

## **Rekayasa Bahan untuk Meningkatkan Daya Serap Terhadap Gelombang Elektromagnetik dengan Metode Deposisi Menggunakan Lucutan Korona**

**Vincensius Gunawan .S.K**

Laboratorium Fisika Zat Padat, Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro

### **Abstract**

*The aim of this research is to engineer soft steel which have low value absorbance of electromagnetic waves become a material which have higher value absorbance. The method used is deposition by corona discharge. Corona discharge generated in free space will ionize air producing nitrogen ion that can be deposited in basic material. This process will increase the density in the surface of basic materials and then will make the value of linear absorbance constant of basic material become higher. The optimal result in this research is the raise of the value of linear absorbance constant by 54,3 % with the time of deposition in 30 minutes, the voltage of electrode 5 kV and distance between electrodes 6 mm.*

### **Intisari**

*Penelitian ini bertujuan untuk merekayasa bahan dasar yang berupa baja lunak dengan daya serap terhadap gelombang elektromagnetik rendah menjadi suatu bahan dengan peningkatan daya serap. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deposisi dengan memanfaatkan lucutan korona. Lucutan pijar korona dalam udara bebas akan mengionisasi udara menghasilkan ion-ion nitrogen yang akan terdepositasi dalam bahan dasar. Akibat deposisi ini struktur bahan menjadi semakin rapat sehingga tetapan serapan linear akan bertambah besar. Diperoleh hasil yang optimal dengan prosentase kenaikan tetapan serapan linear tertinggi sebesar 54,3 % pada kondisi deposisi selama 30 menit dengan tegangan dan jarak elektroda sebesar 5 kV dan 6 mm.*

### **Pendahuluan**

Bahan dengan daya serap tinggi diperlukan sebagai perisai (shielding) terutama pada piranti-piranti yang menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai komponen utama yang berguna untuk mencegah kebocoran gelombang radiasi yang tinggi ke lingkungan. Bahan dasar dengan daya serap tinggi tersedia di alam yaitu timbal (Pb). Karena kerapatan yang relatif tinggi, bahan ini relatif berat dan tidak lentur sehingga sulit dibentuk dan pada aplikasi yang menuntut bentuk yang kompleks pemakaian bahan ini tidak lagi cocok. Pada sisi lain, baja lunak memiliki kelenturan yang relatif baik sehingga mudah dibentuk namun daya serapnya terhadap gelombang elektromagnetik tidak terlalu tinggi.

Mengacu pada permasalahan di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mencoba merekayasa bahan dasar

yang berupa baja lunak sehingga daya serapnya terhadap gelombang elektromagnetik naik. Dengan rekayasa ini diharapkan terjadi pertambahan daya serap namun sifat kelenturan bahan dasar tersebut tidak mengalami perubahan. Salah satu metode rekayasa yang dapat digunakan untuk maksud tersebut adalah dengan metode penyisipan (deposisi). Pada metode ini suatu bahan dasar disisipi oleh atom-atom tertentu sehingga akan terjadi perubahan struktur pada daerah sekitar permukaannya. Karena perubahan struktur hanya terjadi di permukaan, maka sifat kelenturan bahan dapat dipertahankan.

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pemahaman yang lebih mendalam tentang prinsip pembangkitan plasma lucutan korona dalam udara bebas dengan tekanan kamar (1 atm) serta proses deposisi material

Dengan menggunakan lucutan korona yang melibatkan parameter : tegangan elektroda, waktu deposisi dan jarak antar elektroda.

### Tinjauan Pustaka

Bila suatu berkas foton atau gelombang elektromagnetik dilewatkan dalam suatu bahan, berkas tersebut akan berinteraksi dengan atom-atom penyusun bahan sehingga akan mengurangi intensitas foton dari arah berkasnya semula [1].

Penurunan intensitas berkas foton yang melewati bahan memiliki bentuk eksponensial dalam rumus [2]

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

dengan  $I$  menyatakan intensitas foton setelah melewati bahan,  $I_0$  menyatakan berkas foton awal,  $\mu$  menyatakan tetapan serapan bahan dan  $d$  menyatakan tebal bahan.

