

IMPLANTASI ION SEBAGAI UPAYA MODIFIKASI SIFAT MEKANIK DAN ELEKTRIK BAHAN

Edi Istiyono

Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

ABSTRAK

Kajian ini tentang implantasi ion sebagai salah satu teknik rekayasa sifat mekanik dan elektrik bahan. Permasalahan yang muncul pada kajian ini adalah bagaimana pengaruh implantasi ion terhadap kekerasan dan resistivitas bahan.

Berdasarkan kajian ini, implantasi ion dapat mengubah kekerasan bahan. Kenaikan energi maupun dosis ion pada implantasi ion menyebabkan meningkatnya kekerasan bahan. Di samping itu implantasi juga dapat mengubah resistivitas bahan. Kenaikan energi maupun dosis ion pada implantasi ion menyebabkan menurunnya resistivitas bahan.

Kata kunci: *implantasi, ion, kekerasan, dan resistivitas*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi sangat pesat. Untuk memenuhi tuntutan kebutuhan dalam industri diperlukan bahan yang unggul. Bahan-bahan yang dimaksud adalah bahan yang keras, tahan aus, tahan lelah, tahan korosi, dan memiliki resistivitas yang kecil.

Baja yang permukaannya telah mengalami proses pengerasan banyak digunakan dalam pembuatan: roda gigi, posos engkol, piston, onderdil-nderdil suatu mesin dan sebagainya. Di samping itu, pada industri ringan baja yang permukaannya keras dapat dipakai sebagai roda gigi arloji. Adapun bahan yang memiliki resistivitas kecil dapat dimanfaatkan sebagai sensor dan kontak ohmik sel surya.

Untuk memperbaiki sifat bahan dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain: mengubah komposisi kimia dan memberikan perlakuan panas. Cara pertama dapat dengan menambahkan unsur-unsur baru dalam bahan. Cara ini dapat dilakukan dengan metode implantasi ion. Cara kedua dapat dilakukan dengan memanaskan bahan sampai suhu tertentu dan kemudian didinginkan secara perlahan-lahan (*annealing*) atau pendinginan secara cepat (*quenching*) (Edi Istiyono, 2004).

Pada tulisan ini akan dikaji cara pertama di atas, yakni: implantasi ion. Implantasi ion yakni suatu cara untuk menambahkan atau menyisipkan ion-ion ke dalam bahan. Masuknya ion ke dalam bahan ini dipaksakan dengan menggunakan akselerator bertegangan tinggi. Teknik ini digunakan karena mempunyai keunggulan: (1) tidak melibatkan panas sehingga bahan tidak mengalami tekanan termal, karena itu bahan tidak akan mengalami perubahan dimensi (Sioshansi, 1989), (2) jeluk (*depth*) sisipan dapat dikendalikan dengan mengatur tenaganya, dan (3) proses implantasi berlangsung bersih, karena dilakukan di ruang hampa (Herman, 1981).

Bahan yang disisipi ion dari bahan lain akan mengubah sifat bahan tersebut. Sifat-sifat bahan yang berubah akibat penambahan ion antara lain, sifat mekanik dan elektrik (Ryssel and Ruge, 1986). Sifat-sifat mekanik bahan antara lain: tahanan aus, kekuatan tarik, dan kekerasan. Adapun sifat elektrik bahan umumnya diwakili oleh resistivitas bahan.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dikaji pengaruh implantasi ion terhadap sifat-sifat mekanik dan elektrik bahan. Dalam kajian ini sifat mekanik akan diwakili dengan kekerasannya. Dengan demikian yang dikaji dalam bahasan ini adalah pengaruh dosis ion dan energi dalam implantasi ion terhadap kekerasan dan resistivitas bahan.

Perumusan Masalah

Berdasar pada latar belakang masalah yang telah diungkapkan di depan, permasalahan-permasalahan yang muncul dalam penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh implantasi ion terhadap kekerasan bahan.
2. Bagaimana pengaruh implantasi ion terhadap resistivitas bahan.

Tinjauan Pustaka

Implantasi ion

Implantasi ion nitrogen merupakan penempatan ion nitrogen ke dalam suatu bahan. Metode ini dapat dilakukan dengan implantasi ion. Sistem implantasi ion pada umumnya terdiri atas dua komponen, yakni: (1). komponen utama: sumber ion, sumber daya tegangan tinggi, sistem hampa, tabung akselerator, kotak sasaran, dan sistem elektronik, (2) komponen tambahan: lensa kuadropol, magnet pembelok, dan penyapu berkas (Dearnaley dkk, 1973).

