

Perbaikan Sifat Fisika Kain Rayon Dengan Cara Kopolimerisasi Radiasi

Oleh : Sudirman Habiebie

INTISARI

Usaha perbaikan sifat fisika kain rayon viskosa telah banyak dilakukan misalnya dengan penganjiran, pemberian resin, pemasukan zat-zat pengisi dan lain-lain sehingga mengisi bagian arnorf serat. Proses ini dapat menambah ke kristalan serat sehingga sifat-sifat fisik dan kimianya berubah.

Usaha-usaha yang paling akhir dilakukan adalah proses pencakokan atau penempelan yang merupakan suatu pengikatan kimia antara suatu monomer/polimer dengan serat. Umumnya metoda yang dipakai adalah secara radiasi crosslinking dan kopolimerisasi tempel dengan menggunakan sinar gamma dari Co-60 atau dengan sinar elektron dari accelerator elektron.

Diantara proses tersebut banyak digunakan proses kombinasi antara radiasi dan thermal tidak dengan adanya udara (oksigen).

Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi dalam pengerjaan adalah pengaruh oksigen, kualitas dan kuantitas monomer yang dipakai, kondisi tekanan dan temperatur, dosis radiasi dan intensitas radiasi.

Proses finishing (penyempurnaan) dan modifikasi tekstil ini ditujukan untuk memperbaiki sifat-sifat permanent press, affinitas terhadap zat warna, anti statik, mudah dicuci, hidrofил dan hidrofob, tahan terhadap pemanasan dan tahan terhadap mikro organisme.

PENDAHULUAN

Rayon adalah serat buatan yang diperoleh dari regenerasi selulosa, dan telah dikembangkan sejak akhir abad 19. Hingga kini serat tersebut mempunyai peran penting di dalam industri tekstil dan mempunyai bidang pemakaian

yang luas baik untuk bahan pakaian, tekstil untuk keperluan rumah tangga dan tekstil untuk keperluan industri.

Di Indonesia, saat ini telah diproduksi serat rayon dengan kapasitas + 40.000 ton/tahun, namun bahan baku masih diimpor. Dengan adanya rencana pembangunan pabrik rayon terbesar di Asia Tenggara yang berlokasi di dekat Porsea Sumatra Utara dengan kapasitas + 150.000 ton pulp rayon/tahun, maka diharapkan Indonesia tidak akan mengimpor bahan baku rayon lagi.

Serat rayon yang pertama-tama ditemukan, mempunyai kelemahan-kelemahan terutama kekuatan basah yang rendah, "elastic recovery"-nya kurang baik (mudah kusut), absorpsi dan swellingnya terlalu tinggi.

Usaha-usaha untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan tersebut telah lama dilakukan antara lain dengan mengusahakan agar dalam pembuatan seratnya, derajat polimerisasinya tetap tinggi, pemberian penarikan (stretching) sebelum selulosa xantat diubah menjadi selulosa, memberikan struktur serat makro (makro fibrillar structure) dengan memperlambat koagulasi. Usaha-usaha lain yang dilakukan setelah menjadi serat adalah penganjarian, pemberian resin, pemasukan zat-zat pengisi dan lain-lain sehingga mengisi bagian amorf serat dapat menambah kekristalan serat sehingga sifat-sifat fisik dan kimianya berubah.

Usaha-usaha yang paling akhir dilakukan adalah proses pencangkakan atau penempelan yang merupakan suatu pengikatan kimia antara suatu monomer/polimer dengan serat utama sehingga struktur kimia dan sifat serat utama dapat pula berubah.

Proses penempelan ini dapat dikerjakan dengan berbagai jalan, antara lain dengan cara pemanas awetan (thermis), oksidasi dan reduksi (menggunakan senyawa-senyawa persulfat) maupun dengan cara radiasi.

Pada masa kini penerapan teknologi radiasi pengion dalam proses finishing dan modifikasi tekstil telah menjadi kenyataan komersil. Umumnya metoda yang dipakai adalah secara radiasi ikatan silang dan kopolimerisasi tempel dengan menggunakan sinar gamma dan Co-60 atau dengan sinar elektron yang dipercepat dari asselerator elektron.

Diantara proses tersebut banyak digunakan kombinasi proses radiasi dan thermal serta penambahan katalis, sedangkan teknik radiasi dilakukan secara simultan atau terpisah dengan atau tanpa udara (oksigen).

Proses penyempurnaan dan modifikasi tekstil ini ditujukan untuk memperbaiki sifat-sifat ketahanan kusut (permanent press), afinitas terhadap zat warna, anti statik, mudah dicuci, hidrofil atau hidrofob, tahan terhadap pemanasan dan tahan terhadap mikro organisme.

