

P3TIR/P.69/2000

TINJAUAN BIAYA PRODUKSI
PENGUNAAN AKSELERATOR
ELEKTRON ENERGI RENDAH UNTUK
PROSES PENGERINGAN SECARA
RADIASI

Sugiarto Danu

L. (P. 10. 10. 2000)

TINJAUAN BIAYA PRODUKSI PENGGUNAAN AKSELERATOR ELEKTRON ENERGI RENDAH UNTUK PROSES PENGERINGAN SECARA RADIASI*

Sugiarto Danu**

ABSTRAK

Proses pengeringan (*curing*) menggunakan radiasi berkas elektron energi rendah telah diterapkan di berbagai industri terutama pelapisan permukaan berbagai substrat (kayu, logam, plastik dan kertas), pengeringan tinta cetak pada berbagai sistem percetakan, pembuatan perekat peka tekanan, dan di bidang elektronika misalnya pembuatan *printed circuit board* (PCB). Faktor terpenting yang menentukan perkembangan suatu proses dapat diterapkan dalam industri adalah biaya produksi. Pada proses pengeringan menggunakan radiasi berkas elektron, ada tiga hal yang ditinjau pengaruhnya terhadap besarnya biaya produksi, yaitu bahan kimia, akselerator elektron, dan kondisi inert. Hasil pengkajian menunjukkan bahwa ketiga faktor tersebut berperanan sangat besar terhadap tingginya biaya produksi. Dalam tulisan ini diuraikan pengaruh komponen proses produksi yaitu bahan kimia, akselerator elektron dan sistem inert terhadap biaya produksi suatu proses pengeringan menggunakan radiasi berkas elektron.

ABSTRACT

Curing process using electron beam radiation has been used in some industries especially in the surface coating of several substrates (woods, metal, plastics and papers), printing inks in printing systems, pressure sensitive adhesives, and electronics such as manufacturing of printed circuit board (PCB). The most important factor which determine the development of process to industrial scale is production cost. There are three main factors in an electron beam curing system affecting the production cost, i.e, radiation curable materials, electron accelerator, and inert system. Result of the study showed that those factors play an important role to the high production cost. This paper describes the effect of production process components i.e, chemicals, electron accelerator, and inert system to the production cost of electron beam radiation curing process.

*Dibawakan pada Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Akselerator III, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Yogyakarta, 21 Nopember 2000.
** PUSLITBANG Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

PENDAHULUAN

Keunggulan proses pengeringan menggunakan radiasi berkas elektron energi rendah (< 300 keV) dibandingkan dengan cara konvensional (katalisator) ialah tidak digunakannya pelarut yang mudah menguap atau panas, dan pengeringan berlangsung sangat cepat. Proses pengeringan dengan radiasi berkas elektron sangat cepat (beberapa detik) dibanding dengan radiasi ultra-violet (beberapa detik/menit) atau secara konvensional (beberapa menit/jam). Dengan demikian, teknik radiasi menghasilkan kapasitas produksi yang besar dan tidak mencemari lingkungan [1].

Sebuah survei yang dilakukan oleh Organisasi RadTech International North America, di Amerika Serikat [2], menunjukkan bahwa penjualan bahan kimia untuk proses pengeringan secara radiasi meningkat kira-kira 10 % per tahun selama sepuluh tahun terakhir. Hasil survei tersebut juga menunjukkan bahwa faktor terpenting yang menjadi motivasi responden menggunakan radiasi ultra violet (UV) atau berkas elektron ialah : faktor lingkungan yaitu pengurangan emisi pelarut (89 %), pengeringan yang cepat sehingga menghasilkan produktivitas yang tinggi (69 %), kualitas produk yang tinggi (52 %), dan biaya yang lebih rendah (28 %). Jadi, urutan motivasi penggunaan proses radiasi terutama ialah faktor lingkungan, kemudian diikuti oleh produktivitas, kualitas produk dan biaya.