Koefisien serapan  $\mu$  merupakan suatu kuantitas yang terkait denganampang lintang serapan ( $\sigma_a$ ) dan rapat partikel ( $N$ ) yang dirumuskan dalam bentuk [3]

$$\mu = \sigma_a N. \quad (2)$$

Pada bahan zat padat, jenis kisi, jarak antar kisi, jenis ikatan antar atom-atom penyusun bahan serta jumlah electron per kisi akan memberikan suatu sumbangan yang spesifik terhadap nilai  $\sigma_a$ , sehingga menyebabkan nilai konstanta tetapan linier  $\mu$  bersifat khas untuk tiap-tiap jenis bahan.

Lucutan pijar korona merupakan suatu fenomena kelistrikan yang terjadi pada medium gas karena pengaruh medan listrik yang cukup tinggi. Plasma lucutan pijar korona dapat dihasilkan dengan menggunakan sepasang elektroda jarum-bidang yang diberi tegangan tinggi (dalam orde kV). Distribusi medan listrik yang dihasilkan memiliki bentuk [4]

$$E = \frac{2V}{(r + 2x - \frac{x^2}{d}) \ln(1 + \frac{2d}{r})} \quad (3)$$

dengan  $V$ ,  $x$ ,  $r$  dan  $d$  masing-masing menyatakan beda tegangan, jarak dari ujung jarum, jejari ujung elektroda dan jarak antara kedua elektroda.

Bila suatu tegangan korona diterapkan pada pasangan elektroda jarum-bidang untuk menghasilkan korona positif, elektron-elektron pada elektroda bidang akan mengalir menuju elektroda jarum melewati ruang di antara kedua elektroda tersebut. Pada lintasannya, elektron-elektron tersebut akan menumbuk partikel-partikel udara yang berada diantara pada ruang antara dua elektroda tersebut, sehingga partikel-partikel udara mengalami proses ionisasi. Udara bebas memiliki unsur terbesar (80%) berupa Nitrogen dalam bentuk atom N maupun molekul  $N_2$ , sehingga interaksi terpenting dalam proses deposisi adalah reaksi ionisasi atom N dan molekul  $N_2$  yang menghasilkan ion-ion  $N^+$  dan  $N_2^+$ .

Ion-ion nitrogen ( $N^+$  dan  $N_2^+$ ) yang dihasilkan pada proses ionisasi akan bergerak menuju katoda. Dengan adanya sampel yang berupa baja lunak yang diletakkan di katoda, akan terjadi interaksi antara ion-ion nitrogen dengan atom-atom  $F_e$  yang terletak di sekitar permukaan sampel. Interaksi ini dapat menyebabkan ion-ion nitrogen terikat pada sampel, sehingga lapisan-lapisan kisi di dekat permukaan bahan akan memiliki kerapatan atom yang relatif tinggi.

Bila laju kedatangan ion-ion  $N^+$  dan  $N_2^+$  dinotasikan dengan  $J$ , maka konsentrasi ion-ion yang terdeposisi ke dalam bahan dasar berbentuk [5]

$$n = \alpha_c Jt \quad (4)$$

### Metode Penelitian

Dalam penelitian ini secara garis besar dilakukan dua proses utama, yang pertama adalah proses pendeposisian bahan dasar dan yang kedua berupa proses pengujian bahan yang telah dideposisi menggunakan sinar-X. Langkah terakhir penelitian ini adalah melakukan analisis dengan membandingkan nilai tetapan

serapan linier ( $\mu$ ) sebelum deposisi dengan nilai  $\mu$  setelah deposisi.

Proses deposisi dilakukan menggunakan piranti deposisi pada Gb.1. Bahan dasar berupa baja lunak dengan tiap set memiliki variasi ketebalan meliputi : 0,05 mm, 0,1 mm, 0,15 mm, 0,2 mm, 0,25 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm dan 1,0 mm. Sampel yang akan dideposisi diletakkan di katoda. Selanjutnya anoda dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan tinggi sedangkan katoda dihubungkan dengan kutub negatif sumber tegangan. Proses deposisi dilakukan pada tiga variasi parameter, yaitu :

