

**SIFAT-SIFAT ADUNAN POLI(VINIL KLORIDA)
KITAR SEMULA / GETAH AKRILONITRIL
BUTADIENA DAN ADUNAN POLI(VINIL KLORIDA)
BARU / POLI(VINIL KLORIDA) KITAR SEMULA /
GETAH AKRILONITRIL BUTADIENA**

S U P R I

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
2005**

**SIFAT-SIFAT ADUNAN POLI(VINIL KLORIDA)
KITAR SEMULA / GETAH AKRILONITRIL
BUTADIENA DAN ADUNAN POLI(VINIL KLORIDA)
BARU / POLI(VINIL KLORIDA) KITAR SEMULA /
GETAH AKRILONITRIL BUTADIENA**

Oleh

S U P R I

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Doktor Falsafah**

April 2005

PENGHARGAAN

Syukur alhamdulillah ke hadrat Allah SWT kerana dengan izin dan rahmatNya maka tesis ini dapat diselesaikan dan disempurnakan. Jutaan terima kasih saya ucapkan kepada penyelia saya, Profesor Hanafi Ismail yang telah memberi tunjuk ajar, meluangkan waktu, membimbing di sepanjang penyelidikan ini. Ribuan terima kasih juga saya tujukan kepada penyelia bersama Dr. Ahmad Marzio Mohd. Yusof yang telah membantu untuk menjayakan penyelidikan ini. Saya mengambil kesempatan ini mengucapkan ribuan terima kasih dan setinggi-tinggi penghargaan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral, USM yang telah menyediakan tempat untuk saya menyambung pengajian ke peringkat Ph.D.

Ribuan terima kasih juga saya ucapkan kepada Universiti Sumatera Utara (USU) yang telah memberikan izin untuk melanjutkan pendidikan ke peringkat kedoktoran (Ph.D) dan Institut Pengajian Siswazah, Universiti Sains Malaysia yang telah memberikan biasiswa dalam menjalankan kajian saya. Tidak lupa saya ucapkan ribuan terima kasih kepada pensyarah-pensyarah dan pembantu-pembantu makmal di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral, iaitu En. Mohd. Zandar, En. Segaran (Bos), En. Mohd. Hasan, Kak Hasnah, En. A Young dan En. Rashid yang telah menghulurkan bantuan.

Saya ingin memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orangtua saya, Halimatussakdiah dan Sitam Abdul Ghani yang saya sayangi dan senantiasa mendokan kejayaan saya. Untuk kakak dan abang, Kak Fatmawati, Kak Dariati, Bang Erwan dan Bang Idris yang telah memberikan motivasi, kesabaran dan sokongan untuk melanjutkan pendidikan ke peringkat yang lebih tinggi.

Untuk kawan-kawan seperjuangan, Salmah, Surya, Midah, Halimah, Sem, Sia, Yup, Ming, Huzaimi, Kamal, Hosta, Hakimah, Bashree, Said, Chow, Teh, Siew Bee, Juli, Zeck, Mhd, dan Zurina, saya mengucapkan terima kasih atas segala bantuan yang diberikan dalam menyelesaikan penyelidikan ini.

Akhirnya, saya ucapkan terima kasih kepada rakan-rakan saya dari Indonesia iaitu, Sobron, Hanif, Andi, Irvan, Okman, Bayu, Asep. R, Heri, Zoel, Suriadi, dan Yanti yang telah memberikan semangat dan sokongan dalam suka maupun duka. Semoga Allah SWT menjadikan usaha-usaha saya ini sebagai ibadah dan semua pihak yang telah menjayakan penyelidikan ini dan untuk dikenang selama-lamanya.

JADUAL KANDUNGAN

	Muka surat
PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	x
SENARAI SIMBOL	xviii
SENARAI SINGKATAN	xix
SENARAI LAMPIRAN	xxi
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xxii
ABSTRAK	xxv
ABSTRACT	xxviii
BAB SATU : PENDAHULUAN DAN TINJAUAN PERPUSTAKAAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.1.1 Pengitaran Semula Plastik	1
1.1.2 Keperluan Untuk Penggunaan Semula	2
1.2 Kepentingan Adunan	4
1.2.1 Kepentingan Ekonomi	4
1.2.2 Kepentingan Penggabungan Sifat-Sifat	5
1.3 Elastomer Termoplastik	5
1.3.1 Pengenalan	5
1.3.2 Pengkelasan Elastomer Termoplastik	8
1.3.2.1 Aloji Elastomer	9
1.3.2.2 Ko-polimer Blok Poliuretana Elastomer	9
1.3.2.3 Ko-polimer Blok Polistirena Elastomer	10
1.3.2.4 Ko-polimer Blok Poliester Elastomer	11
1.3.2.5 Ko-polimer Blok Poliamida Elastomer	12
1.4 Asas-Asas Pencampuran	14
1.4.1 Keserasian	14
1.4.2 Kelarutcampuran	15
1.4.3 Keserasian Termodinamik	16
1.4.4 Kaedah Penyebatian	17
1.5 Poli(vinil klorida)	18
1.5.1 Pengenalan	18
1.5.2 Sifat-Sifat PVC	18
1.5.3 Kestabilan dan Perosotan PVC	19
1.5.4 Pemplastik	20
1.6 Getah Akrilonitril Butadiena (NBR)	21
1.6.1 Pengenalan	21
1.6.2 Sifat-Sifat NBR	22
1.7 Adunan-Adunan Berasaskan PVC	23
1.7.1 Adunan Berasaskan PVC	23
1.7.2 Adunan PVC/PCI	24
1.7.3 Adunan PVC/PMMA	24
1.7.4 Adunan PVC/ABS	24

