrat dibuat dari kaca dipotong 25 mm × 25 mm dicuci sampai bersih menggunakan pencuci ultra sonik yang diberi air dan deterjen untuk menghilangkan kotoran dan lemak. Setelah itu dipanaskan dengan pemanas untuk menguapkan cairan yang menempel pada substrat.

### Pendeposisian Lapisan Tipis

Pertama kali dibuat lapisan untuk elektroda belakang dan juga sebagai reflektor dari lapisan tipis Ag. Untuk membuat lapisan tipis tipe P (a-Si:H)B pada lapisan tipis Ag, target utama Si diberi target pinhole B. Target utama dan target pinhole ditempatkan pada katoda, sedangkan substrat kaca yang ada lapisan tipis Ag diletakkan pada anoda. Untuk mencegah kenaikan suhu pada target, maka di bawah target dialiri air pendingin. Tabung *sputtering* divakumkan dengan pompa vakum rotari dan turbo yang mampu menyedot sampai 5.10<sup>-5</sup> torr. Gas Ar dialirkan ke tabung *sputtering*, demikian juga gas H<sub>2</sub> dengan perbandingan 5 : 1,5. Anoda dan katoda diberi tegangan RF, sehingga gas Ar dan H<sub>2</sub> akan terionisasi. Ion Ar akan menumbuki target Si dan B, sehingga atom Si, B dan H<sub>2</sub> terpecik menuju substrat kaca. Percikan atom Si, B dan H<sub>2</sub> membentuk lapisan tipis (a-Si:H)B. Daya ditentukan sebesar 185 watt sedangkan tekanan 1,5.10<sup>-2</sup> torr dan waktu deposisi adalah 20 menit<sup>[3]</sup>.



### Gambar 1. Susunan lapisan tipis sel surya dan pengukuran tegangan arus.

Setelah terbentuk lapisan tipis tipe P, lapisan ini dideposisi dengan lapisan tipis intrisik a-Si:H. Target yang digunakan adalah target utama Si yang diberi target *pin hole* Si mengandung boron, sedangkan gas yang digunakan tetap gas Ar dan H<sub>2</sub>. Gas Ar menumbuki target Si dan target *pin hole* Si mengandung B, sehingga atom Si yang mengandung B akan terpercik menuju substrat kaca. Untuk mengatur kandungan boron dilakukan variasi jumlah target *pin hole* Si yang mengandung B. Target *pin hole* Si diberi campuran cairan yang mengandung B 2mg/l dari B standard solution dan diencerkan lagi dengan air bebas mineral. Pengukuran kandungan B dalam target *pin hole* dilakukan menurut perhitungan berat atom Si dan B serta perbandingan luasan target utama dan luasan target *pin hole*. Selain itu juga dapat diukur menggunakan Spektrograf Emisi.

Untuk membuat lapisan tipe N, lapisan tipis a-Si:H dilapisi lagi dengan lapisan tipis (a-Si)HP. Target utama Si diberi target *pin hole* P. diletakkan pada katoda sedangkan substrat yang sudah dilapisi 3 macam lapisan tipis ditempatkan pada anoda. Gas Ar dan H<sub>2</sub> dialirkan kedalam tabung dan diionkan dengan tegangan RF. Ion Ar akan menumbuki target Si dan P, sehingga atom Si dan P akan terpercik menuju substrat sambil bersenyawa dengan ion H<sub>2</sub>. Dengan demikian pada lapisan tipis a-Si:H akan terbentuk lapisan tipis a-Si:HP yang mempunyai tipe konduksi tipe N.

Setelah terbentuk lapisan tipis P-I-N pada substrat kaca maka dibentuk lapisan tipis TCO untuk mengambil arus dari sel surya. Pada katoda di-tempatkan target utama ZnO dan target *pinhole* Al. Gas Ar dialirkan ke tabung sputtering, sedangkan gas H<sub>2</sub> tidak dialirkan. Ion Ar akan menumbuki target ZnO dan Al. Dengan demikian pada lapisan tipis (a-Si:H)P akan terbentuk lapisan tipis ZnOAl yang mempunyai konduktansi yang besar dan transparansi yang besar juga.

#### Pengukuran Tegangan Foto Voltaik

Pengukuran tegangan foto voltaik pada terminal sel surya dilakukan dengan memberi cahaya setara dengan daya cahaya matahari sebesar 100mW/cm<sup>2</sup> dengan lampu pijar pada sambungan P-I-N. Pengukuran tegangan sel surya dilakukan dengan volt meter digital pada bagian ZnOAl sebagai terminal negatif dan bagian lapisan tipis Ag sebagai terminal positif.