Di Indonesia, sebuah *pilot-plant* yang dirancang terutama untuk pelapisan permukaan papan kayu menggunakan radiasi berkas elektron telah dibangun di PUSLITBANG Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN, Pasar Jumat, Jakarta, pada tahun 1984. *Pilot-plant* ini dibangun untuk penelitian & pengembangan, pelatihan & demonstrasi, layanan iradiasi, serta pengkajian segi teknik dan ekonomi proses pelapisan menggunakan radiasi [3]. Dari hasil pengkajian baik dari segi teknik maupun ekonomi menunjukkan bahwa

faktor ekonomi merupakan kendala utama penerapan teknologi radiasi di bidang industri di Indonesia.

Tulisan ini mengemukakan faktor biaya produksi penggunaan radiasi berkas elektron untuk proses pengeringan, dikaitkan dengan parameter yang berpengaruh terhadap proses produksinya, yaitu bahan kimia, akselerator elektron energi rendah, dan kondisi iradiasi. Di samping itu diberikan juga salah satu contoh estimasi biaya produksi suatu proses pelapisan permukaan kayu lapis menggunakan radiasi berkas elektron.

FAKTOR BIAYA PRODUKSI

Tinjauan Umum

Biaya produksi ialah biaya yang diperlukan untuk menghasilkan suatu produk tertentu. Untuk mengetahui besarnya biaya produksi, diperlukan perhitungan modal, biaya manufaktur dan pengeluaran umum. Biaya produksi tiap satuan waktu merupakan hasil bagi total biaya produksi tahunan dengan kapasitas produksi tiap tahun. Total biaya produksi ialah jumlah biaya manufaktur dan biaya pengeluaran umum. Modal tetap terdiri dari biaya langsung (*direct costs*) dan biaya tidak langsung (*indirect costs*).

Modal Tetap. Modal tetap ialah modal yang diperlukan untuk membangun fasilitas produksi dan pembantunya. Modal tetap dapat dirinci sebagai berikut [4].

I. Biaya langsung

Biaya langsung terdiri dari : tanah dan penyiapan, bangunan, fasilitas layanan, peralatan (termasuk instalasi, instrumentasi dan peralatan listrik penunjang)

II. Biaya tidak langsung

Biaya tidak langsung terdiri dari : teknik dan supervisi, biaya konstruksi & jasa kontraktor, dan kontingensi

Modal kerja. Modal kerja merupakan modal yang diperlukan untuk menjalankan suatu proses produksi. Modal kerja terdiri dari sediaan bahan baku, sediaan proses, dan sediaan produk [5].

Biaya manufaktur. Biaya manufaktur merupakan jumlah dari biaya produksi langsung, biaya produksi tidak langsung dan biaya *overhead*.

I. Biaya produksi langsung

Biaya produksi langsung terdiri dari : bahan baku & pembantu, gaji & upah, utilitas, perawatan dan perbaikan, bahan pembantu operasi, laboratorium, dan paten & royalti

II. Biaya tetap

Biaya tetap terdiri dari : penyusutan, pajak, dan asuransi

III. Biaya *overhead*

Pengeluaran Umum. Pengeluaran umum terdiri dari : biaya administrasi, biaya distribusi, biaya riset dan pengembangan, serta keuangan / bunga bank.

Biaya Produksi. Total biaya produksi/tahun merupakan jumlah biaya manufaktur/tahun dan pengeluaran umum/tahun.

$$\frac{\text{Biaya produksi}}{\text{Satuan produk}} = \frac{\text{Biaya manufaktur / tahun} + \text{Pengeluaran umum / tahun}}{\text{Kapasitas produksi / tahun}} \dots 1$$

Persamaan 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi biaya manufaktur dan pengeluaran umum, semakin tinggi biaya produksi. Semakin rendah kapasitas produksi, semakin tinggi biaya produksi. Jika ditinjau komponen biaya manufaktur yang termasuk dalam biaya produksi langsung dan tergantung pada modal tetap adalah perawatan & perbaikan, dan operating supplies. Komponen biaya yang termasuk biaya tetap dan tergantung pada

kerja yang diperlukan akan menjadi besar karena tingginya biaya untuk sediaan bahan baku. Perkembangan penelitian untuk mendapat bahan kimia yang lebih reaktif dan murah akan dapat menurunkan biaya produksi.