1.7.5	Adunan PVC/Poliester	25
1.7.6	Adunan PVC/ENR	25
1.7.7	Adunan PVC/NBR	26
1.8	Pembolehserasi Dalam Adunan Polimer	28
1.9	Pemvulkanan Dinamik	30
1.10	Reologi	34
1.10.1	Pengenalan	34
1.10.2	Kepentingan Kajian Reologi	34
1.10.2.1	Aliran Newtonian	36
1.10.2.2	Aliran Bukan Newtonian	38
1.11	Pernyataan Permasalahan	40
1.12	Objektif Kajian	41

BAB DUA : BAHAN DAN EKSPERIMEN

2.1	Bahan-Bahan	44
2.1.1	Polimer	44
2.1.2	Penstabil Haba	46
2.1.3	Bahan-Bahan Aditif	46
2.2	Peralatan	46
2.3	Tatacara Eksperimen	48
2.3.1	Kajian Penyebatian	48
2.3.2	Pengacuanan Mampatan	54
2.4	Jenis-Jenis Ujian	54
2.4.1	Ujian Tensil	54
2.4.2	Ujian Ketahanan Minyak dan Kimia	55
2.4.3	Spektroskopi Infra Merah Fourier (FTIR)	55
2.4.4	Ujian Mikroskop Elektron Penskanan (SEM)	56
2.4.5	Ujian Penuaan	56
2.4.6	Ujian Analisis Termogravimetri	56
2.4.7	Ujian Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan (DSC)	57
2.4.8	Kajian Reologi	58
2.4.8.1	Kaedah Pengambilan Data	59
2.4.8.2	Kaedah Pengolahan Data	59

BAB TIGA : PERBANDINGAN ADUNAN PVCv/NBR, PVCr/NBR DAN KESAN PEMVULKANAN DINAMIK KE ATAS ADUNAN PVCr/NBR

3.1	Pendahuluan	61
3.2	Keputusan dan Perbincangan	62
3.2.1	Perubahan Tork dan Tenaga Mekanik	62
3.2.2	Sifat-Sifat Tensil	68
3.2.3	Kelakuan Pembengkakan	71
3.2.4	Kajian Morfologi	74
3.2.5	Kajian Penuaan	80
3.2.6	Analisis DSC	83
3.2.7	Kestabilan Termal	85

BAB EMPAT : KESAN PENGGANTIAN SEPARA PVCv DENGAN PVCr DI DALAM ADUNAN PVCv/PVCr/NBR

4.1	Pendahuluan	89
4.2	Keputusan dan Perbincangan	90
4.2.1	Perubahan Tork dan Tenaga Mekanik	90

4.2.2	Sifat-Sifat Tensil	93
4.2.3	Kelakuan Pembengkakan	95
4.2.4	Kajian Morfologi	97
4.2.5	Kajian Penuaan	100
4.2.6	Analisis DSC	102
4.2.7	Sifat-Sifat Reologi	103
4.2.7.1	Indeks Hukum Kuasa	108
4.2.7.2	Tenaga Pengaktifan	109

BAB LIMA : KESAN PEMVULKANAN DINAMIK KE ATAS ADUNAN PVCv/PVCr/NBR

5.1	Pendahuluan	111
5.2	Keputusan dan Perbincangan	112
5.2.1	Perubahan Tork dan Tenaga Mekanik	112
5.2.2	Sifat-Sifat Tensil	115
5.2.3	Kelakuan Pembengkakan	118
5.2.5	Kajian Morfologi	119
5.2.5	Kajian Penuaan	121
5.2.6	Kestabilan Termal	123
5.2.7	Sifat-Sifat Reologi	125

BAB ENAM : PERBANDINGAN KESAN PELBAGAI PENGSERASI DAN GABUNGAN PEMVULKANAN DINAMIK DAN PENGSERASI KE ATAS ADUNAN PVCr/NBR

6.1	Pendahuluan	131
6.2	Keputusan dan Perbincangan	134
6.2.1	Kesan Maleik Anhidrida (MAH) dan Gabungan Pemvulkanan Dinamik dan MAH di dalam Adunan PVCr/NBR	134
6.2.1.1	Perubahan Tork dan Tenaga Mekanik	134
6.2.1.2	Sifat-Sifat Tensil	138
6.2.1.3	Kelakuan Pembengkakan	141
6.2.1.4	Analisis Spektroskopi FTIR	143
6.2.1.5	Kajian Morfologi	146
6.2.1.6	Kajian Penuaan	152
6.2.1.7	Analisis DSC	154
6.2.1.8	Kestabilan Termal	156
6.2.2	Perbandingan Kesan Pelbagai Pengserasi dan Kesan Gabungan Pemvulkanan Dinamik dan Pengserasi ke Atas Adunan PVCr/NBR (50/50)	159
6.2.2.1	Sifat-Sifat Tensil	159
6.2.2.2	Kelakuan Pembengkakan	165
6.2.2.3	Kajian Morfologi	168
6.2.2.4	Kajian Penuaan	173
6.2.2.5	Analisis DSC	175
6.2.2.6	Kestabilan Termal	177
6.2.2.7	Sifat-Sifat Reologi	180
6.2.2.7 (a)	Kesan Pelbagai Pengserasi Terhadap Adunan PVCr/NBR (50/50)	180
6.2.2.7 (b)	Kesan Gabungan Pemvulkanan Dinamik dan Pelbagai Pengserasi Terhadap Adunan	186