#### Pengukuran Faktor Pengisian

Pengukuran karakteristik tegangan dan arus dilakukan dengan membebani sel surya dengan beban tahanan variabel 0 sampai dengan 1 mega ohm, kemudian diukur tegangan dan arus dengan volt meter dan ampere meter digital. Pengukuran faktor pengisian dilakukan dengan mengukur daya maksimum sel surya (tegangan dan arus yang menghasilkan daya maksimum), tegangan terbuka dan tegangan arus hubung singkat. Faktor pengisian adalah daya maksimum dibagi dengan tegangan terbuka dikalikan dengan arus hubung singkat seperti persamaan (1). Selain itu bisa dengan cara pendekatan yaitu menggunakan persamaan (2), (3) dan (4)<sup>[4]</sup>.

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} \quad (1)$$

$$V_m = V_{oc} - \frac{1}{\beta} \ln(1 + \beta \cdot V_m) \quad (2)$$

$$I_m = I_{sc} \left( \frac{1}{\beta \cdot V_m} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{q}{k \cdot T} \quad (4)$$

dengan  $V_m$  = tegangan maksimum,  $V_{oc}$  = tegangan terbuka,  $I_{sc}$  = arus hubung singkat.

#### Pengukuran Efisiensi Sel Surya

Pengukuran efisiensi sel surya dilakukan dengan memberi cahaya pada sambungan P-I-N dengan cahaya lampu dengan daya 100 mW/cm<sup>2</sup> Diukur tegangan maksimum dan arus maksimum, sehingga didapat daya maksimum pada luasan tertentu (sel surya yang dibuat lapisan tipisnya seluas 2,25 cm<sup>2</sup>). Daya maksimum ini dibagi dengan daya masukan dari cahaya sebesar 225 mW dikalikan 100 % seperti persamaan (5).

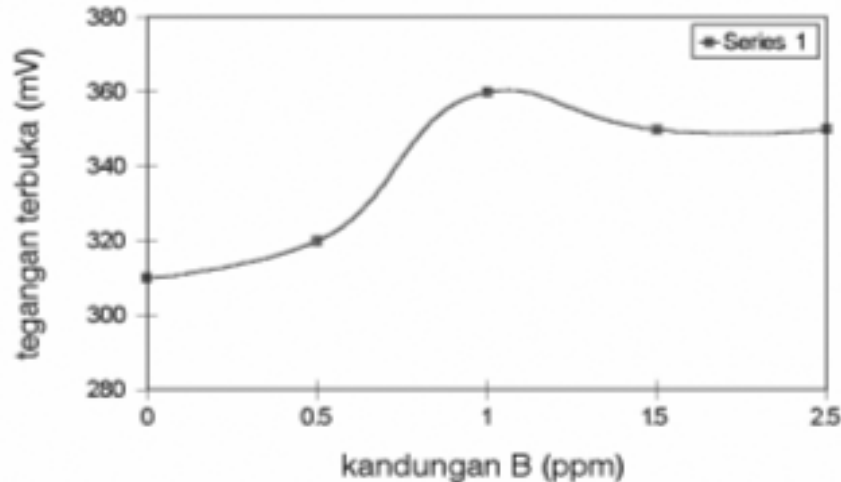
$$\eta = \frac{P_{out\ max}}{P_{in}} 100\% \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menyajikan grafik hubungan antara kandungan boron pada lapisan tipis intrisik dengan tegangan terbuka. Dengan melakukan variasi kandungan B menggunakan cairan B standar

maka lapisan tipis intrisik mengandung B dalam orde ppm. Dengan demikian baik elektron maupun *hole* tidak dapat menerobos pada terowongan sambungan P-I-N, dengan demikian akan terjadi penyearahan pada sambungan P-I-N. Pada ketebalan lapisan tipis intrisik yang sesuai maka tahanan seri yang ditimbulkan tidak terlalu besar. Penambahan boron pada lapisan tipis intrisik akan meningkatkan lagi tegangan terbuka, karena penambahan B mempengaruhi posisi tingkat tenaga Fermi dan medan listrik yang ditimbulkan pada lapisan intrisik.

Dengan terjadinya penyearahan bila dikenai cahaya pada sambungan P-I-N maka pembawa minoritas akan diinjeksikan. Pembawa minoritas jatuh pada *barrier*, sehingga arus minoritas naik lebih tinggi dibandingkan tanpa lapisan tipis I. Dalam keadaan terbuka arus total sama dengan nol, dengan demikian arus mayoritas harus naik dengan nilai yang sama untuk mengimbangi arus minoritas.



Gambar 2. Grafik hubungan antara kandungan B dengan tegangan terbuka.