Dosis ion bergantung pada besar arus ion, luas sasaran, dan lama implantasi. Berkas sapuan dibatasi oleh tingkat dan di belakang tingkat ada logam pemegang cuplikan (cuplikan dan pemegangnya dalam kondisi hubungan listrik yang baik).

Pemegang cup likan dihubungkan dengan integrator muatan. Elektron-elektron melewati integrator dan menetralkan muatan-muatan yang diimplantasikan ke dalam cuplikan. Besar dosis didefinisikan sebagai berikut:

$$D = \frac{Q}{eA} = \frac{It}{eA} \quad (1)$$

dengan Q muatan total (C), t waktu implantasi (detik), I arus ion (ampere), e muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C), dan A luas permukaan sasaran (cm^2).

Energi ion saat keluar dari tabung akselerator ditentukan oleh besar tegangan pada tabung akselerator. Tenaga ion ini akan berpengaruh pada jangkauan terproyeksi, makin besar tenaga ionnya akan semakin besar jangkauan terproyeksinya. Berarti energi ion akan menentukan tebal lapisan.

Jangkauan ion dalam bahan sasaran didefinisikan sebagai jarak total yang ditempuh ion dalam bahan yang dihitung mulai ion masuk ke bahan sasaran sampai ion tersebut berhenti. Jangkauan total ion (\AA) dalam bahan dinyatakan dengan persamaan (Mayer dkk, 1970):

$$R_t = \frac{60 \left(Z_i^{2/3} + Z_s^{2/3} \right)^{1/2} (m_i + m_s) m_s E}{S Z_i Z_s m_i} \quad (2)$$

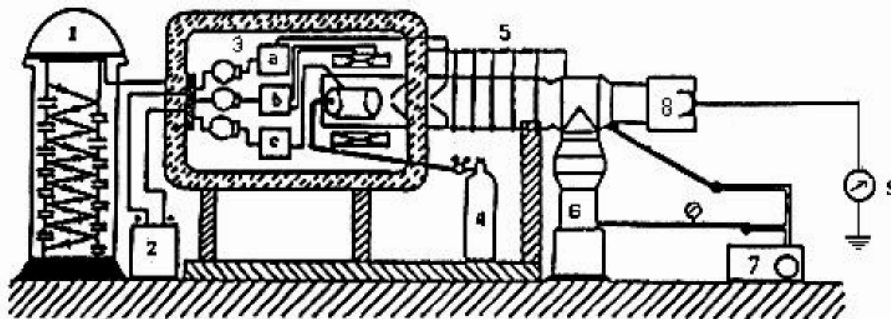
dengan Z_i , m_i nomor atom dan massa atom ion penembak, Z_s , m_s nomor atom dan massa atom sasaran, S adalah rapat massa sasaran (g/cm^3) dan E tenaga ion (keV).

Alat deposisi ion yang digunakan adalah implantor ion yang skema alatnya ditunjukkan pada Gambar 1. Alat ini terdiri atas sumber tegangan terisolasi (0-220 V) yang digunakan untuk menghasilkan elektron yang dipercepat dari katoda menuju anoda. Elektron ini digunakan untuk mengionisasi gas yang ada dalam tabung sumber ion.

Dengan bantuan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan menyebabkan gerak elektron menuju anoda akan berbentuk spiral yang akan menambah panjang lintasannya, sehingga menambah peluang terjadinya ionisasi. Ion-ion positif yang dihasilkan dalam sumber ion, akan ditarik ke luar menuju tabung akselerator oleh tegangan negatifnya melalui celah sempit pemfokus.

Tabung akselerator terdiri dari beberapa elektroda dengan tegangan yang makin negatif terhadap elektroda sebelumnya untuk mempercepat berkas ion positif. Tabung

akselerator harus dihisap sampai 10^{-6} mmHg agar tidak terjadi tumbukan antara ion yang dipercepat dengan sisa molekul gas.



Keterangan gambar:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. generator tegangan tinggi Cochroft- walton (HV) | 4. penguapan serbuk sumber ion |
| 2. generator dc terisolasi (0-220 V) | 5. tabung akselerator |
| 3. sumber ion Penning : | 6. pompa difusi |
| a. pemfokus | 7. pompa rotari |
| b. magnet kumparan | 8. kotak sasaran |
| c. elektroda | 9. Amperemeter |

Gambar 1. Sistem Implantasi Ion

Kekerasan Bahan

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya (Sriati Djaprie, 1992). Dapat diperkirakan bahwa ada hubungan antara kekerasan dengan kekuatan bahan.

