

Preparasi Bahan Membran Sel Bahan Bakar: Pengaruh Matriks Film Terhadap Hasil Pencangkakan Dengan Teknik Iradiasi Awal

Yohan, Rifaid M. Nur, Lilik Hendrajaya dan E. S. Siradj

Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI, Pondokcina, Depok 16424

E-mail: ytiara@ristek.go.id, yohan_tiara@hotmail.com

Abstrak

Bahan membran sel bahan bakar dapat dibuat dengan teknik pencangkakan iradiasi awal. Mula-mula matriks film ETFE, film PTFE, dan film PTFE berikatan silang (PTFE(cl)) diiradiasi dengan sinar- γ pada variasi dosis total dari 2,5 sampai 12,5 kGy dan variasi laju dosis 1,9, 1,6, dan 1,3 kGy/jam. Kemudian film-film teriradiasi dicangkok menggunakan monomer stirena dalam berbagai pelarut, yaitu: etanol, 2-propanol, dan toluena dengan variasi konsentrasi dari 20 – 60% volume, variasi suhu pencangkakan dari 30 – 90°C, dan variasi waktu pencangkakan dari 2 – 12 jam. Diperoleh kondisi relatif baik untuk pencangkakan dengan radiasi yaitu pada laju dosis 1,9 kGy/jam, dosis total 10 kGy, pelarut 2-propanol, konsentrasi stirena 40% volume, suhu pencangkakan 70°C dan waktu pencangkakan 4 jam memberikan hasil pencangkakan ETFE-g-S = 46,69% berat, PTFE-g-S = 11,13% berat, dan PTFE(cl)-g-S = 31,07% berat.

Kata kunci: Pencangkakan iradiasi awal, sel bahan bakar, film ETFE dan film PTFE.

Abstract

Membrane of fuel cell has been prepared by grafted pre-irradiation. Matrix of ETFE, PTFE, and cross-linked PTFE (PTFE(cl)) films have been irradiated by γ -ray at various total dose from 2.5 – 12.5 kGy and various dose rate at 1.9, 1.6, and 1.3 kGy/hour. Irradiated films are then grafted by styrene monomer in various solvent: ethanol, 2-propanol, and toluene with various concentration from 20 – 60% volume, various grafting temperature from 30 – 90°C, and various grafting time from 2 – 12 hours. Obtained the good relative condition to grafted pre-irradiation such as using 1.9 kGy/hour dose rate, 10 kGy total dose, 2-propanol solvent, 40% volume styrene, 4 hours grafting time, and 70°C grafting temperature gave percent of grafting ETFE-g-S = 46.69% weight, PTFE-g-S = 11.13% weight, dan PTFE(cl)-g-S = 31.07% weight.

Keywords: Grafted pre-irradiation, fuel cell, ETFE film and PTFE film.

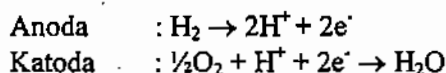
1. Pendahuluan

Pencangkakan secara radiasi adalah salah satu metode untuk memodifikasi bahan-bahan polimer. Metode ini telah banyak digunakan misalnya untuk menyiapkan membran selektif penukar ion [1], membuat bahan elastomer [2], mengembangkan polimer yang ramah lingkungan [3], dan pengujian proses pembuatan membran penukar ion. Pada teknik ini radiasi seperti sinar- γ diperlukan sebagai suatu penginisiasi terjadinya proses polimerisasi. Pencangkakan dilakukan setelah polimer diiradiasi (pencangkakan iradiasi awal) [4],

[5]. Agar terjadi reaksi kimia antara bagian aktif polimer dan monomer maka pencangkakan metoda iradiasi dilakukan dalam suasana vakum [6] atau jenuh gas nitrogen [7].

Mekanisme reaksi kopolimerisasi meliputi tahap-tahap inisiasi, propagasi, dan terminasi [5], [8]. Pada pencangkakan secara radiasi, inisiasinya adalah radikal yang dihasilkan dari proses iradiasi polimer. Radikal polimer yang terbentuk pada tahap propagasi akan bereaksi dengan suatu matriks/monomer. Selanjutnya pada tahap terminasi aktivitas pertumbuhan polimer akan terhenti.

Bahan membran polimer yang akan dibuat merupakan komponen yang sangat penting dalam sel bahan bakar berjenis *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) mengingat peran komponen ini dalam menahan umpan (gas H_2) dan menjadi sarana transportasi ion hidrogen yang dihasilkan oleh reaksi anoda menuju katoda sehingga reaksi katoda yang menghasilkan energi listrik dapat terjadi [9]. Persamaan reaksi yang terjadi di anoda dan katoda dapat dituliskan sebagai berikut:



Saat ini membran yang digunakan terbuat dari fluoro-polimer, yaitu politetrafluoroetilena (PTFE), dengan rantai cabang mengandung gugus asam sulfonat dan dikenal dengan nama dagang *Nafion*[®] [10]. Kemampuan *Nafion*[®] untuk menahan umpan dan menghantar proton sudah terbukti sangat efisien. Namun, untuk mengembangkan PEMFC lebih lanjut, penggunaan terhadap bahan ini secara tekno-ekonomi menjadi kendala karena mahal dan secara teknis bahan ini masih kurang sempurna dalam hal menahan gas dan belum dapat mencegah *fuel cross-over* secara baik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang mendasar dan sistematis guna mendapatkan membran alternatif yang di satu sisi mempunyai efisiensi pemisahan yang tinggi dan di sisi lain lebih ekonomis.