BAB TUJUH : KESIMPULAN DAN CADANGAN UNTUK KAJIAN LANJUTAN

7.1	Kesimpulan	193
7.2	Cadangan Untuk Kajian Lanjutan	196

RUJUKAN	198
----------------	-----

LAMPIRAN

A	Termogram-termogram DSC adunan PVCv/NBR	212
A1	Termogram-termogram DSC adunan PVCr/NBR	215
A2	Termogram-termogram DSC pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR	218
B	Termogram-termogram DSC penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	221
C	Termogram-termogram DSC kesan pelbagai pengserasi di dalam adunan PVCr/NBR (50/50)	226
D	Termogram-termogram DSC kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi di dalam adunan PVCr/NBR (50/50)	231

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2. 1	Sifat-sifat fizikal PVC jenis Mecion HP-65	44
Jadual 2. 2	Komposisi kimia daripada PVCr yang dianalisis menggunakan X-Ray Fluorescence Spektrometer Rigaku RX 300	45
Jadual 2. 3	Sifat-sifat fizikal PVC kitar semula	45
Jadual 2 .4	Komposisi adunan PVCv/NBR dan PVCr/NBR	50
Jadual 2 .5	Komposisi kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR	50
Jadual 2 .6	Komposisi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	51
Jadual 2 .7	Komposisi pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCv/PVCr/NBR	51
Jadual 2 .8	Komposisi kesan penambahan pelbagai pengserasi di dalam adunan PVCr/NBR	52
Jadual 2 .9	Komposisi gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR	52
Jadual 2 .10	Turutan penyebatian dalam adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR, penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR, dan kesan penambahan pengserasi dalam adunan PVCr/NBR	53
Jadual 2 .11	Turutan penyebatian untuk mengkaji kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR, PVCv/PVCr/NBR dan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR	53
Jadual 2 .12	Parameter pengacuanan mampatan specimen	54
Jadual 3. 1	Kekuatan tensil, modulus 100% dan % retensi bagi adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR sesudah penuaan pada 70 ⁰ C selama 168 jam	81
Jadual 3. 2	Pemanjangan pada takat putus dan % retensi bagi adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR sesudah penuaan pada 70 ⁰ C selama 168 jam	81

Jadual 3. 3	Suhu peralihan kaca, T_g bagi adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR diperoleh dari analisis DSC	84
Jadual 3. 4	Suhu penguraian permulaan, suhu pada pengurangan berat 50%, suhu akhir penguraian dan kehilangan berat keseluruhan bagi adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR diperoleh dari analisis TGA	88
Jadual 4. 1	Kekuatan tensil, modulus 100% dan % retensi bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR sesudah penuaan pada 70 ⁰ C selama 168 jam	102
Jadual 4. 2	Pemanjangan pada takat putus dan % retensi bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR sesudah penuaan pada 70 ⁰ C selama 168 jam	102
Jadual 4. 3	Suhu peralihan kaca, T_g bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR diperoleh dari analisis DSC	103
Jadual 4. 4	Tenaga pengaktifan dan indeks hukum Kuasa bagi kesan penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	108
Jadual 5. 1	Kekuatan tensil, modulus 100% dan % retensi bagi pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCv/PVCr/NBR sesudah penuaan pada 70 ⁰ C selama 168 jam	123
Jadual 5. 2	Pemanjangan pada takat putus dan % retensi bagi pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCv/PVCr/NBR sesudah penuaan pada 70 ⁰ C selama 168 jam	123
Jadual 5. 3	Suhu penguraian permulaan, suhu pada pengurangan berat 50%, suhu akhir penguraian dan kehilangan berat keseluruhan bagi kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCv/PVCr/NBR diperoleh dari analisis TGA	124
Jadual 5. 4	Tenaga pengaktifan dan indeks hukum Kuasa bagi pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCv/PVCr/NBR	130
Jadual 6. 1	Kekuatan tensil, modulus 100% dan % retensi bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH pada 70 ⁰ C selama 168 jam	152
Jadual 6. 2	Pemanjangan pada takat putus dan % retensi bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH dan	154

	pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH pada 70°C selama 168 jam	
Jadual 6. 3	Suhu peralihan kaca bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH diperoleh dari analisis DSC	155
Jadual 6. 4	Suhu penguraian permulaan, suhu pada pengurangan berat 50%, suhu akhir penguraian dan kehilangan berat keseluruhan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH dan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH diperoleh dari analisis TGA	158
Jadual 6. 5	Kekuatan tensil, modulus 100% dan % retensi bagi kesan pelbagai pengserasi dan kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR sesudah penuaan pada suhu 70°C selama 168 jam	175
Jadual 6. 6	Pemanjangan pada takat putus dan % retensi bagi kesan pelbagai pengserasi dan kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR sesudah penuaan pada suhu 70°C selama 168 jam	175
Jadual 6. 7	Suhu peralihan kaca, T_g bagi kesan pelbagai pengserasi dan kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR yang diperoleh dari analisis DSC	177
Jadual 6. 8	Suhu penguraian permulaan, suhu pada pengurangan berat 50%, suhu akhir penguraian dan kehilangan berat keseluruhan bagi kesan pelbagai pengserasi dan kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR yang diperoleh dari analisis TGA	180
Jadual 6. 9	Tenaga pengaktifan dan indeks hukum Kuasa bagi kesan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	186
Jadual 6. 10	Tenaga pengaktifan dan indeks hukum Kuasa bagi kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	192