Uji kekerasan ada beberapa diantaranya: uji kekerasan Vickers dan uji kekerasan Knoop. Pada uji kekerasan Knoop, panjang diagonal jejaknya berbeda 7:1. Identor pada alat ini memiliki sudut vertikal sebesar $172,5^\circ$ dan 130° . Beban identor pada uji ini minimum 10 gf dan maksimum 1 kgf. Uji kekerasan knoop sangat baik untuk menguji kekerasan lapisan tipis, seperti logam yang diimplantasi ion. Angka kekerasan Knoop (*Micro Hardness Tester Number, KHN*) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$KHN = 14,23P L^{-2} \quad (3)$$

Dengan *KHN* angka kekerasan mikro ($\text{gf}/\text{m}^2 = \text{KHN}$), *P* beban yang diterapkan (kgf), dan *L* panjang diagonal yang lebih panjang (mm).

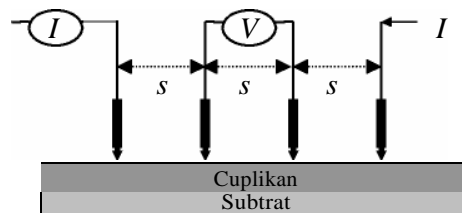
Resistansi

Resistans lapisan diukur dengan menggunakan metode kuar (*probe*) empat (4) titik. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2. Dua kuar dalam, yakni kuar ke-2 dan k-3 untuk mengukur beda potensial lapisan; sedangkan dua kuar luar, yakni kuar k-1 dan k-4 untuk mengukur kuat arus lapisan. Dengan memperhatikan geometri lapisan, maka bentuk ini memiliki faktor koreksi geometrik sebesar $\frac{\pi}{\ln 2}$. Metode pengukuran ini dikembangkan oleh Valdes, Smits, dan Severin (Ryssel and Ruge, 1986).

Untuk arus sejajar permukaan lapisan dan cuplikan persegi, resistans dihitung dengan persamaan:

$$R_{\square} = \frac{\pi V}{\ln 2 I} \quad (4)$$

Persamaan (4) memberikan kesalahan $\pm 1\%$ untuk perbandingan antara ketebalan dengan jarak kuar (d/s) 0,6 (Ryssel and Ruge, 1986). Jadi persamaan tersebut dapat digunakan dengan baik jika $d/s < 0,6$.

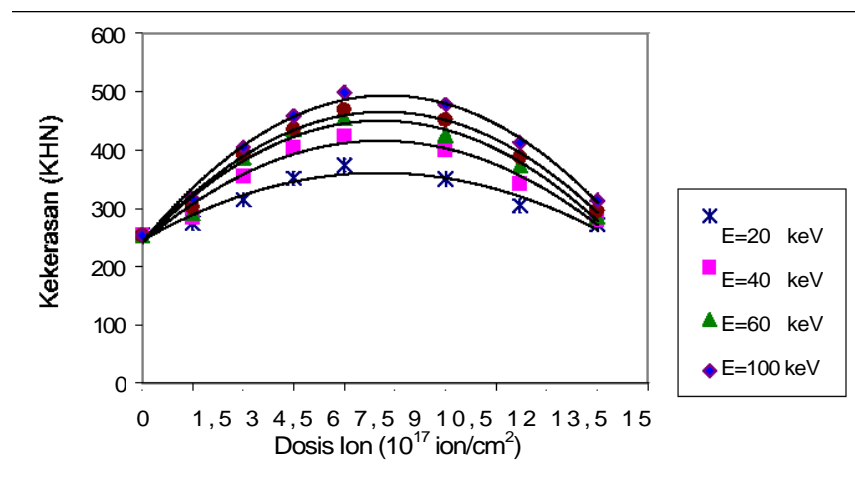


Gambar 2. Cara pengukuran resistans lapisan

PEMBAHASAN

Pengaruh Implantasi terhadap Kekerasan

Kenaikan energi dapat menyebabkan peningkatan kekerasan permukaan baja dan mencapai puncak pada energi 100 keV (Edi Istiyono, 2003). Pengaruh energi implantasi terhadap kekerasan permukaan dinyatakan pada Gambar 3. Hal ini dapat dijelaskan bahwa deposisi atau implantasi ion ditentukan oleh energi ion, semakin tinggi energi ion semakin dalam ion dapat masuk dalam bahan. Dengan kata lain semakin tinggi energi ion semakin tebal sisipan ion-ion nitrogen dalam atom sasaran yang membentuk fase baru Fe-N.