Faktor-faktor ekonomi dalam pemakaian teknik baru ini, juga mengenai pemilihan irradiasi sinar pengion perlu diteliti secara mendalam.

Berdasarkan uraian tersebut dapat dikatakan bahwa banyak usaha telah

dilakukan untuk menaikkan mutu serat rayon sehingga dengan mempertimbangkan faktor-faktor teknis dan ekonomis, dapat dipilih proses mana yang lebih efisien dan lebih sesuai dengan kondisi setempat.

Dalam pembahasan kali ini, penulis membahas mengenai perbaikan mutu kain rayon dengan penempelan monomer Normal Metilol Akrilamid dengan proses polimerisasi radiasi dan kondensasi. Monomer N-Metilol Akrilamid (NMA) dipilih karena selain mengandung gugus akrilamid yang mempunyai ikatan rangkap yang dapat berikatan dengan selulosa bila diproses secara kopolimerisasi radiasi, juga mengandung gugus metilol yang dapat mengikat serat rayon (selulosa) dengan proses pemanas awetan.

TEORI PENDEKATAN

A. Monomer N-Metilol Akrilamid

Kain rayon mampu bersaing dengan kain-kain lain sesudah dimodifikasi terutama peningkatan dalam sifat anti kusutnya. Modifikasi yang biasa dilakukan terdiri dari pengerjaan kain dengan senyawa kimia, yang paling sedikit mengandung 2 gugus fungsi didalam molekulnya, dan mampu bereaksi dengan gugus-gugus hidroksi dari rantai selulosa. Menurut pendapat umum yang dapat diterima, peningkatan sifat anti kusut terutama merupakan hasil reaksi senyawa-senyawa tersebut dengan selulosa dibagian amorf, yang menyebabkan ikatan-ikatan silang yang kompleks.

N-Metilol Akrilamid mengandung 2 gugus fungsi yang berbeda yaitu gugus-gugus vinil dan metilol. Dua gugus fungsi ini dapat bereaksi secara simultan atau dalam 2 tahap yang terpisah, tergantung kepada kondisi reaksi dan jenis katalis atau inisiator yang dipakai. Proses 2 tahap tersebut memberi kemungkinan menganalisa reaksi NMA dengan selulosa secara kuantitatif karena ada struktur ikatan silang. Reaksi gugus-gugus vinil dalam NMA juga dapat di inisiasi dengan radikal-radikal makro selulosa yang dibentuk oleh pengaruh radiasi pengion.

Kondensasi gugus metilol NMA dengan gugus OH dari selulosa dilakukan pada suhu yang relatif tinggi dengan adanya katalis asam sebelum atau sesudah radiasi.

Karena penyempurnaan kain-kain yang terbuat dari selulosa secara kimia radiasi menghasilkan sifat "wash and wear" (cuci pakai) yang baik maka proses ini terpakai pada Industri Tekstil. Dalam proses yang dijelaskan berikut terjadi reaksi yang menyebabkan terbentuknya ikatan silang diantara rantai-rantai selulosa, reaksi dapat juga terjadi sehubungan dengan reaktifitas gugus-gugus fungsional NMA sangat besar.

B. Kopolimerisasi Tempel Radiasi

Kopolimerisasi tempel radiasi yaitu suatu proses penempelan suatu monomer atau campuran dari monomer-monomer pada rantai polimer dengan radiasi-radiasi pengion sebagai inisiator. Pada dasarnya setiap proses kimia radiasi yang menyangkut molekul-molekul makro (polimer) dapat menghasilkan kopolimer tempel.

Dengan demikian dalam proses ini tidak diperlukan katalisator. Yang menentukan kecepatan penempelan dalam proses ini ialah kecepatan dosis dan dosis radiasi, efek temperatur dan kecepatan difusi monomer. Dasar reaksi adalah reaksi radikal bebas. Biasanya dosis radiasi yang dilakukan dalam reaksi penempelan sekitar 0,5 – 5 Mrad.

Dalam percobaan-percobaan yang telah dilakukan, bahwa proses tempel monomer NMA dengan cara kopolimerisasi addisi diperoleh dengan inisiator bebas sedangkan kopolimerisasi kondensasi diperoleh dengan pemanas awetan. Hal ini dapat dilakukan karena NMA selain mengandung gugus akrilamid yang mempunyai ikatan rangkap dan diproses secara kopolimerisasi radiasi, masih ada gugus metilol yang dapat mengikat serat rayon dengan proses pemanas awetan.