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 1. 1	Segmen lembut dan segmen keras pada struktur ETP	7
Rajah 1. 2	Struktur ko-polimer blok poliuretana	10
Rajah 1. 3	Struktur ko-polimer SBS	11
Rajah 1. 4	Struktur ko-polimer blok poliester polibutilena tereftalat	12
Rajah 1. 5	Struktur poliamida 66	13
Rajah 1. 6	Struktur PVC	18
Rajah 1. 7	Tindak balas kimia bagi penghasilan NBR	21
Rajah 1. 8	Ko-polimer blok dan cantuman pada antaramuka di antara fasa polimer A dan B	29
Rajah 1. 9	Zarah-zarah getah yang tervulkan di dalam fasa plastik	31
Rajah 1.10	Ikatan sulfida di dalam getah tervulkan; (a) sulfida dan (b) polisulfida	32
Rajah 1. 11	Canggaaan ricih untuk aliran Newtonian pada dua plat selari	37
Rajah 1. 12	Hubungan $\tau/\dot{\gamma}$ untuk aliran tidak besandar masa	38
Rajah 1. 13	Hubungan $\eta/\dot{\gamma}$ untuk aliran tidak bersandar masa	38
Rajah 2. 1	Peralatan Haake Rheomix	47
Rajah 2. 2	Diagram skematik bagi plastogram tork melawan masa untuk Haake Rheomix	48
Rajah 3. 1	Perubahan tork terhadap masa untuk adunan PVCv/NBR	63
Rajah 3. 2	Perubahan tork terhadap masa untuk adunan PVCr/NBR	63
Rajah 3. 3	Perubahan tork terhadap masa untuk pemvulkanan dinamik adunan PVCv/NBR	64
Rajah 3. 4	Kestabilan tork melawan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan	65

	dinamik adunan PVCr/NBR	
Rajah 3. 5	Tenaga mekanik melawan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR	66
Rajah 3. 6	Kekuatan tensil melawan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR	68
Rajah 3. 7	Modulus 100% melawan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR	69
Rajah 3. 8	Pemanjangan pada takat putus melawan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR	70
Rajah 3. 9	Hubungan antara indeks pembengkakan dan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR di dalam minyak IRM 903 selama 70 jam	72
Rajah 3. 10	Hubungan antara indeks pembengkakan dan komposisi adunan untuk adunan PVCv/NBR, PVCr/NBR dan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR di dalam toluena selama 46 jam	73
Rajah 3. 11	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/NBR : 80/20 (pembesaran 200X)	75
Rajah 3. 12	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/NBR : 50/50 (pembesaran 200X)	75
Rajah 3. 13	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/NBR : 20/80 (pembesaran 200X)	76
Rajah 3. 14	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR : 80/20 (pembesaran 200X)	76
Rajah 3. 15	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR : 50/50 (pembesaran 200X)	77
Rajah 3. 16	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR : 20/80 (pembesaran 200X)	77
Rajah 3. 17	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR : 80/20 (pembesaran 200X)	78
Rajah 3. 18	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR : 50/50 (pembesaran 200X)	78
Rajah 3. 19	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil	79

	pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR : 20/80 (pembesaran 200X)	
Rajah 3. 20	Lengkungan TGA untuk adunan PVCv/NBR	86
Rajah 3. 21	Lengkungan TGA untuk adunan PVCr/NBR	86
Rajah 3. 22	Lengkungan TGA untuk pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR	87
Rajah 4. 1	Kesan perubahan tork pada penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	91
Rajah 4. 2	Kestabilan tork melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	92
Rajah 4. 3	Tenaga mekanik melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	92
Rajah 4. 4	Kekuatan tensil melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	94
Rajah 4. 5	Modulus 100% melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	94
Rajah 4. 6	Pemanjangan pada takat putus melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR	95
Rajah 4. 7	Indeks pembengkakan melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR di dalam minyak IRM 903 selama 70 jam	96
Rajah 4. 8	Indeks pembengkakan melawan komposisi adunan bagi penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR di dalam toluena selama 46 jam	97
Rajah 4. 9	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/PVCr/NBR : 60/0/40 (pembesaran 200X)	98
Rajah 4. 10	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/PVCr/NBR : 40/20/40 (pembesaran 200X)	98
Rajah 4. 11	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/PVCr/NBR : 30/30/40 (pembesaran 200X)	99
Rajah 4. 12	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/PVCr/NBR :20/40/40 (pembesaran 200X)	99

Rajah 4. 13	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCv/PVCr/NBR : 0/60/40 (pembesaran 200X)	100
Rajah 4. 14	Plot log-log hubungan tork melawan halaju rotor untuk adunan PVCv/PVCr/NBR	106
Rajah 4. 15	Plot log-log hubungan tegasan ricih melawan kadar ricih untuk adunan PVCv/PVCr/NBR	106
Rajah 4. 16	Plot log-log hubungan kelikatan ketara melawan kadar ricih untuk adunan PVCv/PVCr/NBR	107
Rajah 4. 17	Plot log-log hubungan kelikatan ketara $1/T$ ($10^{-3}K$) melawan halaju rotor untuk adunan PVCv/PVCr/NBR	107
Rajah 5. 1	Perubahan tork terhadap masa untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	113
Rajah 5. 2	Kestabilan tork melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	114
Rajah 5. 3	Tenaga mekanik melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	115
Rajah 5. 4	Kekuatan tensil melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	116
Rajah 5. 5	Modulus 100% melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	116
Rajah 5. 6	Pemanjangan pada takat putus melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	117
Rajah 5. 7	Indeks pembengkakan melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR dalam toluena selama 46 jam	119
Rajah 5. 8	Indeks pembengkakan melawan kepekatan sulfur untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR dalam minyak IRM 903 selama 70 jam	119
Rajah 5. 9	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR tanpa kehadiran sulfur (pembesaran 200X)	120
Rajah 5. 10	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR dengan kepekatan sulfur 0.4 bsg (pembesaran 200X)	120
Rajah 5. 11	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR dengan kepekatan sulfur 0.8 bsg (pembesaran 200X)	121
Rajah 5. 12	Lengkungan TGA bagi pemvulkanan dinamik ke atas	124