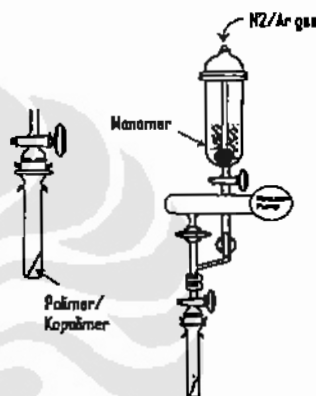
Pada penelitian ini dikembangkan teknik pencangkakan secara radiasi awal menggunakan film kopolimer polietilena-tetrafluoroetilena (ETFE), film PTFE, dan film PTFE sesudah perlakuan (PTFE(cl)). Yang dimaksud film PTFE sesudah perlakuan adalah film PTFE yang telah dikondisikan dengan meradiasi film tersebut menggunakan sinar- γ berdosisi 60 kGy dan suhu 340°C. Maksud pengkondisian film adalah agar film berikatan silang. Membran yang akan dihasilkan diharapkan mempunyai sifat daya hantar proton yang lebih baik sehingga dapat memperbaiki sifat *fuel cross-over* pada *Nafion*[®]. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh matriks film terhadap hasil pencangkakan pada berbagai laju dan dosis radiasi, jenis

dan konsentrasi pelarut, serta suhu dan waktu pencangkakan.

2. Metoda Eksperimental

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk proses pencangkakan secara radiasi adalah gelas cuplikan dan alat vakum gelas yang didesain secara khusus (Gambar 1), pompa vakum, *vacuum controller*, penangas air, tabung gas nitrogen dan *flowmeter*nya, oven, neraca analitik, seperangkat peralatan refluks, dan iradiator panorama serbaguna-BATAN dengan aktivitas 13,9 kCi pada 15 Februari 2005.



Gambar 1.
Gelas Cuplikan dan Alat Vakum Gas

Bahan yang dipakai adalah film ETFE, film PTFE, dan film PTFE(cl), masing-masing mempunyai ketebalan 50 μ m buatan Chukoh Jepang. Stirena, 2-propanol, etanol, toluena, kloroform masing-masing buatan Merck, dan gas N_2 dengan kemurnian tinggi.

2.2. Preparasi Bahan Membran

Sebelum diiradiasi, cuplikan film ETFE, film PTFE, dan film PTFE(cl), masing-masing berukuran 5x6 cm diekstraksi 12 jam dengan etanol lalu dikeringkan dalam oven hingga diperoleh berat konstan. Cuplikan divakumkan kemudian dialiri dengan gas nitrogen. Selanjutnya cuplikan diiradiasi dengan laju dosis 1,9 kGy/jam dan dosis total bervariasi dari 2,5 sampai 12,5 kGy. Setelah itu cuplikan yang telah diiradiasi divakumkan kembali dan ditambahkan larutan stirena yang telah dialiri gas nitrogen kemudian dicangkok pada suhu 70°C selama

4 jam. Percobaan diulangi untuk laju dosis 1,6 kGy/jam dan 1,3 kGy/jam. Hasil optimasi dari percobaan variasi dosis total dan variasi laju dosis digunakan untuk mengulangi percobaan dengan variasi jenis dan konsentrasi pelarut, kemudian variasi suhu dan waktu pencangkakan.

Cuplikan tercangkak stirena diekstraksi dengan kloroform dan selanjutnya dikeringkan hingga diperoleh berat konstan. Persen pencangkakan (PP) dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$PP = \frac{m_c - m_a}{m_a} \times 100\% \quad (1)$$

di mana m_a adalah massa film mula-mula dan m_c adalah massa film tercangkak.

2.3. Karakterisasi Membran

Gugus fungsi film tercangkak diuji dengan FTIR-410 buatan JASCO, kekuatan tarik film diuji dengan ASTM D-1822-L menggunakan Strograph-R-1 buatan Toyosekti, dan topografi permukaannya diuji dengan SEM JSM-840A buatan JEOL.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Laju dan Dosis Total Radiasi

Pengaruh laju dan dosis total radiasi terhadap persen pencangkakan film ETFE (ETFE-g-S) dan film PTFE (PTFE-g-S dan PTFE(cl)-g-S) ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat bahwa pada semua laju dosis, persen pencangkakan ETFE-g-S, PTFE-g-S, dan PTFE(cl)-g-S semakin meningkat dengan semakin besarnya dosis total radiasi yang diberikan. Hal ini dimungkinkan mengingat dengan semakin besarnya dosis radiasi maka jumlah radikal bebas yang akan terbentuk menjadi semakin banyak. Akibatnya reaksi kopolimerisasi dengan monomer menjadi semakin tinggi.