C. Penempelan Bahan-Bahan Tekstil Secara Radiasi.

Metoda penempelan bahan-bahan tekstil secara radiasi telah banyak yang diterapkan dalam industri dan telah banyak yang dipatentkan (Deering Milliken & Co; Cone Mills Corp, dan lain-lain). Metoda tempel ini dimaksudkan untuk mendapatkan modifikasi bahan tekstil dalam proses finishnya.

Dalam proses modifikasi tekstil antara lain untuk mendapatkan permanent press atau crease recovery yang lebih baik sedangkan dalam proses finishing antara lain untuk membuat permukaan bahan tekstil menjadi lebih hidrofил (energi permukaan serat tinggi) atau lebih hidrofob.

Dari perubahan permukaan itu dimaksudkan untuk menghasilkan sifat-sifat seperti:

1. Menahan merembesnya dan absorpsi minyak dan mudah dicuci dengan larutan deterjen.
2. Mudah dicuci terhadap pengotoran minyak.
3. Daya tolak air.
4. Membuat sifat-sifat anti statik.
5. Keenakan pemakaian.
6. Daya basah.
7. Reaktif terhadap zat kimia dan mempunyai daya celup.
8. Tahan terhadap mikro organisme.

Beberapa contoh dari proses tempel secara radiasi terhadap bahan tekstil yang terbuat dari rayon.

Tabel 1
Proses Tempel pada Kain Rayon

Monomer	Metoda radiasi	Tujuan Perbaikan Sifat
Stirene	Irradiasi pendahuluan (2 Mrad)	Modifikasi
Akrlonitril	Simultan	Permukaan
Etil Akrlilat	Irradiasi pendahuluan	Mekanik

D. Sumber Radiasi

Dikenal ada dua macam sumber radiasi pengion terutama yang digunakan dalam proses penempelan bahan baku tekstil secara radiasi. Yang pertama menggunakan sinar gamma yang dipancarkan oleh radio isotop Co-60 atau Cs-137. Sedangkan yang kedua dengan memakai sinar elektron yang dipercepat dari generator elektron atau asselerator elektron. Radio isotop Co-60 mempunyai energi sinar gamma 1,33 MeV dan 1,17 MeV, sedangkan Cs-137 memancarkan sinar gamma yang berenergi 0,666 MeV. Dari dua macam radio isotop itu, Co-60 lebih banyak digunakan, karena energinya lebih besar walaupun kapasitasnya kecil yaitu 0,0148 kw untuk tiap 1000 Ci (curie). Biasanya dalam skala industri diperlukan Co-60 yang beraktifitas lebih dari 200.000 Ci atau yang berkapasitas lebih dari 3 kw. Dari kapasitas 3 kw ini dapat diperoleh kecepatan dosis 1080 Mrad kg/jam.

Sumber radiasi yang kedua merupakan asselerator elektron. Asselerator ini pada umumnya mempunyai kapasitas sangat tinggi, sehingga kecepatan dosis radiasinya pun tinggi juga. Meskipun sinar elektron mempunyai energi yang tinggi akan tetapi karena elektron yang bermuatan listrik daya tembusnya relatif sangat kecil kalau dibandingkan dengan sinar gamma.

Untuk proses kopolimerisasi tempel tekstil, penggunaan asselerator elektron lebih menguntungkan, karena proses dapat berjalan secara differential continue, dan membutuhkan waktu lebih cepat, karena kapasitasnya sangat tinggi dan harganya relatif murah.

Untuk melakukan penelitian lebih mendalam dalam kopolimerisasi radiasi ini dapat digunakan fasilitas yang dimiliki Badan Tenaga Atom

Nasional, Pasar Jumat - Jakarta, menggunakan alat Irradiator Panorama Serba Guna (IRPASENA) dengan sumber radiasi gamma Co-60 berkekuatan $4,42 \times 10^4$ Ci.

PEMBAHASAN

A. Urutan Proses.

1. Persiapan.

Kain rayon yang telah mengalami proses penyempurnaan perlu diproses penghilangan kanji dan pemasakan untuk menghilangkan zat-zat yang nantinya dapat mengganggu dalam proses penempelan dengan N-Metilol Akrilamida. Resep penghilangan kanji rayon:

- Teepol : 2 cc /lt
- Milase : 4%
- Panas : 80°C
- Waktu : 1 jam

2. Proses benam-peras dengan Monomer Normal Metilol Akrilamida.

Resep pada benam-peras;

- Monomer NMA : 200 gr/lt
- Katalis Zn (NO₃)₂ : 20 gr/lt
- Zat pembasah (Tinovetin JU) : 2,5 gr/lt
- pH larutan : 6,5
- Faktor peras : 50%

3. Proses penempelan monomer NMA kedalam kain.

Pada tahap ini dibandingkan 3 macam teknik pengerjaan lihat gambar 1.