	adunan PVCv/PVCr/NBR dengan kepekatan sulfur berbeza	
Rajah 5. 13	Plot log-log hubungan tork melawan halaju rotor untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	125
Rajah 5. 14	Plot log-log hubungan tegasan ricih melawan kadar ricih untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	126
Rajah 5. 15	Plot log-log hubungan kelikatan ketara melawan kadar ricih untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	127
Rajah 5. 16	Plot log-log hubungan kelikatan ketara $1/T$ ($10^{-3}K$) melawan halaju rotor untuk kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCv/PVCr/NBR	128
Rajah 6. 1	Perubahan tork terhadap masa bagi adunan PVCr/NBR+ MAH	136
Rajah 6. 2	Perubahan tork terhadap masa bagi kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	136
Rajah 6. 3	Kestabilan tork melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	137
Rajah 6. 4	Tenaga mekanik melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, dan kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	137
Rajah 6. 5	Kekuatan tensil melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	139
Rajah 6. 6	Modulus 100% melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, dan kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	140
Rajah 6. 7	Pemanjangan pada takat putus melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	140
Rajah 6. 8	Indeks pembengkakan melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, dan kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH di dalam toluena selama 46 jam	142
Rajah 6. 9	Indeks pembengkakan melawan komposisi adunan bagi adunan PVCr/NBR, PVCr/NBR + MAH, dan kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR +	142

	MAH di dalam minyak IRM 903 selama 70 jam	
Rajah 6. 10	Spektrum FTIR bagi adunan PVCr/NBR	144
Rajah 6. 11	Spektrum FTIR bagi adunan PVCr/NBR + MAH	145
Rajah 6. 12	Spektrum FTIR bagi kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	145
Rajah 6. 13	Mekanisme tindak balas antara maleik anhidrida (MAH) dengan PVCr dan NBR	146
Rajah 6. 14	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR (80/20) (pembesaran 200X)	148
Rajah 6. 15	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR (50/50) (pembesaran 200X)	148
Rajah 6. 16	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR (20/80) (pembesaran 200X)	149
Rajah 6. 17	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR + MAH (80/20) (pembesaran 200X)	149
Rajah 6. 18	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR + MAH (50/50) (pembesaran 200X)	150
Rajah 6. 19	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR + MAH (20/80) (pembesaran 200X)	150
Rajah 6. 20	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil bagi kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR + MAH (80/20) (pembesaran 200X)	151
Rajah 6. 21	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR + MAH (50/50) (pembesaran 200X)	151
Rajah 6. 22	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil kesan pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR + MAH (20/80) (pembesaran 200X)	152
Rajah 6. 23	Lengkungan TGA bagi adunan PVCr/NBR	157
Rajah 6. 24	Lengkungan TGA bagi adunan PVCr/NBR + MAH	157
Rajah 6. 25	Lengkungan TGA bagi kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH	158
Rajah 6. 26	Kekuatan tensil bagi kesan pelbagai pengserasi dan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	160
Rajah 6. 27	Modulus 100% bagi kesan pelbagai pengserasi dan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas	161

adunan PVCr/NBR (50/50)

Rajah 6. 28	Mekanisme tindak balas antara asid akrilik (AAc) dengan PVCr dan NBR	162
Rajah 6. 29	Spektrum FTIR bagi adunan PVCr/NBR + AAc	162
Rajah 6. 30	Mekanisme tindak balas antara asid maleik (MAc) dengan PVCr dan NBR	163
Rajah 6. 31	Spektrum FTIR bagi adunan PVCr/NBR + MAc	164
Rajah 6. 32	Pemanjangan pada takat putus bagi kesan pelbagai pengserasi dan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	165
Rajah 6. 33	Indeks pembengkakan bagi kesan pelbagai pengserasi dan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50) di dalam minyak IRM 903 selama 70 jam	167
Rajah 6. 34	Indeks pembengkakan bagi kesan pelbagai pengserasi dan gabungan pemvulkanan dinamik dan pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50) di dalam toluena selama 46 jam	168
Rajah 6. 35	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR (50/50)	170
Rajah 6. 36	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR + MAH (50/50)	170
Rajah 6. 37	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR + AAc (50/50)	171
Rajah 6. 38	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil adunan PVCr/NBR + MAc (50/50)	171
Rajah 6. 39	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH (50/50)	172
Rajah 6. 40	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + AAc (50/50)	172
Rajah 6. 41	Mikrograf SEM bagi permukaan rekahan tensil kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAc (50/50)	173
Rajah 6. 42	Lengkungan TGA bagi kesan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR	179
Rajah 6. 43	Lengkungan TGA bagi kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi ke atas adunan	179