Pada setiap laju dan dosis total radiasi persen pencangkakan ETFE-g-S relatif lebih tinggi dibandingkan PTFE-g-S dan PTFE(cl)-g-S. Hal ini disebabkan oleh struktur film ETFE yang lebih bersifat kristalin akibat adanya ikatan $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ pada ikatan inti $-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$. Adanya ikatan $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ lebih memungkinkan struktur film ETFE untuk lebih mudah

berinteraksi dengan penginisiasi menghasilkan radikal bebas. Kristalinitas film ETFE masih ada 6% setelah proses pencangkakan sedangkan film PTFE berubah semua menjadi bentuk amorf [7].

Sementara itu persen pencangkakan PTFE(cl)-g-S relatif lebih tinggi dibandingkan PTFE-g-S. Hal ini diperkirakan karena struktur film PTFE(cl) telah mempunyai ikatan-ikatan silang akibat pengkondisian sebelum dilakukan proses pencangkakan. Pengkondisian yang dimaksud adalah proses iradiasi pada dosis 60 kGy dan suhu 340°C. Menurut Sun [11], pengkondisian film PTFE dapat menyebabkan proses pelelehan kristal yang ada yang disusul kemudian dengan pembentukan amorf dan selanjutnya oleh radiasi terbentuk ikatan-ikatan silang. Adanya ikatan silang memungkinkan lebih banyak radikal bebas yang terbentuk yang berakibat pada semakin tingginya persen pencangkakan. Semakin banyak ikatan silang maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya pencangkakan monomer.

Berbeda dengan PTFE-g-S dan PTFE(cl)-g-S, maka pada semua laju dosis yang digunakan, kenaikan persen pencangkakan ETFE-g-S sangat proporsional dengan dosis radiasi yang diberikan. Hal ini lebih tampak pada pemberian dosis radiasi mulai dari 2,5 hingga 10 kGy. Sedangkan setelah 10 kGy peningkatan persen pencangkakannya menjadi kurang proporsional.

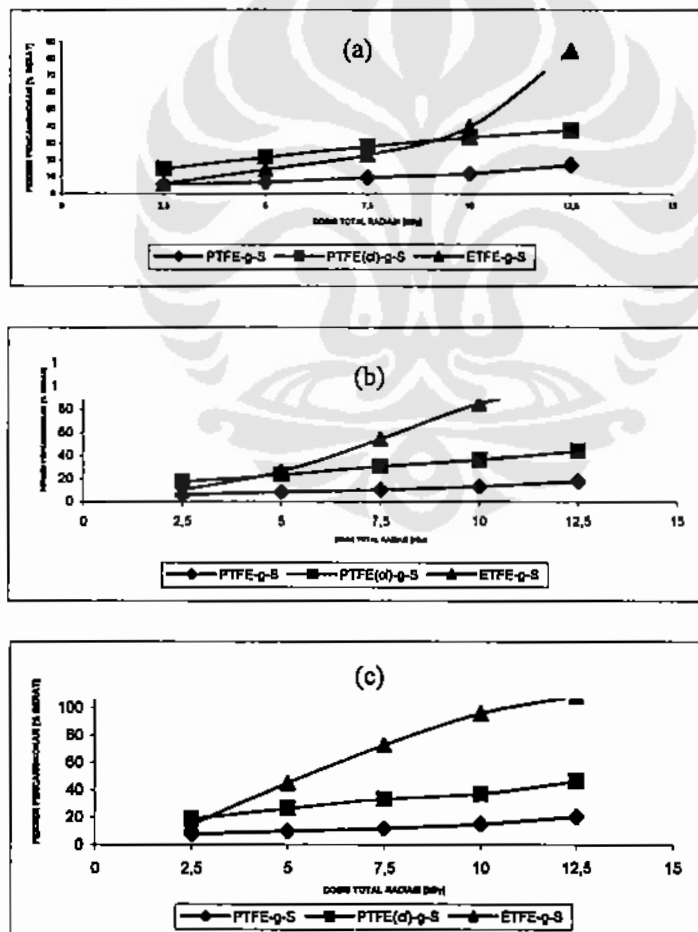
Berbeda dengan PTFE-g-S dan PTFE(cl)-g-S, maka pada semua laju dosis yang digunakan, kenaikan persen pencangkakan ETFE-g-S sangat proporsional dengan dosis radiasi yang diberikan. Hal ini lebih tampak pada pemberian dosis radiasi mulai dari 2,5 hingga 10 kGy. Sedangkan setelah 10 kGy peningkatan persen pencangkakannya menjadi kurang proporsional.

Untuk jumlah dosis total radiasi yang sama, semakin kecil laju dosis yang digunakan akan menghasilkan persen pencangkakan yang semakin besar. Hal ini

dimungkinkan karena pada laju dosis yang kecil akan lebih banyak waktu yang digunakan sinar- γ untuk membuka rantai ikatan, akibatnya jumlah radikal bebas yang terbentuk akan lebih banyak. Bila dosis total dinaikkan hingga melampaui dosis total 12,5 kGy diperkirakan persen pencangkakan-nya pun akan semakin meningkat. Namun kenaikan dosis total di atas 12,5 kGy pada penelitian ini tidak diperlukan mengingat film tercangkok yang diperoleh diharapkan tidak menyebabkan penurunan sifat-sifat mekanik yang sangat drastis. Peningkatan dosis total radiasi dapat menurunkan kekuatan tarik [12]. Pencangkakan akan mencapai batas tertentu pada dosis yang lebih tinggi karena adanya rekombinasi antara radikal-radikal bebasnya [13]. Pada polimer semikristalin semacam ETFE dan

PTFE, dosis total yang tinggi akan menyebabkan peningkatan kristalinitas. Peningkatan kristalinitas akan menurunkan kecepatan difusi monomer pada film polimer.