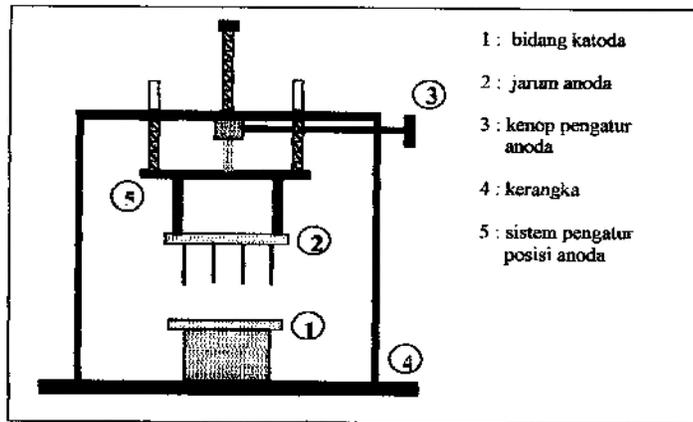
- a) Deposisi dilakukan pada tegangan elektroda yang tetap (4500 V) dan jarak antara elektroda juga tetap (6 mm). Variasi dilakukan terhadap waktu deposisi: 15 menit, 30 menit dan 45 menit. Pada tiap variasi waktu dilakukan deposisi terhadap satu set sample yang terdiri dari beberapa ketebalan.
- b) Deposisi dilakukan pada selang waktu tetap (30 menit) dan jarak antar elektroda yang juga tetap (6 mm). Variasi dilakukan terhadap tegangan antara kedua elektroda sebesar : 4,5 kV, 5 kV dan 5,5 kV. Pada tiap variasi tegangan juga dilakukan deposisi terhadap satu set sample yang terdiri dari beberapa ketebalan.
- c) Proses ini hampir sama dengan kedua proses sebelumnya, hanya pada proses ketiga ini nilai

tegangan antara kedua elektroda dan selang waktu pendeposisian bersifat tetap, yaitu sebesar 5 kV dan 15 menit. Variasi dilakukan terhadap jarak antara kedua elektroda, yaitu sebesar 4 mm, 6 mm dan 8 mm. Proses pengujian bahan melalui dua tahap. Tahap pertama pengujian daya serap bahan sebelum dilakukan deposisi sedangkan tahap kedua dilakukan pengujian setelah bahan dasar tersebut melalui proses deposisi. Pengujian dilakukan dengan menempatkan bahan di depan detector piranti sinar-X. Setting piranti sinar-X diatur pada arus emisi 1 mA dan tingkat tegangan pada posisi stage 6. Selanjutnya bahan tersebut ditembak secara tegak lurus dengan sinar-X. Proses pencacahan dilakukan selama satu menit untuk tiap sample.

Bila pers.(1) dikenai operasi logaritma alam, akan diperoleh bentuk

$$\ln I = -\mu d + \ln I_0 \quad (5)$$

Bentuk pers.(5) di atas merupakan suatu persamaan linear  $\ln I$  terhadap  $d$ . Jadi dari per.(5) di atas tampak bahwa dengan memvariasi ketebalan dan mengukur besar intensitas berkas yang menembus bahan, dapat diperoleh nilai tetapan serapan linear bahan ( $\mu$ ). Perhitungan nilai  $\mu$  dapat diperoleh dengan memplot data yang diperoleh pada grafik  $\ln I$  versus  $d$ . Grafik yang diperoleh adalah suatu grafik linear dengan gradien yang besarnya  $-\mu$ .



Gambar 1. Piranti pendeposisi metode lucutan korona

### Hasil dan Pembahasan

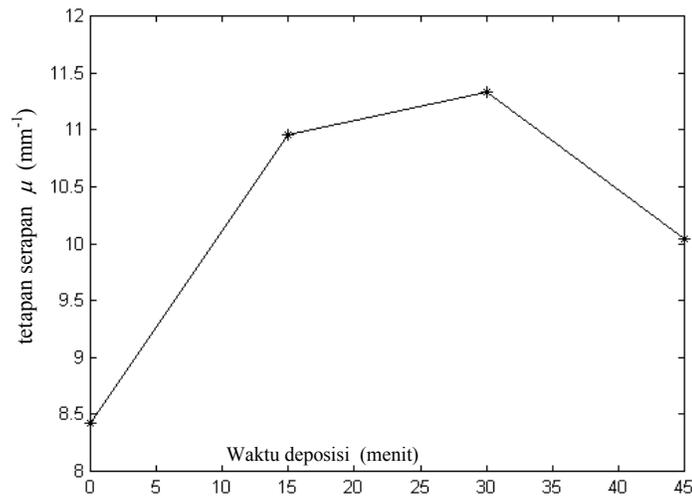
Secara garis besar hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan. Proses pendeposisian yang dilakukan terhadap bahan dasar yang berupa baja lunak menyebabkan peningkatan kerapatan atom-atom di sekitar permukaan bahan. Berdasarkan pers.(2), tampak bahwa peningkatan kerapatan atom-atom ( $N$ ) di sekitar permukaan bahan akan secara langsung meningkatkan nilai tetapan serapan linier bahan. Dari hasil yang diperoleh, tampak bahwa pada seluruh variasi proses pendeposisian menunjukkan terjadinya peningkatan nilai tetapan serapan linier bahan dasar.