Akselerator elektron. Unjuk kerja alat ditentukan oleh tiga parameter yaitu, tegangan alat, arus berkas elektron dan dosis iradiasi. Tegangan alat dinyatakan dalam kV, menentukan ketebalan bahan yang dapat ditembus oleh elektron. Oleh sebab itu, tebal bahan yang diiradiasi menentukan pemilihan tegangan operasi alat yang dibutuhkan. Dosis yang diterima tergantung pada laju dosis (*dose rate*), yaitu jumlah elektron yang diserap bahan kimia tiap satuan waktu. Laju dosis ditentukan oleh arus berkas alat dinyatakan dalam mA. Semakin tinggi arus berkas, semakin tinggi laju dosis, dan semakin tinggi dosis keseluruhan yang diserap (pada kecepatan linier tertentu). Hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut [1].

$$\text{Laju dosis} \propto \text{ arus berkas (mA)} \dots\dots\dots 2$$

$$\text{Dosis} \propto \frac{\text{Laju dosis}}{\text{Kecepatan linier}} \dots\dots\dots 3$$

$$\text{Dosis} \propto (\text{Laju dosis})^{0,4}$$

Dalam praktek, dosis yang diserap dapat dihitung dengan rumus :

$$D = K \times \frac{I}{V} \dots\dots\dots 4$$

Dengan notasi,

D = Dosis, Mrad

K = Konstanta alat (*Processor constant*)

I = Arus berkas, mA

V = Kecepatan linier

Tegangan yang tinggi akan memerlukan perisai radiasi dengan tebal 2,5 – 10 cm sebagai pelindung terhadap bahaya sinar-x [7]. Akselerator elektron energi rendah

biasanya sudah dilengkapi dengan bahan timbal (*shelf shielded*) yang konstruksinya berada di dalam kerangka baja. Timbal sebagai perisai radiasi merupakan bahan yang mahal sehingga harga peralatan menjadi mahal. Semakin tinggi tegangan, semakin mahal harga akselerator. Dalam perhitungan biaya produksi, harga akselerator merupakan salah satu komponen biaya langsung. Biaya instalasi, instrumentasi dan peralatan listrik yang terkait dengan alat, besarnya merupakan persentase dari harga alat. Pada umumnya semakin tinggi dan canggih harga alat, semakin tinggi biaya untuk instalasi, instrumentasi dan peralatan listrik lainnya. Komponen biaya tidak langsung yang besarnya tergantung pada biaya langsung adalah teknik dan supervisi serta biaya konstruksi dan jasa kontraktor, sedangkan kontingensi tergantung pada modal tetap. Sebagai contoh, Sebagai contoh, biaya untuk instrumentasi diperkirakan 6 – 30 % dari harga alat, sedangkan besarnya kontingensi 5 – 15 % dari modal tetap. Dengan demikian, harga alat yang tinggi akan menyebabkan tingginya biaya produksi. Dengan meninjau persamaan (1), biaya produksi dapat diturunkan dengan menurunkan biaya manufaktur dan / atau pengeluaran umum. Biaya manufaktur dipengaruhi oleh biaya tetap yang terdiri dari biaya untuk penyusutan, pajak, dan asuransi. Biaya tetap tidak tergantung pada kapasitas produksi. Besarnya biaya tetap ini merupakan persentase dari modal tetap. Biaya produksi pada kapasitas rendah lebih tinggi dibanding pada kapasitas tinggi. Oleh sebab itu, kapasitas produksi harus lebih besar dari titik impas (*break even point*). Selain itu biaya produksi dapat diturunkan dengan meningkatkan kapasitas produksi. Semakin tinggi kapasitas produksi semakin tinggi biaya manufaktur dan pengeluaran umum. Yang perlu diperhatikan adalah bagaimana meningkatkan kapasitas produksi tanpa diikuti peningkatan biaya manufaktur dan pengeluaran umum secara proporsional. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan efisiensi terhadap proses produksinya.