Dengan mengingat bahwa pada reaksi pencangkakan pemberian dosis yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi radikal dan juga dengan memperhitungkan aspek ekonomi, waktu, dan kemungkinan buruk yang dapat terjadi bila dosis total terlalu tinggi maka untuk keperluan preparasi bahan membran ETFE-g-S, PTFE-g-S, dan PTFE(cl)-g-S selanjutnya hanya akan dipakai dosis total 10 kGy dan laju dosis 1,9 kGy/jam

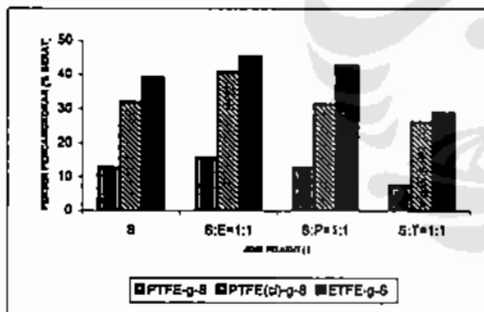


Gambar 2.

Pengaruh Laju dan Dosis Total Radiasi Terhadap Persen Pencangkakan (Kondisi Percobaan: Monomer Stirena 40% Volume, Pelarut 2-Propanol, Waktu Pencangkakan 4 jam dan Suhu Pencangkakan 70°C) (a) Laju Dosis 1,9 Kgy/jam, (b) Laju Dosis 1,6 kGy/jam (c) Laju Dosis 1,3 Kgy/jam

3.2. Pengaruh Jenis Pelarut

Difusi monomer ke dalam bagian aktif film polimer membutuhkan media pembawa, yaitu pelarut. Oleh karena itu, mobilitas media pelarut dalam membantu proses difusi merupakan salah satu faktor yang sangat penting. Gambar 3 memperlihatkan pengaruh jenis pelarut terhadap persen pencangkakan. Terlihat bahwa pada semua matriks film ternyata pelarut etanol (E) memberikan persen pencangkakan yang lebih tinggi dibandingkan pelarut lainnya. Setelah itu pelarut 2-propanol (P), dan terakhir pelarut toluena (T). Berarti kemampuan etanol dalam membawa stirena (S) ke bagian aktif matriks film jauh lebih tinggi dibandingkan dua pelarut lainnya. Hal ini dimungkinkan bila memperhatikan massa molekul relatif (M_r) dari masing-masing pelarut. Semakin ringan suatu material maka pergerakan material tersebut akan semakin cepat pula. Dibandingkan dengan 2-propanol ($M_r=60$) dan toluena ($M_r=92$), maka etanol ($M_r=46$) mempunyai mobilitas yang lebih tinggi lalu disusul dengan 2-propanol.



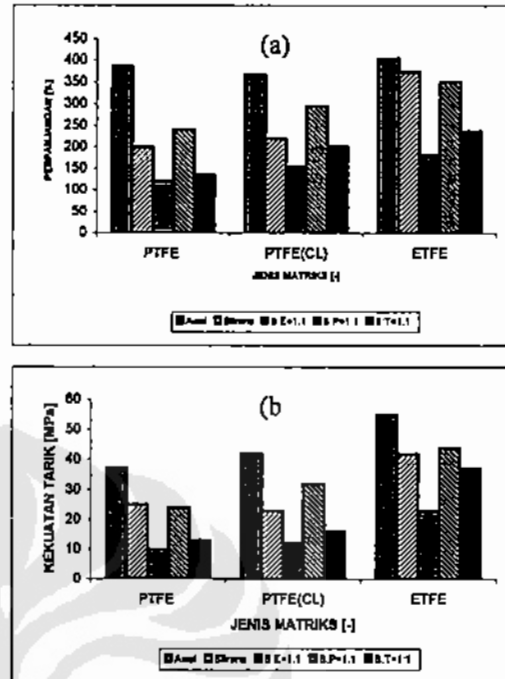
Gambar 3.

Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Persen Pencangkakan (Kondisi Percobaan: Dosis Total 10 kGy, Laju Dosis 1,9 kGy/jam, Waktu dan Suhu Pencangkakan Masing-masing 4 jam dan 70°C)

Meskipun etanol mempunyai mobilitas membawa monomer lebih tinggi dari pelarut 2-propanol dan toluena namun sifat-sifat mekanik sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4 jauh lebih buruk dibandingkan kedua lainnya. Dalam hal sifat-sifat mekanik, ternyata 2-propanol lebih baik.

Menurut Gambar 3 pada setiap jenis pelarut yang digunakan ternyata ETFE-g-S

mempunyai persen pencangkakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Kemudian disusul dengan PTFE(Cl)-g-S.