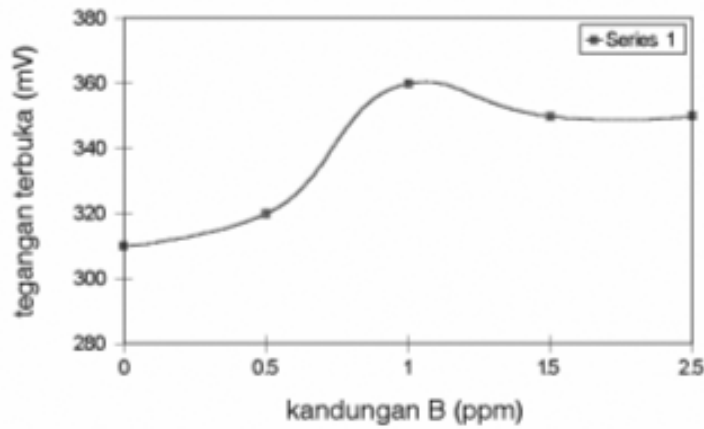
Bahan semikonduktor bila dibuat tipe P dan N serta dibuat sambungan P-N akan mempunyai tegangan dadal tertentu misalnya Ge sebesar 0,2 volt dan Si sebesar 0,6 volt. Ketebalan lapisan tipis tidak begitu berpengaruh pada tegangan terbuka. Hal ini karena dengan adanya lapisan tipis I tidak terjadi terobosan elektron melalui terowongan pada sambungan P-N, sehingga sudah terjadi penyearahan. Tegangan terbuka yang ditimbulkan masih di bawah 0,6 volt karena kemungkinan reflektivitas substrat masih kurang besar dan konduktivitas lapisan tipis ZnOAl belum sama dengan konduktor.

Lapisan tipis intrisik berfungsi mencegah elektron dan *hole* menerobos pada terowongan sambungan P-N. Untuk ketebalan yang sangat tipis masih terjadi penerobosan elektron walaupun dengan jumlah yang relatif sedikit, tetapi untuk ketebalan yang terlalu tebal akan menimbulkan tahanan seri yang akan menyebabkan menurunnya arus hubung singkat, karena tegangan akan jatuh pada tahanan seri. Tetapi dengan menambah boron

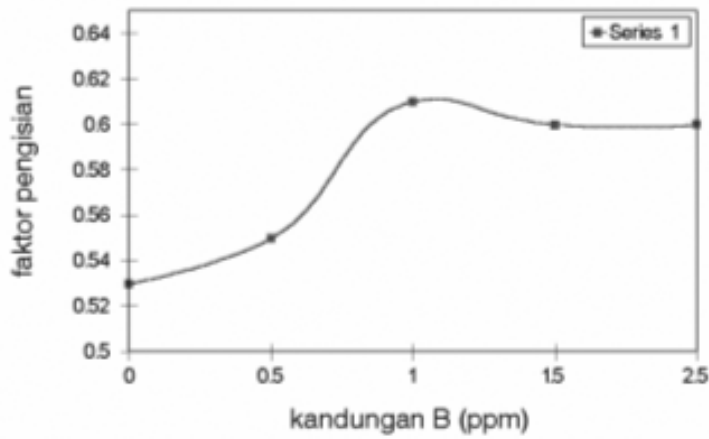
pada lapisan tipis intrisik mobilitas elektron akan naik, sehingga arus hubung singkatnya juga naik. Dengan bertambahnya kandungan boron justru arus hubung singkat akan turun lagi, hal ini karena semakin besarnya mobilitas elektron, sehingga akan mampu lagi menerobos sambungan P-N seperti pada Gambar 3.

Sel surya dari silikon amorf sambungan P-I-N rangkaian ekuivalennya seperti diode yang mempunyai tahanan seri dan tahanan jajar. Rangkaian diode disini bila dikenai cahaya maka akan terjadi aliran elektron dan *hole*. Aliran elektron atau *hole* ini mengalir melalui tahanan sebagai beban. Tahanan seri rangkaian ini tergantung dari ketebalan lapisan tipis intrisik dan pengaruh pengotor boron. Dengan memberi pengotor boron yang sesuai maka tahanan seri dari sel surya akan mengecil dan tahanan jajar akan membesar. Dengan demikian tidak terjadi tegangan jatuh pada tahanan seri dan membebani pada tahanan jajar yang dapat menurunkan tegangan sel surya. Pemberian sedikit