Beberapa perusahaan telah berusaha untuk menghasilkan akselerator yang lebih rendah energinya, lebih murah, dan lebih efisien. Mesin berkas elektron dengan energi yang lebih rendah sangat cocok untuk proses *curing* di bidang percetakan, dimana lapisan tipis tebalnya hanya beberapa mikron. Salah satu mesin terbaru sudah diproduksi oleh Energy Science, Inc., Swiss, pada tahun 1998. Mesin tersebut mempunyai tegangan antara 80 dan 100 kV, lebar dari 90 sampai 165 cm, dan dapat dipakai untuk mengeringkan bahan pada dosis 20 kGy dengan kecepatan linier 300 m/menit. Harga akselerator ini 30 % lebih rendah dibanding akselerator dengan tegangan 150 kV [8]. Mesin berkas elektron tersebut dapat bersaing dengan penggunaan sumber radiasi UV dalam bidang percetakan.

Kondisi iradiasi. Pengeringan bahan ditentukan oleh kesempurnaan reaksi polimerisasi. Kesempurnaan reaksi polimerisasi sangat dipengaruhi oleh kondisi inert dalam ruang iradiasi. Adanya oksigen dari udara dalam ruang iradiasi akan menghambat proses pengeringan. Radikal yang terbentuk pada tahap reaksi inisiasi, maupun propagasi rantai, akan ditangkap oleh molekul-molekul oksigen, membentuk peroksida yang relatif stabil, karena oksigen merupakan penangkap radikal. Pada umumnya nitrogen merupakan salah satu gas yang dipakai untuk mengusir oksigen dari udara dalam ruang iradiasi. Dalam praktek, kandungan oksigen dalam nitrogen yang dialirkan dalam ruang iradiasi besarnya antara 50 dan 1000 ppm. Semakin tinggi kandungan oksigen, semakin tinggi dosis yang diperlukan, sehingga kecepatan liniernya harus diturunkan untuk mendapatkan pengeringan tertentu [9]. Akibatnya, kapasitas produksi menjadi rendah yang selanjutnya akan menaikkan biaya produksi. Kondisi inert memerlukan instalasi generator pembangkit nitrogen cair yang pada umumnya memerlukan investasi alat dan kebutuhan energi listrik yang tinggi. Investasi generator nitrogen akan termasuk peralatan dan merupakan komponen biaya langsung seperti halnya akselerator. Selain itu, penggunaan

nitrogen juga termasuk dalam komponen biaya produksi langsung yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap biaya manufaktur. Penggunaan nitrogen untuk mendapatkan sistem inert ini memberi kontribusi pada besarnya biaya produksi. Besarnya biaya untuk sistem inert ini (pengadaan nitrogen cair) dapat mencapai 10 % dari biaya produksi [10,11].

Berbagai pengembangan telah dilakukan untuk mendapatkan aliran gas nitrogen yang efisien. Perusahaan Nissin High Voltage, Jepang, telah melakukan berbagai efisiensi proses mulai dari penggunaan sirkulasi aliran nitrogen, sampai dengan penggunaan sistem pengendali aliran gas secara otomatis. Sistem tersebut dapat mengatur konsentrasi oksigen dalam gas inert walaupun kondisi operasi berubah, misalnya kecepatan konveyor dan / atau dosis [12]. Peralatan ini dapat secara efektif menghemat penggunaan gas inert.

Selain bahan kimia, alat, dan kondisi iradiasi, bentuk dan ukuran bahan yang diiradiasi juga menentukan biaya produksi. Semakin banyak energi berkas elektron yang dapat diserap bahan, semakin efisien suatu proses. Pancaran radiasi berkas elektron merupakan garis lurus, sehingga radiasi tersebut lebih cocok untuk produk berbentuk datar/rata misalnya panel, atau bahan yang dapat dibuat datar pada saat diiradiasi misalnya kertas, plastik dan lain-lain. Walaupun demikian, produk bentuk tiga dimensi dapat juga diproses dengan akselerator elektron dengan rancangan khusus menggunakan dua atau tiga akselerator sehingga memungkinkan seluruh permukaan produk tiga dimensi menerima dosis secara merata. Untuk maksud tersebut diperlukan jumlah akselerator yang lebih banyak sehingga memerlukan investasi modal yang lebih besar.

Contoh Perhitungan Biaya Produksi

Salah satu contoh perhitungan biaya produksi proses pelapisan permukaan jika menggunakan mesin berkas elektron yang lebih efisien (Energi 125 kV). Perhitungan

didasarkan pada 1 *shift* operasi tiap hari, dan 300 hari kerja tiap tahun dengan kapasitas produksi 3.6 juta lembar kayu lapis / tahun menggunakan bahan pelapis akrilat.