Selanjutnya ditinjau proses pendeposisian dengan variasi waktu yang hasilnya tercantum pada tabel 1 dan gambar 2. Dibandingkan kenaikan nilai tetapan serapan  $\mu$  yang disebabkan oleh proses deposisi dengan selang waktu 15 menit (kenaikan sebesar 30,2 %) dan proses deposisi selama 30 menit (kenaikan sebesar 34,6 %). Berdasarkan pada pers(2), kenaikan nilai tetapan  $\mu$  ini

disebabkan oleh kenaikan konsentrasi partikel bahan yang letaknya di sekitar permukaan bahan. Selanjutnya ditinjau pers.(5) yang menyatakan kesebandingan antara konsentrasi ion-ion  $N^+$  dan  $N_2^+$  yang terdeposisi ke dalam substrat terhadap selang waktu deposisi. Jelas, bahwa proses deposisi selama 30 menit mendeposisikan ion-ion yang relatif lebih banyak dibandingkan bila proses deposisi selama 15 menit. Hal ini berarti bahwa secara keseluruhan konsentrasi partikel-partikel di sekitar daerah permukaan bahan yang terdeposisi selama 30 menit lebih banyak dibandingkan bila bahan hanya mengalami proses deposisi selama 15 menit. Hal ini akan secara langsung mengakibatkan prosentase kenaikan  $\mu$  bahan pada sampel yang terdeposisi selama 30 menit lebih besar dibanding prosentase kenaikan  $\mu$  pada sample bahan yang terdeposisi selama 15 menit seperti terpapar pada table 1. Jadi hasil yang diperoleh pada kedua proses deposisi tersebut bersesuaian dengan dasar teori yang digunakan.

Tabel 1. Hasil proses deposisi dengan variasi fungsi waktu serta tegangan 4,5 kV dan jarak elektroda 6 mm

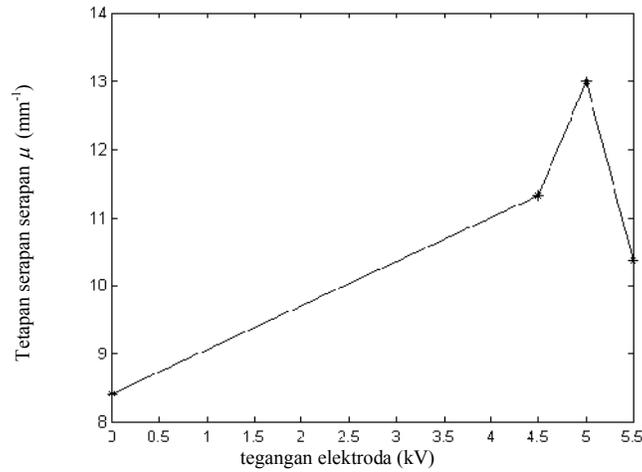
Waktu deposisi	Tetapan serapan $\mu$	% kenaikan
-	$8,42 \pm 0,29$	-
15 menit	$10,96 \pm 0,24$	30,2 %
30 menit	$11,33 \pm 0,25$	34,6 %
45 menit	$10,04 \pm 0,24$	19,2 %



Gambar 2. Tetapan serapan ( $\mu$ ) yang diperoleh pada beberapa nilai waktu deposisi. Tegangan elektroda yang digunakan 4,5 kV, dengan jarak elektroda sebesar 6 mm.

Tabel 2. Hasil proses deposisi dengan fungsi variasi tegangan elektroda selama 30 menit dengan jarak elektroda 6 mm.