Gambar 3. Grafik antara dosis ion, energi dan kekerasan baja

Perubahan dosis ion pada implantasi ion juga memberikan pengaruh pada kekerasan permukaan. Pengaruh dosis ion nitrogen terhadap kekerasan permukaan baja juga dinyatakan pada Gambar 3 (Edi Istiyono, 2003). Dari Gambar 3, nampak bahwa peningkatan dosis ion nitrogen menyebabkan kenaikan kekerasan permukaan yang memiliki trend kuadratik dan maksimum pada dosis $6,0 \times 10^{17}$ ion/cm². Gejala ini dapat dijelaskan bahwa semakin bertambah dosis ion, maka jumlah cacat berupa lowongan atom-atom sasaran dan sisipan ion-ion nitrogen juga semakin banyak. Sisipan ion-ion nitrogen antara atom sasaran dapat membentuk fase baru Fe-N. Fase baru ini bersifat lebih keras dibanding dengan fase induknya. Di atas dosis $6,0 \times 10^{17}$ ion/cm² angka kekerasannya menurun. Hal ini dimungkinkan pada kondisi tersebut sasaran telah diisi ion-ion nitrogen secara maksimum. Dengan bertambahnya ion nitrogen, kemungkinan besar ion-ion tersebut berkumpul dengan ion-ion nitrogen lainnya pada tempat-tempat kosong yang ditinggalkan oleh atom-atom sasaran.

Lebih lanjut dalam implantasi ion, ion-ion nitrogen menyusup ke dalam struktur kristal logam sehingga terbentuk cacat interstisi. Menurut aturan atom ketidak sempurnaan atom akan meningkatkan karakteristik mekanik logam, yang meliputi kekerasan dan laju korosi. Implantasi ion nitrogen menyebabkan terbentuknya lapisan nitrida yang dapat meningkatkan kekerasan permukaan logam (Wahyono Suprpto, 2008). Hal senada bahwa deposisi ion nitrogen pada baja ST 37 juga meningkatkan kekerasannya (Tri Endro Pranowo, 2007).

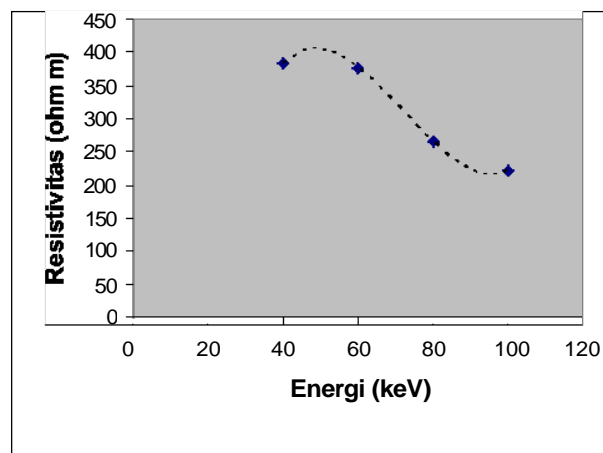
Selain ion nitrogen, implantasi dengan ion boron dan karbon juga meningkatkan kekerasan bahan. Semakin tinggi dosis ion dan energi pada implantasi ion boron pada besi menyebabkan kenaikan tingkat kekerasan besi, kekerasan optimum dicapai pada dosis ion $8,4 \times 10^{16}$ ion/cm² dan energi 60 keV. Hal yang sama terjadi pada implantasi ion karbon pada besi. Kenaikan dosis dan energi pada implanatsi ion karbon pada besi meningkatkan kekerasan besi, kekerasan optimum pada dosis ion $1,8 \times 10^{16}$ ion/cm² dan energi ion 70 keV. (Tjipto Sujitno, dkk, 1999).

Dengan demikian jelas bahwa implantasi ion nitrogen, boron, dan karbon dapat mengubah sifat mekanik bahan terutama kekerasannya.

Berdasarkan paparan tersebut, maka kenaikan energi dan dosis ion pada implantasi ion menyebabkan meningkatnya kekerasan bahan. Kondisi demikian yang dip erlukan, karena untuk keperluan dalam bidang otomotif, misalnya komponen me sin dip erlukan bahan yang memiliki kekerasan yang tinggi .