Tabel 1. Modal tetap (dalam juta rupiah) berdasarkan komponen biaya pada pelapisan kayu lapis menggunakan radiasi berkas elektron.

No.	Komponen biaya	
1.	Tanah dan penyiapan (6000 m ²)	300
2.	Bangunan pabrik dan kantor (4000 m ²)	4.500
3.	Mesin berkas elektron + instalasi (3 buah 125 kV)	15.000
4.	Alat proses & alat bantu + instalasi (2 mesin amplas + 5 pelapis tipe rol + 4 fork lift)	3.000
5.	Pembangkit listrik (400 kVA)	600
6.	Transformator	600
7.	Peralatan kantor + laboratorium	300
8.	Kendaraan	1.000
9.	Inklaring	100
		----- +
		25.400
	Kontingensi, 15 %	3.810
		----- +
	Jumlah	29.210

Modal tetap ~ Rp 30 milyar

Tabel 2. Modal kerja (dalam juta rupiah) untuk 1 bulan operasi

No.	Komponen biaya	
1.	Sediaan	
	a. Bahan baku	
	- Kayu lapis (300000 lembar)	
	Rp 20.000,-/lembar	6.000
	- Bahan pelapis (36 ton)	
	Rp 80.000,-/kg	2.880
	- N ₂ cair	50
	b. Produk	4.500
2.	Piutang dagang	4.500
3.	Dana tunai	900 +

		18.830
4.	Hutang dagang	9.000 -

	Jumlah	9.830

Modal kerja ~ Rp 10 milyar

Total modal yang diperlukan = Rp 30 milyar + Rp 10 milyar = Rp 40 milyar

Tabel 3. Rincian biaya manufaktur tahunan (dalam juta rupiah) pada kapasitas produksi 3,6 juta lembar/tahun.

No.	Komponen biaya	
1.	Bahan baku	
	a. Kayu lapis (3,6 juta lembar)	72.000
	b. Bahan pelapis (432 ton)	34.560.
	c. Bahan pembantu N ₂ cair	600
2.	Gaji dan upah	144
3.	Utilitas	300
4.	Perawatan & perbaikan (5 % modal tetap)	1.500
5.	Laboratorium (10 % dari gaji dan upah)	15
6.	Bahan pembantu operasi (10 % dari perawatan)	150
7.	Plant overhead (50 % dari gaji & upah + perawatan)	800
8.	Penyusutan a. Bangunan , 25 tahun.	200
	b. Alat, 10 tahun	450
9.	Pajak (1 % dari modal tetap)	300
10.	Asuransi (1 % dari modal tetap)	300 +
	Jumlah	111.319

Biaya manufaktur tahunan ~ Rp 112 milyar

Biaya manufaktur / lembar = Rp 31.111,-

~ Rp 32.000,-

Tabel 4. Rincian biaya pengeluaran umum tahunan (dalam juta rupiah)

No.	Komponen biaya	
1.	Administrasi (15 % dari gaji & upah + perawatan)	250
2.	Biaya penjualan (5 % dari biaya manufaktur tahunan)	5.000
3.	Keuangan (1 % dari total modal)	400 +
	Jumlah	5.650

Biaya pengeluaran umum tahunan ~ Rp 5,7 milyar

Total biaya produksi/tahun = Biaya manufaktur/tahun + Biaya pengeluaran umum/tahun

= Rp 117,7 milyar

Biaya produksi / lembar = Rp 32.700,-

Tabel 4. Modal, biaya manufaktur, biaya produksi dan biaya pelapisan permukaan kayu lapis. Kapasitas produksi : 3,6 juta lembar/tahun. Harga kayu lapis : Rp 20.000,- / lembar

Modal tetap (Rp milyar)	30
Modal kerja (Rp milyar)	10
Total modal (Rp milyar)	40
Biaya manufaktur (Rp / lembar)	32.000
Biaya produksi (Rp / lembar)	33.700
Biaya pelapisan (Rp/lembar)	13.700

Dengan dasar perhitungan yang sama yaitu dengan jumlah alat proses serta jjam operasi (*shift*) yang sama, dapat dibuat estimasi biaya produksi menggunakan metode konvensional (katalisator). Hasil perhitungan proses pelapisan menggunakan katalisator pada kapasitas produksi 300.000 lembar / tahun menunjukkan bahwa biaya produksinya agak lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan mesin berkas elektron.