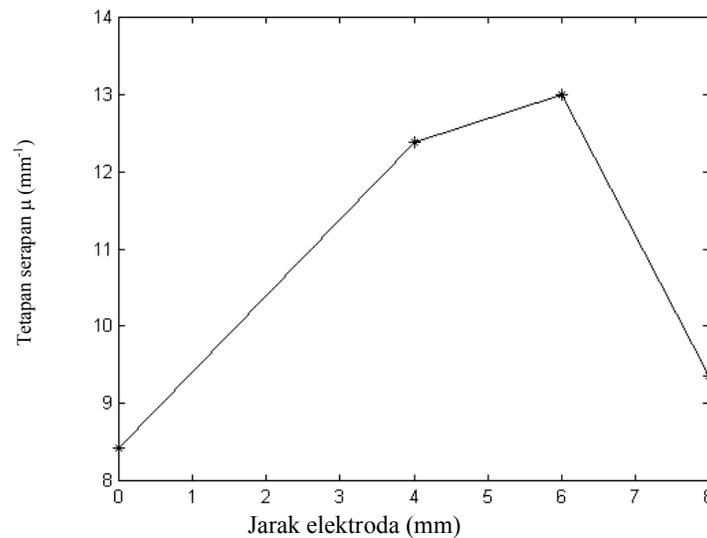
Tegangan elektroda	Tetapan serapan $\mu$	% kenaikan
-	$8,42 \pm 0,29$	-
4,5 kV	$11,33 \pm 0,15$	34,6 %
5 kV	$12,99 \pm 0,16$	54,3 %
5,5 kV	$10,38 \pm 0,13$	23,3 %



Gambar 3. Tetapan serapan ( $\mu$ ) yang diperoleh pada beberapa nilai tegangan elektroda. Waktu deposisi 30 menit, dengan jarak elektroda sebesar 6 mm.

Tabel 3. Hasil proses deposisi dengan varias fungsi jarak elektroda selama 30 menit dengan tegangan elektroda 5 kV

Jarak elektroda	Tetapan serapan $\mu$	% kenaikan
-	$8,42 \pm 0,29$	-
4 mm	$12,38 \pm 0,14$	47,0 %
6 mm	$12,99 \pm 0,16$	54,3 %
8 mm	$9,35 \pm 0,12$	11,0 %



Gambar 4. Tetapan serapan ( $\mu$ ) yang diperoleh pada beberapa nilai jarak elektroda. Waktu deposisi 30 menit, dengan tegangan elektroda sebesar 5 kV.

Kenaikan nilai tetapan serapan pada proses deposisi selama 45 menit (sebesar 19,2%) ternyata lebih rendah bila dibandingkan dengan kenaikan nilai tetapan  $\mu$  pada kedua proses sebelumnya (proses deposisi selama 15 dan 30 menit). Proses deposisi dengan waktu yang relatif lama dapat menyebabkan tenaga termal yang terjadi meningkatkan tenaga vibrasional dan rotasional pada partikel-partikel di sekitar permukaan bahan. Peningkatan tenaga yang cukup tinggi dapat berakibat terlepasnya partikel-partikel tersebut dari system kristal bahan. Akibat terlepasnya partikel-partikel bahan tidak sesuai dengan yang diinginkan, karena terjadi pengurangan dari partikel-partikel yang terlepas. Jadi konsentrasi partikel-partikel tersebut relatif tidak sebesar konsentrasi yang diperoleh melalui proses deposisi selama 15 dan 30 menit. Hal ini tentu saja secara langsung menyebabkan prosentase kenaikan tetapan serapan  $\mu$  pada proses deposisi selama 45 menit tidak sebesar prosentase kenaikan yang diperoleh melalui proses deposisi selama 15 menit dan 30 menit. Ditinjau proses pendeposisian dengan variasi tegangan elektroda yang hasilnya tercantum pada tabel 2 dan gambar 3. Dibandingkan kenaikan nilai tetapan serapan  $\mu$  yang disebabkan oleh proses deposisi dengan tegangan elektroda sebesar 4,5 kV (kenaikan sebesar 34,6 %) dan proses deposisi dengan tegangan elektroda sebesar 5 kV (kenaikan sebesar 54,3 %). Berdasarkan pers.(3), untuk jarak elektroda yang tetap, tegangan elektroda sebanding dengan medan listrik ( $V \propto E$ ) yang dihasilkan pada ruang di antara elektroda. Tenaga elektrostatik yang dihasilkan oleh pasangan elektroda tersebut sebanding dengan kuadrat medan listrik ( $U \propto E^2$ ), sehingga dapat dinyatakan pula bahwa tenaga elektrostatik tersebut sebanding dengan kuadrat tegangan elektroda ( $U \propto V^2$ ). Tenaga