PVCr/NBR

Rajah 6. 44	Plot log-log hubungan tork melawan halaju rotor untuk kesan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	181
Rajah 6. 45	Plot log-log hubungan tegasan ricih melawan kadar ricih untuk kesan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	182
Rajah 6. 46	Plot log-log hubungan kelikatan ketara melawan kadar ricih untuk kesan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	182
Rajah 6. 47	Plot log-log hubungan kelikatan ketara $1/T$ ($10^{-3}K$) melawan halaju rotor untuk kesan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	183
Rajah 6. 48	Plot log-log hubungan tork melawan halaju rotor untuk kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	189
Rajah 6. 49	Plot log-log hubungan tegasan ricih melawan kadar ricih untuk kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	189
Rajah 6. 50	Plot log-log hubungan kelikatan ketara melawan kadar ricih untuk kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	190
Rajah 6. 51	Plot log-log hubungan kelikatan ketara $1/T$ ($10^{-3}K$) melawan halaju rotor untuk kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi ke atas adunan PVCr/NBR (50/50)	190

SENARAI SIMBOL

ΔG	Tenaga Gibbs
ΔH	Entalpi
ΔS	Entropi
E_b	Pemanjangan pada takat putus
M_{100}	Modulus 100%
E_a	Tenaga pengaktifan
n	Indeks hukum kuasa
T_m	Suhu peleburan
T_g	Suhu peralihan kaca
τ	Tegasan ricih
$\dot{\gamma}$	Kadar ricih
η	Kelikatan
T_f	Tork pelakuran
t_f	Masa pelakuran
t_s	Masa keseimbangan
t_d	Masa degradasi
τ_y	Tegasan alah
K, C	Pemalar
S	Halaju rotor
M	Tork

SENARAI SINGKATAN

PVC	Poli(vinil klorida)
NBR	Getah akrilonitril butadiena
NR	Getah asli
NMR	Resonan magnetik nuklear
SBR	Getah stirena butadiena
MPa	Mega paskal
TPU	Termoplastik poliuretana
PP	Polipropilena
RRP	Serbuk getah kitar semula
EPDM	Getah etilena-propilena-diena
BR	Getah butadiena
ETP	Elastomer termoplastik
TEO	Elastomer termoplastik olefin
ENR	Getah asli terepoksida
SEM	Mikroskop penskanan elektron
TGA	Analisis termogravimetri
PE	Polietilena
PS	Polistirena
TPV	Elastomer termoplastik tervulkan
FTIR	Sinaran Infra Merah Fourier
ABS	Akrilonitril butadiena stirena
LLDPE	Polietilena linear berketumpatan rendah
PMMA	Poli metil metakrilat
PCI	Polikaprolakton
CR	Getah kloroprena

AVM	Monomer vinil aromatik
SAN	Stirena akrilonitril
AA-g-PP	Polipropilena tercantum asid akrilik
MA-g-PP	Polipropilena tercantum maleik anhidrida
PP-g-GMA	Polipropilena tercantum glisil metakrilat
MAc	Asid maleik
AAc	Asid akrilik
MAH	Maleik anhidrida
PET	Polietilena tereftalat
PVCv	Poli(vinil klorida) baru
PVCr	Poli(vinil klorida) kitar semula
PC	Poli(karbonat)
PPEAA	Poli(propilena-etilena asid akrilik)
HIPS	Polistirena hentaman tinggi
TMTD	Tetrametiltiuram disulfida
MBTS	Metilbenzotiazil disulfida
ZnO	Zink oksida
Ph-PP	Polipropilena tercantum fenolik
PBT	Poli(butil tereftalat)
PE-g-MA	Polietilena tercantum maleik anhidrida
DSC	Permeteran kalori pengimbasan kebezaan
HDPE	Polietilena berketumpatan tinggi
NR-g-MAH	Getah asli tercantum maleik anhidrida
bsg	Berat per seratus getah
µm	Mikrometer
mm	Milimeter
ABS-g-MAH	Akrilonitril butadiena stirena tercantum maleik anhidrida

SENARAI LAMPIRAN

		Muka surat
1.1	Abstrak Jurnal "Polymer Testing "	235
1.2	Abstrak Jurnal "Prog. In Rubber, Plastic Recycling Technology"	236
1.3	Abstrak Jurnal "Polymer Plastics Technology and Engineering"	237
1.4	Abstrak Jurnal "Applied Polymer Science"	238
1.5	Abstrak Jurnal "Iranian Polymer"	239
1.6	Abstrak Jurnal "Prog. In Rubber, Plastics Recycling Technology"	240
1.7	Abstrak daripada "National Symposium on Polymeric Materials 2002, UTM, Skudai, Johor".	241
1.8	Abstrak daripada "Electron Microscopy Society Conference, Langkawi, Kedah, Malaysia. 2003".	242
1.9	Abstrak daripada "Electron Microscopy Society Conference, Langkawi, Kedah, Malaysia. 2003".	243
1.10	Abstrak daripada "Chemical Engineering Conference, USU, Medan, Indonesia. 2003".	244
1.11	Abstrak daripada "Materials, Mineral, and Environmental, Penang, Malaysia. 2003". (International Conferences)	245
1.12	Abstrak daripada "International Material Technology Conference & Exhibition, Kuala Lumpur, 2004".	246
1.13	Abstrak daripada "Regional Conference for Young Chemist. Penang, Malaysia. 2004".	247
1.14	Abstrak daripada "Regional Conference for Young Chemist. Penang, Malaysia. 2004".	248
1.15	Abstrak daripada "Materials Eng. Conference ITB, Bandung, Indonesia. 2004".	249
1.16	Abstrak daripada "National Colloquium on Materials, Mineral Resources and Polymers, Penang, Malaysia. 2004".	250
1.17	Abstrak daripada "National Colloquium on Materials, Mineral Resources and Polymers, Penang, Malaysia. 2004".	251
1.18	Abstrak daripada "National Colloquium of Chemical Eng., Penang, Malaysia. 2004".	252
1.19	Abstrak daripada "Electron Microscopy Society. Bangi, Selangor, Malaysia. 2004".	253
1.20	Abstrak daripada "Electron Microscopy Society. Bangi, Selangor, Malaysia. 2004".	254
1.21	Abstrak daripada "The International Conference on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering, 30-31 May 2005, Kuala Lumpur, Malaysia"	255