Teknik I. Kain rayon - Benam peras - Radiasi - Pencucian - Uji sifat kain.

Teknik II. Kain rayon - Benam peras - Radiasi - Pemanas awetan - Pencucian - Uji sifat.

Teknik III. Kain rayon - Benam peras - Pemanas awetan - Pencucian - Uji sifat kain.

4. Hasil pengujian.

Hasil percobaan dari ketiga macam teknik pengerjaan ini diuji terhadap:

- % tempel
- Kekuatan tarik kain
- Kekakuan kain
- Ketahanan kusut kain
- Kenampakan kain
- Mengkeret kain
- Uji kerusakan

Untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu pemanas awetan serta teknik proses dari hasil percobaan di atas, dilakukan analisa dengan uji F pada taraf = 0,05 (tabel anava).

Sebagai contoh diambil tabel hasil rata-rata pengujian sudut kusut kain.

Tabel 2
Hasil rata-rata pengujian sudut kusut kain arah lusi ($^{\circ}$)

Waktu (menit)	Teknik	Suhu pemanas awetan (padding) ($^{\circ}$ C)					
		27	75	90	105	120	135
	A	92					
	B	100					
1	C		98	109	112	115	116
	D		93	99	102	108	110
2	C		104	109	112	115	119
	D		93	104	104	109	112
3	C		104	111	113	116	122
	D		98	104	104	111	114
4	C		106	111	114	117	124
	D		98	105	106	112	116
5	C		107	111	115	117	135
	D		99	106	108	114	118

Tabel 3.
Hasil rata-rata pengujian sudut kusut kain arah pakan ($^{\circ}$)

Waktu (menit)	Teknik	Suhu pemanas awetan ($^{\circ}$ C)					
		27	75	90	105	120	135
	A	94					
	B	104					
1	C		99	104	107	114	118
	D		94	101	104	111	112
2	C		102	105	108	114	120
	D		100	103	107	112	118
3	C		102	107	108	116	122
	D		99	106	104	113	119

4	C	103	105	111	117	123
	D	99	103	106	113	120
5	C	103	106	113	117	135
	D	101	103	110	114	120

Keterangan :

- A : Sudut kusut kain awal arah lusi atau arah pakan.
 B : Sudut kusut kain setelah proses benam peras dengan monomer - radiasi.
 C : Sudut kusut kain setelah proses benam peras dengan monomer - radiasi - pemanas awetan.
 D : Sudut kusut kain setelah proses benam peras dengan monomer - pemanas awetan (padding).

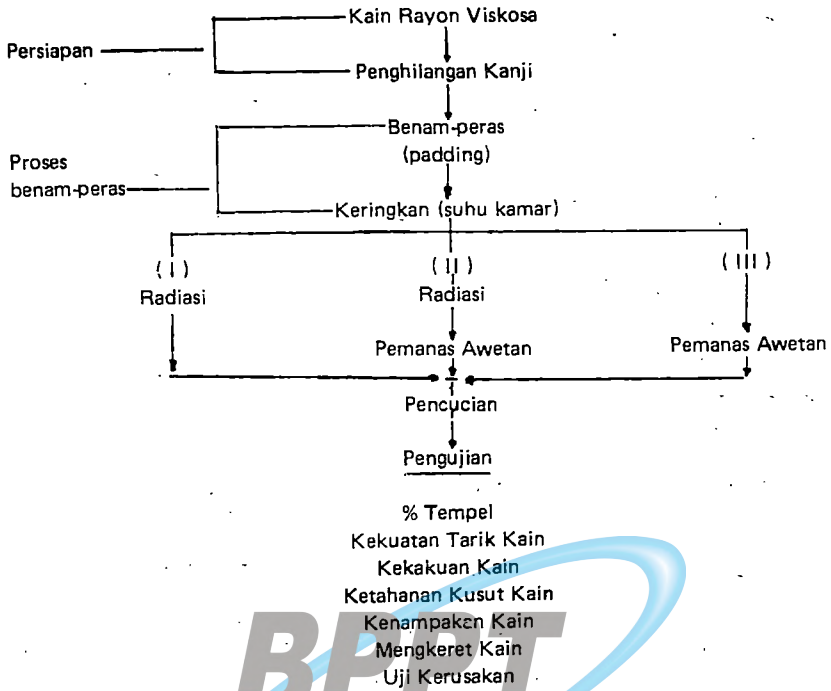
Penyempurnaan anti kusut dimaksudkan untuk mencakup kedua sifat yaitu kemampuan menahan pengaruh kekusutan dan kemampuan untuk mengembalikan dari kekusutan. Kemampuan menahan pengaruh kekusutan berpengaruh pada kekakuan (iregidity) sedang kemampuan untuk mengembalikan dari kekusutan dipengaruhi oleh elastisitas.