Gambar 4.

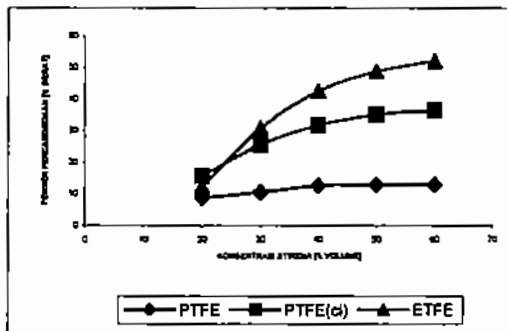
Pengaruh Matriks Film Terhadap Sifat-sifat Mekanik: (a) Kekuatan Tarik dan (b) Persen Perpanjangan

3.3. Pengaruh Konsentrasi Monomer

Salah satu aspek kinetika dan fenomena transfer yang paling berperan dalam metode pencangkakan dengan inisiasi radiasi adalah konsentrasi monomer. Pengaruh konsentrasi monomer terhadap persen pencangkakan diperlihatkan pada Gambar 5. Tampak dengan jelas bahwa pada setiap matriks film, persen pencangkakan meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi monomer. Konsentrasi monomer memberi pengaruh pada persen pencangkakan karena berkaitan dengan difusibilitas monomer atau kemampuan monomer berdifusi ke dalam matriks film. Difusibilitas monomer akan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi monomer.

Pada Gambar 5 dapat dilihat pula bahwa persen pencangkakan terus naik sampai dicapai titik optimumnya pada konsentrasi

stirena 40% volume. Pada konsentrasi di atas 40% volume terjadi persen pencangkakan yang relatif konstan. Hal ini disebabkan adanya pengaruh viskositas dan meningkatnya laju homopolimerisasi.



Gambar 5.

Pengaruh Konsentrasi Pelarut Terhadap Persen Pencangkakan (Kondisi Percobaan: Dosis Total 10 kGy, Laju Dosis 1,9 kGy/jam, Waktu dan Suhu Pencangkakan Masing-masing 4 jam dan 70°C)

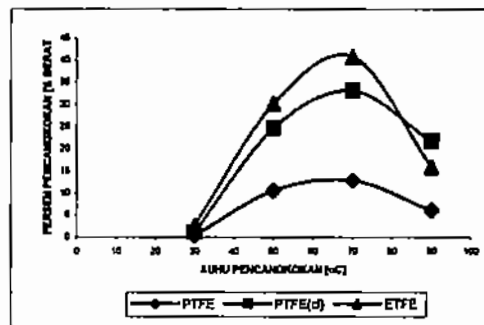
Homopolimerisasi adalah peristiwa polimerisasi monomer dengan monomer sejenisnya. Tingginya kadar homopolimer sangat berpengaruh pada konsentrasi monomer dan terhadap kemampuan monomer untuk menembus matriks film polimer. Perbedaan konsentrasi memberikan perbedaan hasil pencangkakan. Konsentrasi monomer sangat tergantung pada berbagai faktor, di antaranya jenis pelarut monomer, bahan polimer induk, dan dosis total.

3.4. Pengaruh Suhu Pencangkakan

Aspek lain yang berkaitan erat dengan kinetika proses pencangkakan adalah suhu pencangkakan. Pada penelitian ini dipelajari variasi suhu pencangkakan dari 30°C sampai 90°C. Sebagaimana terlihat pada Gambar 6 persen pencangkakan meningkat dari suhu 30°C hingga 70°C namun menurun kembali pada suhu 90°C.

Suhu pencangkakan memberikan pengaruh secara bersamaan terhadap kelarutan dan daya difusi, laju atau kecepatan propagasi, dan kecepatan terminasi rantai yang merupakan kontrol pada proses difusi monomer. Hal itu menunjukkan bahwa laju pencangkakan

dapat meningkat atau menurun tergantung pada dua parameter pertama. Sementara parameter ketiga menjadi tahap pengontrol laju pencangkakan. Dengan demikian, semakin tinggi suhu maka kecepatan terminasi akan semakin meningkat [4].



Gambar 6.

Pengaruh Suhu Pencangkakan Terhadap Persen Pencangkakan PTFE-g-S (Kondisi Percobaan: Monomer stirena 40% Volume, Pelarut 2-Propanol, Dosis Total 10 kGy, Laju Dosis 1,9 kGy/jam).

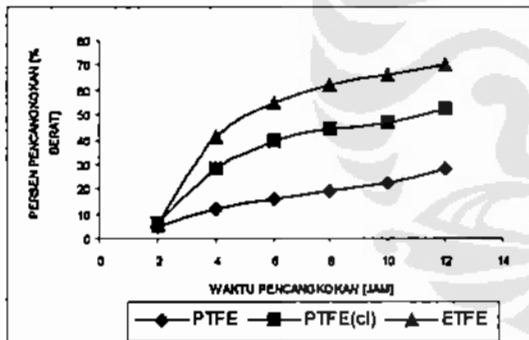
Kenaikan persen pencangkakan dari 30°C ke 70°C disebabkan pada suhu yang tinggi (akibat pemanasan), radikal bebas polimer akan bergerak lebih cepat sehingga reaksi rekombinasi antara radikal akan lebih cepat pula. Di samping itu, antara radikal polimer dan monomer terjadi reaksi aditif yang membentuk kopolimer cangkak yang cepat pula. Di antara peristiwa itu akan terjadi kompetisi.