SENARAI PENERBITAN DALAM JURNAL ANTARABANGSA

1.1	Ismail, H., Supri , dan Mohd. Yusof, A. M. “ Properties of virgin poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCv/NBR) and waste poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCw/NBR) blends : The effect of blend composition and dynamic vulcanization. <i>Polym. Plast. Technol. and Eng., 43 (3), 695-711, 2004.</i>
1.2	Ismail, H., Supri , dan Mohd. Yusof, A. M. “ Properties of dynamically vulcanized of virgin poly(vinyl chloride) / recycled poly(vinyl chloride/ acrylonitrile butadiene rubber (PVCv/PVCr/NBR) blends. <i>Prog. In Rubber Plast. and Recycling Technology, 20 (3), 201-211, 2004.</i>
1.3	Ismail, H., Supri , dan Mohd. Yusof, A. M. “ Blends of waste poly(vinyl chloride) / acrylonitrile butadiene rubber (PVCw/NBR) : The effect of maleic anhydride (MAH). <i>Polymer Testing, 23, 675-683, 2004.</i>
1.4	Ismail, H., Supri , dan Mohd. Yusof, A. M. “ Properties of the effect of acrylic acid (AAc) of recycled poly(vinyl chloride/ acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends”. <i>Journal of Applied Polymer Science, 96, 2181-219, 2005.</i>
1.5	Supri , Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Properties of recycled poly(vinyl chloride/ acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends : The effect of maleic acid (MAc)”. <i>Prog. In Rubber Plast. and Recycling Technology, 21, 85-100.</i>
1.6	Supri , Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ The effect of glycidyl methacrylate of recycled poly(vinyl chloride/ acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends”. <i>Iranian Polymer Journal.</i> Diterima dan dalam proses penerbitan.

SENARAI PENERBITAN DALAM SEMINAR

1.1	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Comparison studies on processability and swelling behaviour of PVCv/NBR and PVCw/NBR blends”. <i>Proc. of National Symposium on Polymeric Materials, UTM, Johor, Malaysia. 2002</i>
1.2	Supri, Ismail, H., Mohd. Yusof, A. M., dan N. M. Surdia.” Mechanical and thermal stability of polyurethanes derived from lignin of Merantee wood with polyethylene glycol (PEG)”. <i>Proc. of National Symposium on Polymeric Materials, UTM. Johor, Malaysia. 2002</i>
1.3	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Mechanical and morphological properties of dynamically vulcanized PVCv/PVCR/NBR blends”. <i>Proc. of Electron Microscopy Society, Langkawi, Kedah, Malaysia. 2003.</i>
1.4	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Properties of PVCv/PVCR/NBR blends”. <i>Proc. of Electron Microscopy Society. Langkawi, Kedah, Malaysia. 2003.</i>
1.5	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Mechanical and thermal stability of PVCv/NBR and PVCR/NBR blends: effect of blend composition and dynamic vulcanization”. <i>Proc. of Chemical Engineering, USU, Medan, Indonesia. 2003</i>
1.6	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Mechanical and morphological properties of TPOs based on PVCv/NBR and PVCR/NBR blends”. <i>Proc. of Materials, Mineral, and Environmental, Penang, Malaysia. 2003. (International Conferences)</i>
1.7	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ The effect of maleic anhydride on mechanical, swelling behaviour, and morphological properties of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCR/NBR) blends”. <i>Proc. of 4th International Material Technology Conference & Exhibition, Kuala Lumpur, 2004.</i>
1.8	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ The effect of MAH on Processability, Thermal properties and oil resistance of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCR/NBR) blends”. <i>Proc. of Regional Conference for Young Chemist. Penang, Malaysia. 2004.</i>
1.9	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ Processability, thermo-oxidative ageing and oil resistance of dynamically vulcanized PVCv/PVCR/NBR blends”. <i>Proc. of Regional Conference for Young Chemist. Penang, Malaysia. 2004.</i>
1.10	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., “ The effect of maleic acid (MAc) on properties of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene

	rubber (PVCr/NBR) blends". <i>Proc. of Materials Eng., ITB, Bandung, Indonesia. 2004.</i>
1.11	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., " Thermal stability and swelling behaviour of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends: Effects of dynamic vulcanization and maleic anhydride". <i>Proc. of National Colloquium on Materials, Mineral Resources and Polymers, Penang, Malaysia. 2004.</i>
1.12	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., " The effect of Acrylic acid on thermal stability, mechanical properties and swelling behaviour of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends". <i>Proc. of National Colloquium on Materials, Mineral Resources and Polymers, Penang, Malaysia. 2004</i>
1.13	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., "Properties of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends: Effect of glycidyl methacrylate (GMA). <i>Proc. of Electron Microscopy Society. Bangi, Selangor, Malaysia. 2004.</i>
1.14	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., " Effects of dynamic vulcanization and maleic anhydride on mechanical properties and morphology of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends". <i>Proc. of Electron Microscopy Society. Bangi, Selangor, Malaysia. 2004.</i>
1.15	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., " Mechanical properties and thermal stability of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends: The effect of maleic acid (MAc)". <i>Proc. of National Colloquium of Chemical Eng., Penang, Malaysia. 2004.</i>
1.16	Supri, Ismail, H., dan Mohd. Yusof, A. M., "Characterizations of recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends : Effect of dynamic vulcanization and acrylic acid". <i>Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering, 30-31 May 2005, Kuala Lumpur, Malaysia.</i>