elektrostatik ini digunakan pada proses ionisasi unsur nitrogen dalam udara bebas. Dari kesebandingan di atas, jelas bahwa tegangan elektroda sebesar 5 kV memiliki tenaga pengionisasi yang relatif lebih besar dibanding tenaga pengionisasi yang dihasilkan oleh tegangan electrode sebesar 4,5 kV.

Tenaga pengionisasi yang lebih besar berarti bahwa lebih banyak ion-ion  $N^+$  dan  $N_2^+$  yang dihasilkan, sehingga tersedia lebih banyak ion-ion yang dapat dideposisikan. Jadi, jelas bahwa hal ini akan berakibat proses deposisi dengan tegangan electrode 5 kV akan menghasilkan kerapatan partikel pada permukaan bahan yang relatif lebih besar dibanding kerapatan yang diperoleh melalui proses deposisi dengan tegangan elektroda sebesar 4,5 kV. Secara langsung hal ini akan menyebabkan kenaikan nilai tetapan serapan  $\mu$  yang diperoleh dengan proses deposisi dengan tegangan elektroda sebesar 5 kV lebih besar dibandingkan kenaikan yang dihasilkan dengan deposisi menggunakan tegangan 4,5 kV. Kenaikan nilai tetapan serapan pada proses deposisi menggunakan tegangan elektroda sebesar 5,5 kV (sebesar 23,32 %) ternyata lebih rendah bila dibandingkan dengan kenaikan  $\mu$  pada kedua proses sebelumnya (proses deposisi dengan tegangan elektroda sebesar 4,5 kV dan 5 kV). Tegangan elektroda yang terlalu tinggi menyebabkan dihasilkannya medan listrik yang relatif tinggi pada ruang antar elektroda. Medan listrik yang dihasilkan ini selain menghasilkan tenaga elektrostatik yang berfungsi untuk proses ionisasi partikel-partikel nitrogen dalam udara bebas, juga berperan dalam membawa ion-ion nitrogen tersebut ke permukaan substrat melalui gaya Coulomb ( $F = qE$ ). Jadi bila tegangan elektroda terlalu tinggi, menyebabkan ion-ion yang akan dideposisikan memiliki gaya yang relatif besar sehingga ketika menumbuk permukaan bahan dapat melepaskan

partikel-partikel lain yang terikat pada system kristal bahan. Akibat terlepasnya partikel-partikel tersebut jelas bahwa konsentrasi partikel-partikel di sekitar permukaan bahan secara keseluruhan tidak sesuai dengan yang diinginkan, karena terjadi pengurangan dari partikel-partikel yang terlepas tersebut. Jadi proses tersebut mengakibatkan kerapatan partikel-partikel pada permukaan bahan secara keseluruhan tidak sebesar kerapatan yang diperoleh melalui proses deposisi menggunakan elektroda sebesar 4,5 kV atau 5 kV. Hal ini tentu saja secara langsung menyebabkan prosentase kenaikan tetapan serapan pada proses deposisi yang menggunakan tegangan elektroda 5,5 kV tidak sebesar kenaikan yang diperoleh melalui proses deposisi dengan tegangan elektroda sebesar 4,5 kV atau 5 kV. Ditinjau proses pendeposisian dengan variasi jarak elektroda yang hasilnya terpapar pada table 3 dan gambar 4. Dibandingkan kenaikan nilai tetapan serapan  $\mu$  yang disebabkan oleh proses deposisi dengan jarak antar elektroda sebesar 6 mm (kenaikan sebesar 54,3 %) dan proses deposisi dengan jarak antar elektroda sebesar 8 mm (kenaikan sebesar 11 %). Berdasarkan pers.(3), untuk tegangan elektroda yang tetap, jarak antar elektroda berbanding terbalik dengan medan listrik ( $d \propto 1/E$ ) yang dihasilkan pada ruang antar elektroda. Jadi, semakin kecil jarak antar elektroda, Nilai medan yang dihasilkan akan semakin besar. Karena tenaga elektrostatis sebanding dengan kuadrat medan, maka hal ini berarti pula bahwa tenaga elektrostatis yang dihasilkan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak ( $U \propto 1/d^2$ ). Berdasarkan pada uraian tersebut, jelas bahwa jarak elektroda sebesar 6 mm memiliki tenaga pengionisasi yang relatif lebih besar dibanding tenaga pengionisasi yang dihasilkan oleh sepasang elektroda berjarak 8 mm.