Molekul-molekul N-Metilol Akrilamida tersebut cukup kecil untuk memasuki serat selulosa. Di bawah pengaruh panas dan katalis, akan terjadi reaksi kimia baik selulosa maupun zat itu sendiri.

Penaikan sudut kusut terjadi karena adanya reaksi ikatan silang dan pengisian bagian-bagian amorf serat oleh monomer, yang menyebabkan rantai-rantai molekul selulosa lebih terikat satu sama lain dan serat menjadi lebih kaku. Adanya susunan serat yang lebih kompak mengurangi kecenderungan susunan-susunan serat untuk saling menggelincir, apabila mengalami tekanan atau lipatan serat akan lebih tahan terhadap kekusutan.

Dari hasil pengujian Tabel 2 & 3 menunjukkan bahwa kain yang diproses benam peras - radiasi - pemanas awetan (Teknik I), kenaikan sudut kusut sejalan dengan kenaikan suhu pemanas awetan, juga semakin lama waktu pemanas awetan menunjukkan kenaikan sudut kusut pula, baik untuk arah lusi maupun arah pakan.

Untuk kain arah lusi yang diproses benam peras - radiasi - pemanas awetan (Teknik I), kenaikan maksimum dicapai untuk suhu pemanas awetan 135°C dengan waktu 5 menit (sudut kusut = 135°) demikian pula untuk arah pakan (sudut kusut = $135,66^{\circ}$), sedangkan kain yang diproses benam peras - pemanas awetan (Teknik III) kenaikan maksimum dicapai untuk suhu pemanas awetan 135° dengan waktu 5 menit.

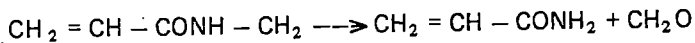


Gambar 1
Teknik Pengolahan Yang Digunakan

B. Reaksi yang terjadi dalam kain

1. Reaksi NMA di dalam larutan dan sewaktu pengeringan.

Di dalam larutan berair dari senyawa NMA terjadi reaksi kesetimbangan pemisahan formaldehid bebas. Kesetimbangan reaksi ini tergantung pada konsentrasi, pH dan suhu larutan. Gugus metilol NMA diubah menjadi formaldehid bebas menurut reaksi berikut:



N-Metilol Akrilamid

formaldehid

Pada suhu yang konstan tingkat kesetimbangan yang dicapai tidaklah berubah, meskipun untuk jangka waktu sebulan, juga pH yang baik untuk kesetimbangan reaksi adalah 6,5.

Bila serat/kain dimasukan ke dalam larutan berpenetrasi maka komponen-komponen dari larutan berpenetrasi ke dalam serat (terutama pada bagian-bagian amorf) selama pengeringan. Pada saat yang bersamaan terjadi perubahan konsentrasi NMA dan kadar formaldehid bebas dalam larutan sebelah dalam kain.

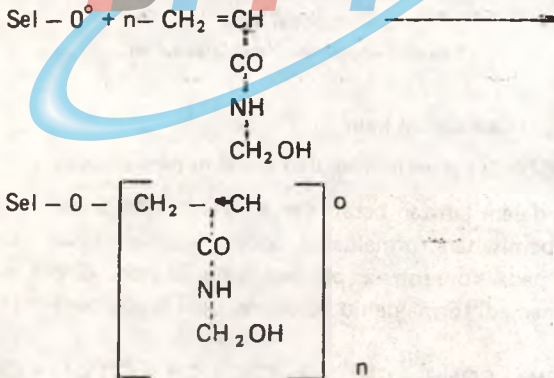
Dalam praktek di Industri, kain-kain pada umumnya dikeringkan pada suhu yang lebih tinggi sesudah dibenam peras (padding) namun demikian suhu pengeringan yang lebih tinggi akan meningkatkan de-kompensasi NMA.