Penurunan persen pencangkakan pada suhu 90°C dimungkinkan mengingat pada suhu 90°C terjadi rantai-rantai cabang polimer secara cepat pada tahap propagasi, tetapi kemudian cabang-cabang itu terjebak dalam medium viskos karena proses terminasi yang terlalu cepat juga. Bila terjadi difusi udara pada suhu 90°C maka terjadi gugus-gugus hidroperoksil yang meningkatkan homopolimerisasi dan pada suhu ini bagian-bagian polimer yang bersifat kristalin meleleh dalam medium reaksi.

3.5. Pengaruh Waktu Pencangkakan

Keleluasaan radikal bebas untuk bereaksi dengan monomer dan difusi monomer ke film polimer/kopolimer sangat

dipengaruhi oleh waktu. Pengaruh waktu pencangkakan terhadap persen pencangkakan diperlihatkan pada Gambar 7. Tampak bahwa pada berbagai kondisi matriks film, persen pencangkakan meningkat dengan semakin bertambahnya waktu pencangkakan. Pada waktu 4 jam pertama, terjadi kenaikan laju kopolimerisasi cangkak ETFE-g-S pada masing-masing suhu yang jauh lebih besar dibandingkan pada jam-jam berikutnya. Sementara untuk PTFE-g-S dan PTFE(cl)-g-S terjadi pada 6 jam pertama. Hal ini disebabkan radikal bebas masih lebih banyak dan lebih leluasa untuk bereaksi dengan monomer. Kecepatan reaksi propagasi pada jam-jam ini sangat tinggi, sementara laju pembentukan homopolimer masih kecil. Namun pada jam-jam berikutnya terlihat persen pencangkakan tidak sebesar penambahan sebelumnya. Hal ini dapat dimengerti mengingat jumlah radikal bebas yang semakin mengecil berakibat pada menurunnya laju propagasi.

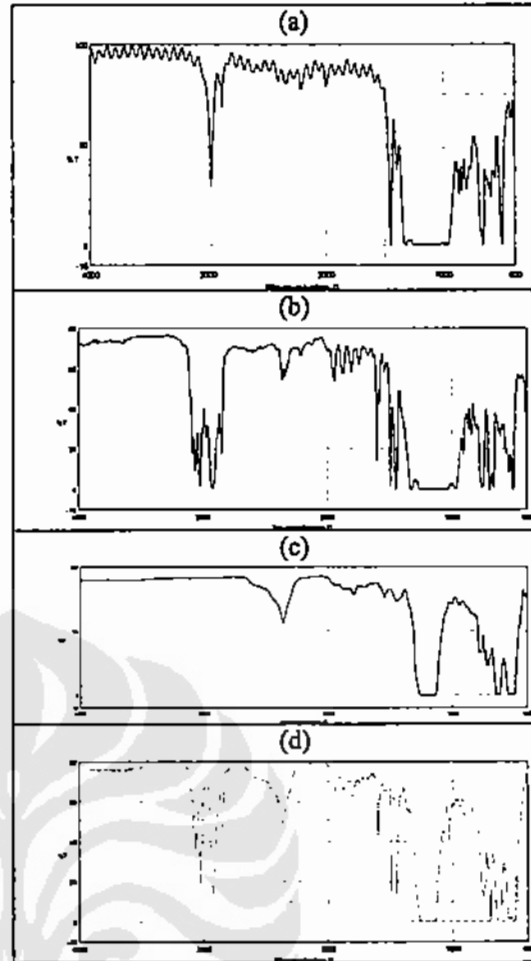


Gambar 7.

Pengaruh Waktu Pencangkakan Terhadap Persen Pencangkakan (Kondisi Percobaan: Monomer Stirena 40% Volume, Pelarut 2-Propanol, Dosis Total 10 kGy, Laju Dosis 1,9 kGy/jam)

3.6. Spektrum Serapan Sinar Inframerah

Spektrum serapan inframerah matriks film sebelum dan sesudah pencangkakan diperlihatkan pada Gambar 8. Terlihat bahwa pada daerah *finger print* spektrum film ETFE dan film PTFE/PTFE(cl) sama dengan spektrum film ETFE-g-S dan PTFE-g-S/PTFE(cl)-g-S. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencangkakan tidak sampai mengubah struktur asli dari matriks film.



Gambar 8.