Pengaruh Implantasi Ion terhadap Resistansi

Energi pada implantasi ion besi pada perak mempengaruhi resistivitas perak. Kenaikan energi implantasi ion menyebabkan penurunan resistivitas perak seperti dinyatakan Gambar 4 (Edi Istiyono, 2004).



Gambar 4. Pengaruh energi terhadap resistivitas dalam implantasi ion besi pada perak

Pengaruh energi implantasi ion terhadap resistivitas seperti Gambar 4 dapat dijelaskan karena pada kondisi tersebut terjadi cacat-cacat yang berupa pasangan kekosongan (*valancies*) atom-atom sasaran dan sisipan ion-ion besi pada jeluk yang cukup dalam untuk tenaga tinggi. Ini berarti penyebarannya lebih merata dan lebih jarang serta

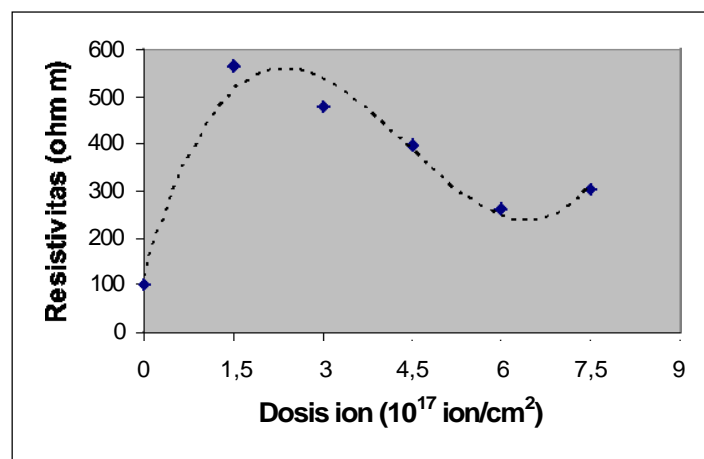
tumpang tindihnya kerusakan tidak sebanyak bila dibandingkan dengan kalau energi rendah, sehingga energi makin tinggi resistansi makin rendah.

Penurunan resistansi akibat implantasi ion juga terjadi pada implantasi ion perak terhadap sambungan PN. Semakin besar energi dalam implantasi ion perak pada sambungan PN, akan semakin kecil resistansinya (Priyo Wibowo, 2004).

Demikian juga terjadi pada implantasi ion emas pada wafer silikon tipe N. Semakin besar energi implantasi ion emas pada wafer silikon, maka resistansi silikon semakin kecil (Budi Wijilestari, 2004).

Parameter dalam implantasi ion, selain energi adalah dosis ion. Telah disebutkan di atas energi implantasi mempengaruhi resistansi. Lalu, bagaimana untuk dosis ion? Dosis ion besi yang diimplantasikan pada perak juga memberikan pengaruh pada resistivitas perak. Secara umum, kenaikan dosis ion menyebabkan penurunan resistivitas seperti dinyatakan Gambar 5 (Edi Istiyono, 2004).

Gambar 5. Pengaruh dosis ion terhadap resistivitas dalam implantasi ion besi pada perak



Pengaruh dosis ion terhadap resistivitas bahan yang dinyatakan Gambar 5, kita tinjau saat pemberian dosis awal dan penambahan dosis. Berdasarkan Gambar 5 tersebut nampak bahwa pemberian dosis ion besi dari nol ke dosis $1,5 \times 10^{17}$ ion/cm² atau dengan berarti dengan adanya dopan resistivitas naik cukup tajam. Hal ini dapat dijelaskan, karena keadaan yang sudah mapan kemudian adanya dopan yang lebih banyak menyebabkan keadaan kurang mapan dan belum sempat mengadakan penyusunan kembali (*rearrangement*) secara baik.

Selanjutnya menurut Gambar 5 juga bahwa penambahan dosis ion akan

menyebabkan penurunan resistivitas. Hal ini karena penambahan dosis ion besi pada perak menyebabkan perubahan pita tenaga pertama atau kedua pada pita valensi, yaitu naiknya pita valensi. Dengan adanya perubahan pada pita valensi tersebut mengakibatkan resistivitasnya akan menurun pula. Harga optimum dicapai atau resistivitas minimum pada dosis ion 6×10^{17} ion/cm². Hal ini disebabkan karena pada dosis 6×10^{17} ion/cm² keadaan sudah mapan, dengan bertambahnya dosis akan menyebabkan perubahan jumlah ion dopan sehingga keadaan tidak mapan lagi. Keadaan ini jika dosis bertambah lagi akan terjadi penataan kembali sehingga resistivitasnya kembali turun.