2. Reaksi NMA didalam kain dibawah pengaruh radiasi.

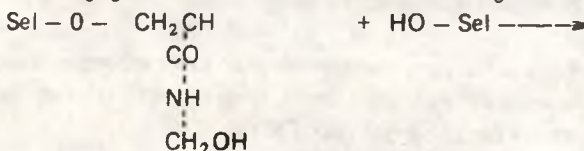
Radikal bebas karena radiasi dalam selulosa dapat memulai (inisiasi) polimerisasi NMA. Apabila pertumbuhan rantai dimulai oleh makro radikal selulosa, maka akan terbentuk suatu kopolimer tempel (graft copolymer). Sedangkan atom-atom H dan radikal-radikal kecil yang lainnya mengawali homopolimerisasi NMA (hal ini tidak dikehendaki karena akan mengganggu dalam proses reaksi kopolimerisasi). Perbedaan antara hasil kopolimer dengan homopolimer yang sangat besar kemungkinan disebabkan oleh kondisi percobaan yang tidak baik.

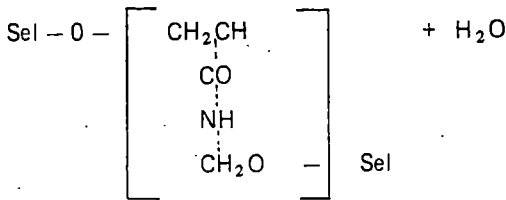
Reaksi-reaksi yang mungkin terjadi:

- a. Reaksi penempelan antara gugus vinil dengan selulosa



- b. Reaksi gugus metilol dari monomer NMA dengan Sel-OH

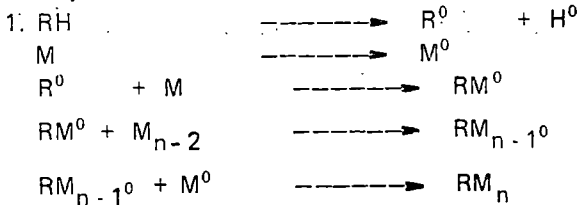




c. Reaksi yang mungkin terjadi pada proses radiasi.

Misalkan: Selulosa = RH

Monomer NMA = M



M merupakan lapisan maka kemungkinan reaksi (c2) kecil, sehingga diharapkan pada pencucian sudah dapat menghilangkan homopolimer.

Apabila dikehendaki hilangnya homopolimer secara sempurna dapat dilakukan ekstraksi dengan alkohol atau aseton.

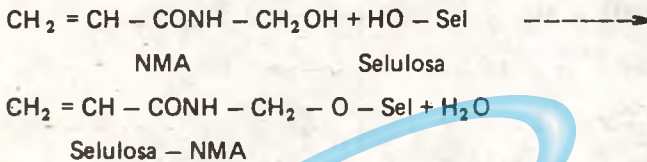
Apabila selulosa diikat silangkan (cross linked) maka ketahanannya akan meningkat karena bagian kain yang telah mengalami penyempurnaan akan menjadi lebih susah dicapai oleh penghidrolisa.

NMA yang membentuk kopolimer tempel dengan selulosa adalah sangat tahan terhadap hidrolisa, hal ini disebabkan adanya ikatan-ikatan karbon, yang pada kondisi tertentu tidak mengalami hidrolisa.

Dengan demikian penyempurnaan bahan selulosa dengan senyawa kimia NMA yang diradiasi akan menghasilkan bahan dengan sifat ketahanan terhadap berbagai senyawa kimia (asam dan basa) yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemakaian resin N-Dimetilol yang biasanya digunakan untuk proses tahan kusut.

3. Reaksi NMA didalam kain dibawah pengaruh panas.

Panas dapat menginisiasi reaksi-reaksi pada kedua gugus fungsional NMA, terutama bila ada katalis yang bersifat asam. Apabila NMA bersama-sama dengan katalis dimasukkan kedalam serat maka reaksi dibawah pengaruh panas yang terutama terjadi adalah kondensasi gugus-gugus metilol dengan gugus OH dari serat rayon menurut reaksi sebagai berikut:



Reaksi tersebut akan mencapai titik optimumnya pada waktu proses pemanasan awetan yang optimal.

Seperti telah dijelaskan dimuka bahwa gugus NMA di dalam larutan mengalami dekomposisi lebih lanjut dengan melepaskan formaldehid. Formaldehid (CH_2O) ini turut masuk ke dalam kain lebih kurang sama dengan 50% atau setara dengan 0,60 mol NMA/gram kain.

Perlu diperhatikan bahwa sesudah waktu pemanasan yangberlangsung jumlah formaldehid dalam tingkat yang sama akan banyak diperoleh pada suhu 80°C dan 110°C . Pada suhu dibawah 80°C secara praktis NMA tidak akan bereaksi dengan selulosa.