Seperti pada pembahasan sebelumnya, tenaga pengionisasi yang lebih besar berarti bahwa lebih banyak ion-

ion  $N^+$  dan  $N_2^+$  yang dihasilkan, sehingga tersedia ion-ion yang dapat dideposisikan. Jadi jelas bahwa hal ini akan berakibat prosentase kenaikan tetapan serapan  $\mu$  yang dihasilkan melalui proses deposisi dengan jarak 6 mm lebih besar dibanding prosentase kenaikan tetapan serapan  $\mu$  yang diperoleh dengan proses deposisi menggunakan jarak elektroda sebesar 8 mm. Kenaikan nilai tetapan serapan pada proses deposisi dengan menggunakan jarak elektroda sebesar 4 mm (kenaikan sebesar 47 %) ternyata lebih rendah bila dibandingkan dengan kenaikan nilai tetapan serapan  $\mu$  pada proses deposisi dengan jarak elektroda sebesar 6 mm (kenaikan 54,3 %). Jarak antar elektroda yang terlalu kecil menyebabkan dihasilkannya medan listrik yang relatif tinggi, sehingga hal ini dapat menyebabkan ion-ion yang akan dideposisikan memiliki gaya yang besar sehingga ketika menumbuk permukaan bahan dapat mengakibatkan terlepasnya partikel-partikel lain yang terikat pada system kristal bahan. Akibat terlepasnya partikel-partikel tersebut, jelas bahwa kerapatan atom secara keseluruhan pada permukaan bahan tidak sesuai dengan yang diinginkan, karena terdapat pengurangan dari partikel-partikel yang terlepas tersebut. Jadi kerapatan atom pada permukaan bahan pada sample yang mengalami deposisi dengan jarak elektroda 4 mm tidak sebesar kerapatan atom yang diperoleh melalui proses deposisi dengan jarak elektroda 6 mm. Hal ini menyebabkan prosentase kenaikan tetapan serapan  $\mu$  yang diperoleh melalui proses deposisi dengan jarak elektroda 4 mm tidak sebesar prosentase yang diperoleh dengan proses deposisi menggunakan jarak elektroda 6 mm.

Dari keseluruhan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dengan bahan dasar berupa baja lunak, tampak bahwa hasil paling optimum dengan presentase kenaikan tetapan serapan linear  $\mu$  sebesar 54,3 % diperoleh pada kondisi

deposisi menggunakan tegangan elektroda sebesar 5 kV dan jarak elektroda sebesar 6 mm dengan lama waktu deposisi 30 menit.

**Kesimpulan**

Penggunaan metode deposisi dengan memanfaatkan plasma lucutan pijar korona untuk meningkatkan daya serap gelombang elektromagnetik telah terbukti menghasilkan hasil yang cukup baik. Parameter-parameter yang berupa waktu deposisi, jarak antar elektroda dan tegangan tinggi yang diterapkan pada elektroda sangat berpengaruh terhadap kenaikan tetapan serapan linier  $\mu$ .

Pada penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil yang optimal dengan kenaikan tetapan serapan linier sebesar 54,3 % pada kondisi deposisi selama 30 menit dengan tegangan dan jarak elektroda sebesar 5 kV dan 6 mm.

**Daftar Pustaka**

- [1]. Ahmed, N.A.G., 1987, Ion Plating Technology : Development and Applications, John Wiley & Sons, New York
- [2]. Eisberg, R. & Resnick, R., 1985, Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles, 2<sup>nd</sup> ed, John Wiley & Sons, New York
- [3]. Kittel, C., 1986, Introduction to Solid State Physics, 7<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, New York
- [4]. Konuma, M., 1991, Film Deposition by Plasma Techniques, Springer Verlag, Berlin
- [5]. Prutton, M., 1989, Surface Physics, 2<sup>nd</sup> ed., Oxford University Press, Oxford