Tabel 5. Modal, biaya manufaktur, biaya produksi dan biaya pelapisan permukaan kayu lapis. Kapasitas produksi : 300.000 lembar / tahun.

Modal tetap (Rp milyar)	10
Modal kerja (Rp milyar)	2
Total modal (Rp milyar)	12
Biaya manufaktur (Rp/lembar)	32.400
Biaya produksi (Rp / lembar)	34.000
Biaya pelapisan	14.000

Jika pabrik beroperasi lebih dari 1 *shift* , maka biaya produksi akan lebih rendah.

PERKEMBANGAN PENGGUNAAN AKSELERATOR ENERGI RENDAH.

Proses pengeringan dengan radiasi berkas elektron sangat cepat dan efisien sehingga hanya cocok untuk kapasitas produksi yang besar. Beberapa industri yang menggunakan akselerator elektron pada umumnya beroperasi pada kapasitas produksi yang besar.

Sebagai contoh, perusahaan Glanz Spa, di Italia, menghasilkan komponen mebel dengan kapasitas produksi 13.000 m²/hari. Perusahaan Bjelkes dari Swedia, mengerjakan pelapisan permukaan profil dari MDF (*medium density fibreboard*) dengan kapasitas produksi 30.000 m profil/hari menggunakan kombinasi radiasi UV dan berkas elektron [13].

Penggunaan akselerator energi rendah hanya berkembang di Amerika Serikat, Eropa Barat dan Jepang. Amerika Serikat, Jerman, dan Jepang merupakan negara-negara terkemuka penghasil akselerator dan bahan kimia untuk proses pengeringan secara radiasi. Penggunaan akselerator energi rendah secara komersial di Asia terutama dilakukan di Jepang, dan jumlahnya tidak begitu banyak walaupun Jepang merupakan produsen akselerator dan bahan kimia yang terkemuka. Demikian juga di negara lain misalnya Thailand, Korea dan Australia, dimana akselerator dipakai untuk pelapisan permukaan kertas, plastik, dan dalam bidang percetakan.

Di Indonesia, *pilot-plant* pelapisan permukaan papan kayu menggunakan radiasi berkas elektron (300 kV, 50 mA) yang dibangun di Pasar Jumat, Jakarta, pada tahun 1984, belum dapat mendorong kalangan industri terkait untuk menggunakan teknologi radiasi. Berbagai pengkajian baik dari segi teknik maupun ekonomi telah dilakukan. Dari hasil pengkajian tersebut dapat disimpulkan bahwa kendala utama sulitnya transfer teknologi penggunaan radiasi dalam bidang industri adalah faktor ekonomi. Salah satu perhitungan estimasi biaya telah dilakukan dengan membandingkan biaya pelapisan menggunakan proses radiasi berkas elektron dan konvensional (katalisator) pada permukaan papan kayu dengan bahan kimia poliester. Hasil estimasi biaya yang dilakukan pada tahun 1995 tersebut menunjukkan bahwa biaya pelapisan/lembar menggunakan radiasi besarnya

US \$ 1,51 sedangkan jika menggunakan proses konvensional besarnya US \$ 1,15 [14]. Tetapi jika menggunakan akselerator yang lebih efisien dengan kapasitas produksi yang lebih besar maka biaya produksi relatif lebih rendah seperti terlihat pada contoh perhitungan biaya produksi.

Proses produksi menggunakan radiasi memerlukan modal yang tinggi karena komponen utamanya yaitu bahan kimia dan peralatan mesin berkas elektron beserta suku cadangnya harus diimpor. Rendahnya nilai rupiah terhadap dollar Amerika terutama sejak krisis moneter pada bulan Juli 1997 menyebabkan tingginya harga barang impor [15]. Harga bahan kimia dan peralatan tersebut menyebabkan tingginya biaya produksi. Tingginya biaya produksi merupakan kendala utama penggunaan akselerator energi rendah di bidang industri, baik di Indonesia maupun di negara yang sedang berkembang lainnya. Oleh sebab itu, agar perusahaan memperoleh laba, maka proses produksi harus efisien, produk yang dihasilkan mempunyai nilai tambah tinggi dan orientasi pasar ditujukan untuk ekspor.

KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Biaya produksi pada penggunaan akselerator energi rendah untuk proses pengeringan secara radiasi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu harga bahan kimia, akselerator elektron, dan sistem inert. Biaya untuk ketiga faktor tersebut yang nilainya relatif tinggi pada umumnya menyebabkan tingginya biaya produksi.
2. Akselerator elektron energi rendah hanya cocok untuk kapasitas produksi yang besar dengan tujuan untuk memperkecil biaya produksi.
3. Hasil penelitian untuk mendapatkan bahan kimia yang lebih reaktif dan murah, perkembangan teknologi akselerator yang lebih kecil, kompak dan murah, serta sistem

inert yang lebih efisien akan mendorong meningkatnya penggunaan akselerator energi rendah dalam industri.

DAFTAR PUSTAKA

1. HOLMAN, R., and OLDRING, P., UV/EB Curing Formulation for Printing Inks Coatings & Paints, Selective Industrial Training Association Limited, London (1988).
2. LAWSON, K., "The Status of UV/EB curable products in North America - 1997", RadTech Europe'97 Proceeding, RadTech Europe, Lyon (1997) 19.
3. DANU, S., "Research and development of radiation curing of surface coating at CAIR-BATAN, Indonesia", RadTech Asia'91 Proceedings, RadTech Japan (1991) 65.
4. PETERS, M. S., and TIMMERHAUS, K. D., Plant Design and Economic for Chemical Engineers, Mc Graw Hill International Eds., Singapore-New York (1984).
5. SUTOJO, S., Studi Kelayakan Proyek, Pustaka Binaman Presindo, Jakarta (1986).
6. GOLDEN, R., "Overview and trends in radiation curing technology", Proceedings RadTech Europe'89, Florence (1989) 11.
7. THOMPSON, C. C., MALONE, H. F., BURGESS, P. G., LISANTI, T. F., MASIELO, M., and CLELAND, M. R., "A high current medium energi electron processing system with integral shielding", RadTech'90-North America Proceedings, Vol. 1, Chicago (1990) 53
8. LAUPPI, U. V., "Low voltage, 80 kV to 125 kV electron processors", RadTech Asia'99 Proceeding, Malaysian Institute for Nuclear Technology Research and Malaysian Nuclear Society, Kuala Lumpur (1999) 59.
9. QUINTAL, B. S., "Electron beam equipment - The next generation", RadTech'90-North America Proceedings, Vol. 1, Chicago (1990) 138.
10. DANU, S., Analisis ekonomi pelapisan lantai parket secara radiasi, Majalah BATAN XXII (1989) 37.
11. DANU, S., "Tinjauan ekonomi teknologi pelapisan permukaan dengan radiasi berkas elektron", Seminar Nas. Para Eksekutif Apl. Teknologi Pelapisan Permukaan Secara Radiasi Dalam Ind. 15 Maret 1990, Jakarta, tidak diterbitkan.
12. NISHIKIMI, T., TANIGUCHI, S., and MIZUSAWA, K., "Current status of low energy EB machine", RadTech Asia'99 Proceeding, Malaysian Institute for

Nuclear Technology Research and Malaysian Nuclear Society, Kuala Lumpur (1999) 71.

13. ANONYMOUS, Radiation curing in the news, RadTech Europe Newsletter, March (1992) 8.
14. RAZZAK, T. R., and DANU, S., "Some obstacles to bring the radiation curing technique to industrial sector", RadTech Asia'95 Symposium and Workshop Proceeding, Chulalongkorn University & Ministry of Science, Technology and Environment, Bangkok (1995) 119.
15. HILMY, N., and DANU, S., "UV/EB curing market in Indonesia", RadTech Asia'99 Proceeding, Malaysian Institute for Nuclear Technology Research and Malaysian Nuclear Society, Kuala Lumpur (1999) 457