Perbandingan jumlah NMA didalam kain yang ditentukan secara gravimetri menurut metoda Roff menyimpulkan bahwasanya formaldehid bebas dalam jumlah yang besar mempunyai kecenderungan untuk sedikit bereaksi dengan selulosa atau tidak bereaksi sama sekali.

Apabila di dalam sistem tidak lagi mengandung gugus penghubung untuk polimerisasi, maka sejumlah fraksi ikatan ganda dalam jumlah yang cukup banyak akan menghilang selama pemanasan. Bersamaan dengan itu rantai-rantai yang terbentuk yang terdiri dari molekul-molekul NMA segera berikatan dengan selulosa sesuai dengan perbandingan yang diperoleh secara gravimetri menurut metoda Roff. Reaksi

ini diduga dapat menyebabkan terjadinya ikatan silang pada selulosa.

Sesudah radiasi dan perlakuan panas yaitu setelah berlangsungnya semua proses modifikasi radiasi kimiawi hampir semua NMA yang diserap pada proses benam peras (padding) akan berikatan dengan selulosa.

4. Kekuatan ikatan-ikatan antara NMA dan Selulosa.

Hidrolisa asam merupakan salah satu metoda yang dipergunakan untuk menentukan ketahanan hasil penyempurnaan kain kapas atau rayon. Jenis ikatan yang terbentuk antara monomer dan selulosa adalah ikatan silang yang sangat mempengaruhi sifat ketahanan dari hasil penyempurnaan terhadap selulosa.

Gugus-gugus metilol dari NMA terkondensasi dengan gugus OH dari serat selulosa selama proses pemanasan. Ikatan-ikatan eter yang terbentuk mempunyai sifat ketahanan terhadap hidrolisa yang relatif rendah.

C. Penilaian Ekonomi.

Kalau ditinjau dari perhitungan harga, energi radiasi sebenarnya sangat mahal, yaitu sampai beberapa dollar US untuk tiap Kwh. Dibandingkan dengan harga energi yang diperoleh secara konvensional seperti tenaga listrik hanya beberapa cent dollar setiap Kwh, dan mungkin masih ada yang lebih murah lagi seperti tenaga panas akan menunjukkan berapa bedanya harga energi tersebut. Akan tetapi untuk suatu proses kimia tidak semuanya mudah dijalankan dengan cara-cara konvensional. Untuk maksud tersebut sering diperlukan suatu proses yang sulit dengan penambahan zat-zat kimia lain sebagai katalisator yang harganya pun tidak sedikit.

Biasanya suatu proses kimia yang dijalankan secara konvensional memerlukan tempat yang luas, tenaga kerja yang banyak menimbulkan pengotoran baik udara maupun air dan prosesnya sangat lambat. Proses yang mempergunakan energi radiasi tidak memerlukan banyak zat-zat kimia sebagai tambahan, memerlukan ruang yang relatif kecil dan tenaga kerja sedikit, proses dilakukan lebih mudah dan cepat pengontrolannya, proses berjalan sangat cepat sehingga kapasitas produksi dapat dinaikan, tidak menimbulkan pengotoran udara dan air.

Di negara-negara yang telah maju penggunaan radiasi pengion ini telah diterapkan dalam industri antara lain dalam industri tekstil atau sedang dalam taraf pilot. Di antara industri dan pilot yang telah memakai radiasi dalam proses tekstil ialah Deering Milliken & Co, Cone Mills

Corp, Dow Chem, Burlington Industri, sedangkan yang dalam taraf pilot seperti: Takasaki Lab, Conservatome Ind., Centre Lyonnais d'Application Atomique, CARIO, CAPRI dan lain-lain.

Menurut perhitungan harga energi radiasi yang digunakan dalam tiap industri atau pilot itu biasanya sangat berbeda-beda. Harga energi radiasi sangat tergantung pada macam sumber radiasi, apakah sumber radiasi itu dari sinar gamma atau sinar elektron. Biasanya harga energi sinar gamma dari Co-60 sedikit lebih tinggi dari pada harga energi sinar elektron dari sumber radiasi yang sama besarnya kapasitasnya. Harga energi sinar gamma tergantung pada besar kecilnya kapasitas dan lamanya waktu operasi per-tahunnya.