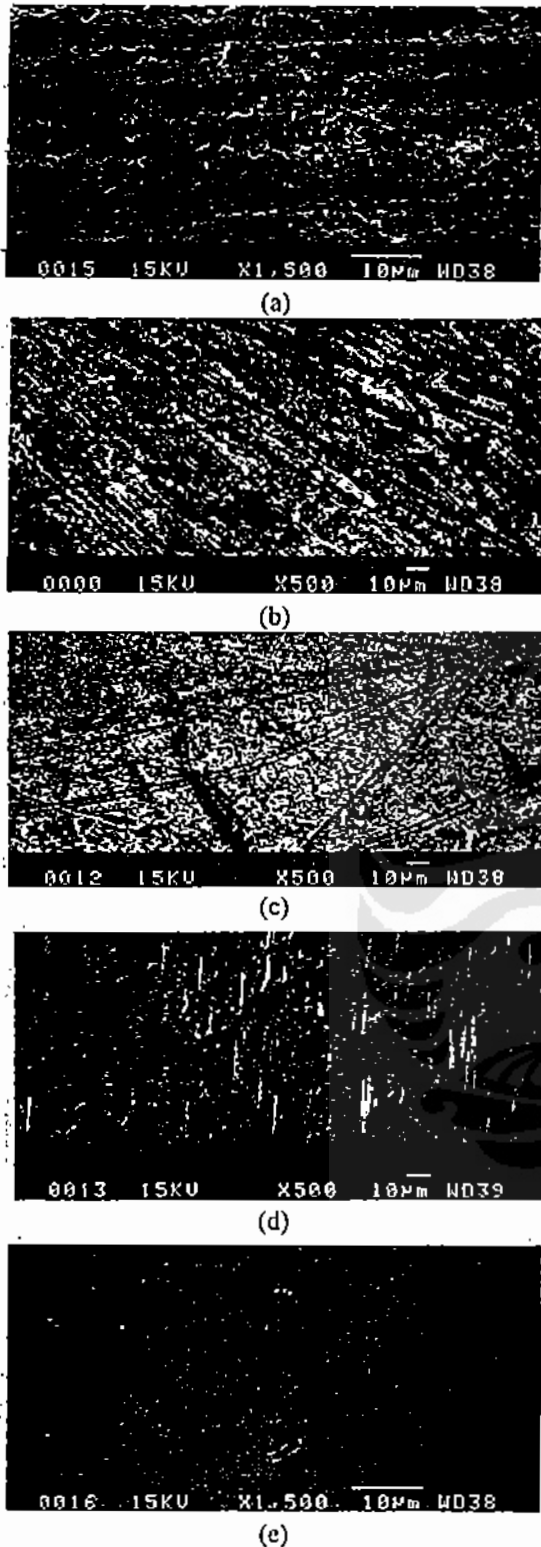
Spektrum Serapan Inframerah (a) Film ETFE Awal, (b) Film ETFE-g-S, (c) Film PTFE/PTFE(cl) Awal, dan (d) Film PTFE/PTFE(cl)-g-S

3.7. Topografi Permukaan

Perbedaan topografi permukaan antara matriks film sebelum dan sesudah dicangkak diperlihatkan pada Gambar 9. Terlihat bahwa matriks film tercangkak mempunyai permukaan yang lebih kasar dibanding matriks film mula-mula. Hal ini membuktikan bahwa proses pencangkakan monomer stirena telah terjadi pada film-film ETFE dan PTFE.

3.8. Distribusi Membran Tercangkak Pada Kondisi Optimum

Proses pencangkakan film-film PTFE, PTFE(cl), dan ETFE yang dilakukan pada kondisi optimum, yaitu dosis total radiasi 10 kGy, laju dosis 1,9 kGy/jam,



Gambar 9.

Topografi Permukaan Film (a) Film ETFE Sebelum dicangkok, (b) Film ETFE Setelah Dicangkok (ETFE-g-S), (c) Film PTFE Sebelum Dicangkok, (d) Film PTFE(c) Sebelum Dicangkok, (e) Film PTFE/PTFE(c) Setelah Dicangkok (PTFE-g-S/PTFE(c)-g-S)

Tabel 1.
Distribusi Persen Pencangkakan
ETFE-g-S, PTFE-g-S, dan PTFE(c)-g-S Pada
Kondisi Optimum

Matriks Film	Persen Pencangkakan
ETFE-g-S	50,60; 44,42; 42,63; 49,71; 48,98; 48,14; 39,98; 49,48; 43,73; 47,53; 47,26; 42,38; 42,37; 48,12; 46,86; 44,23; 40,89; 45,10; 43,24; 42,72; 45,11; 41,12; 36,04; 42,22; 54,13; 36,40; 43,05; 41,03; 47,20; 50,81; 50,02; 50,29; 36,35; 53,14; 35,84; 48,83; 41,68; 51,27; 46,74; 48,52; 48,90; 52,90; 42,78; 50,70; 51,68; 51,27; 41,78; 52,85; 48,98; 52,26; 50,73; 49,23; 46,74; 52,19; 48,23; 48,93; 41,54; 47,17; 45,20; 52,91; 40,33; 48,20; 45,22; 51,80; 47,06; 43,65; 49,20; 47,86; 48,92; 44,02; 48,92; 44,02; 50,46; 43,56; 49,66; 45,58; 50,13; 45,47; 49,59; 38,14; 44,27; 47,71; 49,27; 46,52; 49,43; 60,48
PTFE-g-S	8,31; 8,06; 8,95; 9,31; 9,17; 15,00; 8,92; 15,76; 7,32; 8,40; 7,77; 9,56; 9,21; 15,26; 9,24; 15,7; 8,92; 9,86; 7,75; 14,86; 9,58; 16,40; 9,07; 9,90; 9,11; 14,71; 8,62; 16,11; 6,71; 9,33; 8,82; 15,28; 8,99; 17,84; 9,18; 9,24; 8,72; 15,14; 8,24; 16,09; 9,30; 7,41; 9,31; 8,48; 9,01; 15,71; 8,80; 17,12; 8,32; 16,34; 9,48; 15,8; 9,06; 8,90; 8,87; 7,06; 8,55; 9,00; 18,01; 15,16; 27,92; 18,21; 3,16; 9,05
PTFE(c)-g-S	28,74; 29,64; 33,28; 32,99; 31,17; 28,35; 29,35; 29,50; 33,85; 33,11; 31,37; 29,18; 27,09; 31,92; 33,91; 31,38; 27,94; 28,94; 33,88; 33,27; 32,50; 25,91; 28,50; 32,87; 33,39; 30,48; 30,26; 28,65; 32,43; 33,76; 32,80; 28,70; 28,95; 32,60; 32,28; 31,95; 31,10; 26,90; 32,44; 33,19; 29,99; 31,75; 27,90; 32,81; 32,28; 33,10