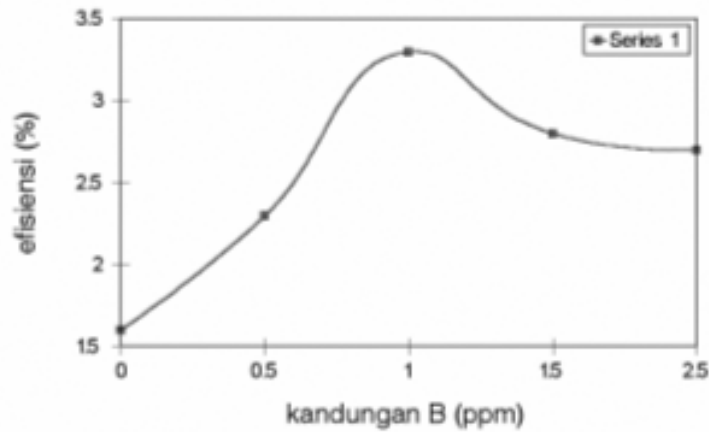
boron sebesar 1 ppm dapat mengecilkan tahanan seri tetapi membesarkan tahanan jajar seperti terlihat pada Gambar 4<sup>[5]</sup>.



Gambar 3. Grafik hubungan antara kandungan B terhadap arus hubung singkat.



Gambar 4. Grafik hubungan antara kandungan B dengan faktor pengisian.



### Gambar 5. Grafik hubungan antara kandungan B terhadap efisiensi sel surya.

Efisiensi sel surya ditentukan oleh  $V_m$  dan  $I_m$ , sedangkan  $V_m$  ditentukan oleh tegangan dadal dan  $I_m$  ditentukan oleh konduktivitas foto yang menentukan  $I_m$ . Tegangan dadal selain tergantung dari jenis bahan juga dari kualitas terbentuknya sambungan P-N. Konduktivitas foto tergantung dari ikatan kovalen pada semikonduktor tipe P atau N. Semakin banyak terjadinya ikatan valensi maka bila dikenai cahaya mengakibatkan akan lebih banyak aliran elektron dan *hole*. Sambungan P-N setelah diberi lapisan intrisik dengan ketebalan yang sesuai akan terjadi penyearahan yang baik. Dengan menambah boron pada lapisan tipis intrisik maka pengaruh tahanan seri yang terlalu besar akan dapat dikurangi.

### KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan pengamatan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Lapisan tipis intrisik yang mengandung boron 1 ppm dapat meningkatkan tegangan terbuka dari 310 mV menjadi 360 mV.
2. Lapisan tipis intrisik yang mengandung boron 1 ppm dapat meningkatkan arus hubung singkat dari 4,2 mA menjadi 4,6 mA.
3. Faktor pengisian meningkat dari 0,52 menjadi 0,65
4. Efisiensi sel surya juga meningkat dari 3,2 % menjadi 3,4 %.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Giri Slamet dan Sdr. Mudjiono atas bantuannya membuat lapisan tipis untuk sel surya silikon amorf.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. TAKA HASHI, M. KONAGAI, *Amorphous Silicon Solar Cells*, North Oxford Academic, 1986.

- [2] RA STREET, *Hydrogenated Amorphous Silicon*, Cambridge University Press, New York, 1991.
- [3] KIYOTAKA W, SHIGER H, *Handbook Sputter Deposition Tecnology*, Noyes Publication, New Yersey, 1991.
- [4] SZE SM, *Physics of Semiconductor Device*, Bell Laboratories Incoparated Murray Hill, New Jersey, 1981.
- [5] ALBERT PAUL MALVINO, *Electronics Principles*, Mc Graw Hill, Foothill College, California, 1979.

### TANYA JAWAB

#### Djoko S.

- Apa yang bisa diharapkan dari peningkatan efisiensi yang hanya 0,2 % (dari 3,2 % - 3,4%)? Mohon dijelaskan.

#### Yunanto

- Yang bisa diharapkan dengan peningkatan efiseinsi hanya 0,2 % adalah dengan melakukan variasi penambahan boron yang lebih luas lagi atau dengan cara lain misalnya meningkatkan konduktivitas dan transmitansi lapisan tipis TCO ZnOAl.

#### Setyadi WS

- Faktor doiminan apakah yang mempengaruhi perubahan karakteristik dalam jangka waktu > 3 bulan.

#### Yunanto

- Faktor dominan yang mempengaruhi perubahan karakteristik sel surya terhadap waktu adalah elektron transaran yang dibuat dari ZnOAl. Lapisan tipis ZnOAl akan teroksidasi oleh udara sehingga konduktivitas akan turun dengan berjalannya waktu. Tetapi hal ini dapat diatasi menggunakan lapisan pelindung dari Si N.