Harga antara 6 – 10 US\$/lb. Untuk skala pilot dan industri, yaitu yang mempunyai kapasitas antara 200.000 – 1.000.000 Ci atau yang berkapasitas energi antara 3 – 15 Kw. Sedang untuk sinar elektron harganya antara 4 – 6 US\$/lb untuk kapasitas antara 30 – 60 Kw. Meskipun harga energi sinar pengion hampir sama, akan tetapi modal yang diperlukan untuk sumber radiasi sinar gamma dari Co-60 jauh lebih besar.

Harga accelerator elektron kapasitas 30 Kw dengan bangunan pelindungnya 276.200 US\$, sedang yang berkapasitas 60 Kw dengan bangunan pelindungnya 500.000 US\$. Harga ini jauh lebih murah kalau dibandingkan dengan sumber sinar gamma dari Co-60 yang berkapasitas 1.000.000 Ci atau 14,8 Kw yang harganya untuk 1.000.000 Ci adalah 500.000 US\$ belum termasuk bangunan pelindung yang harganya kira-kira mencapai 1.000.000 US\$.

Jadi untuk memilih jenis sumber radiasi sangat penting, pertama harus diingat proses yang bagaimana yang akan dijalankan dan mengingat faktor-faktor ekonomi yang lain dan kenyamanan kerjanya. Kalau yang dipilih accelerator elektron dari 60 Kw adalah sama dengan 21.600 Mrad-Kg/jam. Kalau 1 tahun bekerja 4.000 jam dengan faktor rendemen 50% dan untuk proses tempel diperlukan dosis 1 Mrad, maka tiap tahunnya dapat dihasilkan perbaikan bahan-bahan tekstil kurang lebih 40.000 ton.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan uraian di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahan rayon viskosa yang diproses benam peras dengan NMA kemudian diradiasi dan dipanas awetkan (teknik II) menghasilkan perbaikan paling besar terhadap pengujian sifat-sifat kain bila dibandingkan dengan yang diproses pemanas awetan saja (teknik III) ataupun yang diproses radiasi saja (teknik I).

Sedangkan bahan yang setelah dibenam peras langsung diproses pemanas awetan tanpa radiasi (teknik III) hasilnya lebih baik dari hasil yang di-radiasi tanpa pemanas awetan (teknik I).

Hal ini membuktikan bahwa penggabungan 2 proses secara berurutan khususnya untuk pengerjaan dengan monomer N-Metilol akrilamida yang mempunyai 2 gugus fungsi akan menghasilkan perbaikan yang paling besar.

2. Walaupun teknik pengerjaan II benam peras-radiasi-pemanas awetan menghasilkan perbaikan paling besar dibandingkan 2 teknik pengerjaan lainnya, namun hal ini belum menggambarkan bahwa teknik II yang terbaik sebab masih ada beberapa teknik pengerjaan lainnya seperti:
 - Benam peras - pemanas awetan - radiasi - pengujian;
 - Radiasi - Benam peras - Pemanas awetan - pengujian.
 - Kopolimerisasi tempel pada fasa uap.
 - Dan lain-lain.Oleh sebab itu perlu adanya penelitian-penelitian lanjutan.
3. Perbaikan mutu kain rayon dan bahan-bahan tekstil yang ada di Indonesia dapat dilakukan dengan metoda kopolimerisasi tempel radiasi, namun penelitian faktor-faktor ekonomi dalam proses ini perlu diteliti didasarkan pada kondisi di Indonesia.
4. Bila dibandingkan dengan metoda konvensional yang ada maka proses kopolimerisasi tempel radiasi berjalan lebih sederhana.
5. Berdasarkan hasil-hasil penelitian di negara-negara lain, menunjukkan adanya prospek yang baik dalam perkembangan industri tekstil dan juga perkembangan penggunaan tenaga atom dalam industri tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arthur F. & Readdy Jr., **Application of Ionizing radiation in Plastic and Polymer Technology**, Plastic report R 41, New Jersey, 1971.
2. Dzedziela W.M. and J. Rosiak, **Reaction on N-Methylol Acrylamide in Radiation Chemical Modification of Cotton Fabric**, John Wiley & Sons, Inc. 1974.
3. Habibie Sudirman., **Masa Depan Industri Rayon di Indonesia**, Majalah BPPT No. IV 1983.
4. Hoffman A.S., **Radiation Grafting on Cotton Textiles and Fibers**, *Isotope and Radiation Technology*, Vol. 8 No. 1, 84 (1970).
5. Mirzan T. Razzak, Moch. Ridwan, G. Scarpa., **Aspek Dosimetry pada Proses Sterilisasi Radiasi**, Majalah BATAN Vol. XIII No. 3, 4 Desember 1980.