pelarut 2-propanol, konsentrasi stirena 40% volume, suhu pencangkakan 70°C dan waktu pencangkakan 4 jam diperoleh distribusi hasil seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Terlihat bahwa distribusi persen pencangkakan ETFE-g-S adalah $46,69 \pm 4,59\%$, PTFE-g-S adalah $11,13 \pm 4,15\%$, dan PTFE(c)-g-S adalah $31,07 \pm 2,19\%$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian preparasi bahan membran sel bahan bakar yang telah

dilakukan maka pencangkakan monomer stirena pada film ETFE memberikan persen pencangkakan dan sifat-sifat mekanik yang relatif lebih baik dibandingkan dengan film PTFE dan film PTFE(cl)..

Proses pencangkakan yang dilakukan pada kondisi optimum diperoleh hasil pencangkakan ETFE-g-S = 46,69% berat, PTFE-g-S = 11,13% berat, dan PTFE(cl)-g-S = 31,07% berat.

Daftar Acuan

- [1]. E. A. Hegazy, H. A. Abd El-Rehim, H. A. Shawky, Investigations and Characterization of Radiation Grafted Copolymers for Possible Practical Use in Waste Water Treatment, *Radiation Physics and Chemistry*, 57 (2000), 85-95.
- [2]. S. Machi, O. Matsuda, M. Ito, Y. Tabata, J. Okamoto, Synthesis of a New Fluoroelastomer from Tetrafluoroethylene and Propylene by Radiation Processing, *Radiation Physics and Chemistry*, 9 (1997), 403-417.
- [3]. A. Hoffman, Environmentally Sensitive Polymers and Hydrogels: Smart Biomaterials, *MRS Bull XVI*, 9 (1991), 42-46.
- [4]. A. Charlesby, *Atomic Radiation and Polymers*, Pergamon Press, London, 1960, 556 pp.
- [5]. M. M. Nasef, E. A. Hegazy, Preparation and Applications of Ion Exchange Membranes by Radiation - Induced Graft Copolymerization of Polar Monomers onto Nonpolar Films, *Progress in Polymers Science*, 29 (2004), 499-561.
- [6]. Y. S. Subianto, K. Makuuchi, I. Ishigaki, Radiation Grafting of Hydrophilic Monomers onto Poly(4-Methylpentene-1): Grafting of Long Chain Monomers and Physical Properties of The Grafted Films, *Die Angewandte Makromolkulare Chemie*, 152 (1987), 159-168.
- [7]. N. Walsby, F. Sundholm, T. Kallio, G. Sundholm, Radiation-Grafted Ion Exchange Membranes: Influences of the Initial Matrix on The Synthesis and Structure, *J. Polym Sci part A: Polym Chem*, 39 (2001), 3008-3017.
- [8]. L. Carrette, K. A. Friedrich, U. Stimming, *Fuel Cell – Fundamentals and Applications, Fuel Cell I*, 1 (2001), 5-39.
- [9]. DuPont™, Product Information: Nafion® PFSA Membranes N-112, NE-1135, N-115, N-117, NE-1110, 2002.
- [10]. A. Chapiro, *Radiation Chemistry of Polymer*, Interscience Publishers, London, 1962, 712 pp.
- [11]. Sun J., Zhang Y., Zhong X., Zhang W., Studies on Radiation Crosslinking of Fluoro-polymers, *Radiation Physics and Chemistry*, 42 (1993), 139-142.
- [12]. M. Utama, Penempelan Campuran Monomer Akrilonitril Stirena pada Rayon Iradiasi, *Majalah BATAN Vol. XVII*, 2 (1986), 1-16.
- [13]. Hegazy, A., N. H. Taher, A. Rabie, M.A. Dessauki, J. Okamoto, Study on Radiation Grafting on Fluorine-Containing Polymer II, Properties of Membrane Obtained by Preirradiation Grafting onto Poly(tetrafluoroethylene), *Journal of Applied Polymer Science*, 26 (1981), John Wiley&Sons. Inc., 3872-3883.