Penurunan resistansi akibat implantasi ion juga terjadi pada implantasi ion perak terhadap sambungan PN. Semakin besar dosis ion perak, maka resistansinya semakin kecil dan resistansi minimum pada dosis 5×10^4 ion/cm² (Priyo Wibowo, 2004).

Hal senada juga terjadi pada implantasi ion emas pada wafer silikon tipe N. Semakin besar dosis ion emas yang diimplantasikan pada wafer silikon, maka resistansi silikon semakin kecil dan resistansi minimum pada dosis 10^{14} ion/cm² (Budi Wijilestari, 2004).

Berdasarkan uraian di atas, maka kenaikan energi dan dosis ion pada implantasi ion menyebabkan menurunnya resistivitas bahan. Hal demikian yang diharapkan, karena untuk keperluan instrumentasi maupun elemen sel surya memerlukan bahan dengan resistivitas yang kecil.

SIMPULAN

Dari kajian ini dapat ditarik beberapa simpulan antara lain:

1. Implantasi Ion pada bahan menyebabkan perubahan kekerasan bahan, dengan:
 - a. Kenaikan energi pada implantasi ion menyebabkan meningkatnya kekerasan permukaan bahan.
 - b. Kenaikan dosis ion pada implantasi ion menyebabkan meningkatnya kekerasan permukaan bahan.
2. Implantasi Ion pada bahan menyebabkan perubahan resistansi, dengan:
 - a. Kenaikan energi pada implantasi ion menyebabkan menurunnya resistivitas bahan.
 - b. Kenaikan dosis ion pada implantasi ion menyebabkan menurunnya resistivitas bahan.

SARAN

Mengingat beberapa keterbatasan pada kajian ini, karena itu disarankan:

1. Dapat dilakukan kajian lebih lanjut tentang bahan dopan yang dapat meningkatkan kekerasan bahan.
2. Dapat dilakukan kajian lebih lanjut tentang bahan dopan yang dapat menurunkan resistansi bahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi Wijilestari, 2004. *Implantasi Ion Au ke Permukaan Wafer Silikon Tipe N* . (Skripsi). Yogyakarta: FMIPA UNY
- Dearnaley, G., Freeman, J.H., Nelson, R.S., and Stephen, J. 1973. *Ion Implantation*. North-Holland Publishing Company Inc., New York.
- Edi Istiyono. 2003. *Analisis GMR Ag-Fe pada Pembuatan Bahan Sensor Medan Magnet dengan Metoda Implantasi Ion* . Jurnal Saintek Lemlit UNY Edisi April 2003 Volume 8 No. 1.
- Edi Istiyono. 2004. *Optimasi Kekerasan Permukaan Baja dengan Deposisi Ion Nitrogen dan Anil* . Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA FMIPA UNY , IMSTEP JICA, dan DIKTI
- Mayer, J. W., Eriksson, L. and Davies, J. A. 1970. *Ion Implantation in Semiconductors*. Academic Press, New York and London.
- Priyo Wibowo, 2004. *Implantasi Ion Ag pada Sambungan PN untuk Pembuatan Kontak Ohmik* . (Skripsi). Yogyakarta: FMIPA UNY
- Ryssel, H dan Ruge, I. 1986. *Ion Implantation*. John Willey & Sons, New York
- Sriati Djaprie. 1992 . *Ilmu dan Teknologi Bahan* (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta
- Tri Endro Pranowo, 2007. *Pengaruh Tekanan dan Waktu pada Proses Nitridasi Ion terhadap Kekerasan Baja ST 37* . (Skripsi). Yogyakarta: FMIPA UNY
- Tjipto Sujitno, dkk, 1999. *Pengaruh Implantasi Ion-ion Boron dan Karbon pada Sifat Mekanik Permukaan Besi*. <http://www.digilib.batan.go.id/sipulitbang/cari.php%3Fcari%3Dimplantasi%26limit%3D10%26page%3D10%26pilih%3D0+implantasi+ion&hl=en&ct=clnk&cd=2> . Diambil tanggal 17 Mei 2008
- Wahyono Suprpto 2008. *Pengaruh Implantasi Ion Nitrogen terhadap Karakteristik Mekanik dan Kimia pada Hot Work Tool Steel*. <http://jurnalfb.brawijaya.ac.id/?hlm=jfull&edisi=1049130000&idj=1103520683> . Diambil tanggal 16 Mei 2008.