**KAJIAN SIFAT-SIFAT ADUNAN POLI(VINIL KLORIDA) KITAR
SEMULA/GETAH AKRILONITRIL BUTADIENA DAN ADUNAN
POLI(VINILKLORIDA) BARU/ POLI(VINIL KLORIDA) KITAR
SEMULA/GETAH AKRILONITRIL BUTADIENA**

ABSTRAK

Elastomer termoplastik (ETP) bagi adunan poli(vinil klorida) kitar semula / getah akrilonitril butadiena (PVCr/NBR) dan adunan poli(vinil klorida) baru / poli(vinil klorida) kitar semula / getah akrilonitril butadiena (PVCv/PVCr/NBR) telah dikaji. Adunan disediakan dengan menggunakan pencampur dalaman Haake Rheomix Polydrude R600/610. Keadaan pemprosesan adunan pada suhu 150⁰C, kadar putaran rotor 50 rpm dan masa pengadunan selama 9 minit dan 11 minit untuk kesan pemvulkanan dinamik merupakan parameter pemprosesan yang telah ditentukan. Kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR telah meningkatkan kekuatan tensil, modulus 100% (M_{100}), kestabilan tork, tenaga mekanik, ketahanan terhadap pembengkakan dan kestabilan termal kecuali sifat penuaan dan suhu peralihan kaca, T_g berbanding adunan poli(vinil klorida) kitar semula / getah akrilonitril butadiena (PVCr/NBR) dan adunan poli(vinil klorida) baru/getah akrilonitril butadiena (PVCv/NBR). Kesan penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR menunjukkan peningkatan terhadap kestabilan tork, tenaga mekanik dan sifat penuaan dengan meningkatnya kandungan PVCr di dalam adunan. Didapati kekuatan tensil, modulus 100%, ketahanan terhadap pembengkakan, dan suhu peralihan kaca menunjukkan peningkatan berbanding adunan PVCv/PVCr/NBR (0/60/40). Sifat-sifat pemvulkanan dinamik bagi adunan PVCv/PVCr/NBR telah dikaji dengan menggunakan kepekatan sulfur yang semakin meningkat. Didapati bahawa sambung silang dinamik telah meningkatkan kekuatan tensil, modulus 100%,

kestabilan tork, tenaga mekanik, pengurangan pada penyerapan toluena dan minyak IRM 903, dan kestabilan termal. Keseluruhan sifat-sifat ini meningkat dengan meningkatnya kepekatan sulfur di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR kecuali pemanjangan pada takat putus. Pemvulkanan dinamik untuk adunan PVCv/PVCr/NBR menunjukkan sifat penuaan yang buruk pada suhu 70⁰C selama 168 jam. Kajian mikroskop elektron penskanan (SEM) menunjukkan bahawa kehadiran sambung silang pada fasa NBR telah menghadkan pergerakan rantai adunan sehingga memerlukan tenaga yang besar bagi kegagalan katastrofik berbanding adunan yang tidak tersambung silang. Kehadiran pelbagai pengserasi seperti maleik anhidrida (MAH), asid akrilik (AAc), dan asid maleik (MAc) di dalam adunan PVCr/NBR telah meningkatkan kestabilan tork dan tenaga mekanik dalam pemrosesannya, kekuatan tensil, modulus 100%, dan suhu peralihan kaca, T_g . Manakala sifat penuaan, pemanjangan pada takat putus dan kestabilan termal menurun berbanding adunan PVCr/NBR tanpa pengserasi. Pemeriksaan morfologi menggunakan SEM menunjukkan interaksi antara PVCr dengan fasa NBR adalah lebih baik dengan kehadiran garis-garis cabikan. Walau bagaimanapun pada komposisi yang sama, kesan gabungan pemvulkanan dinamik dan pelbagai pengserasi telah menunjukkan sifat-sifat mekanik, ketahanan terhadap pembengkakan dan sifat termal adalah lebih tinggi berbanding adunan PVCr/NBR hanya dengan penambahan pengserasi. Pemeriksaan morfologi menunjukkan bahawa kehadiran rangkaian sambung silang membolehkan adunan diterikkan pada kadar yang lebih tinggi berbanding adunan yang tidak tersambung silang. Kesan penambahan maleik anhidrida (MAH) di dalam adunan telah menunjukkan peningkatan kekuatan tensil, ketahanan terhadap pembengkakan, dan kestabilan termal berbanding asid maleik dan asid akrilik. Manakala penggunaan asid maleik telah meningkatkan modulus 100% dan pemanjangan pada takat putus. Keputusan dari kajian FTIR menunjukkan berlakunya cantuman antara PVCr dengan NBR di dalam adunan PVCr/NBR dengan kehadiran pengserasi. Ini adalah bukti yang menunjukkan peningkatan interaksi antara PVCr dan

NBR. Kajian mikroskop elektron pensakan (SEM) jelas menunjukkan bahawa interaksi antara PVCr-MAH-NBR lebih baik dengan kehadiran garis-garis cabikan lebih banyak berbanding adunan PVCr/NBR + AAc dan PVCr/NBR + MAc. Kajian reologi menggunakan Haake Rheometer telah digunakan untuk mengkaji kesan parameter penyebatian ke atas sifat-sifat reologi adunan. Sifat-sifat reologi bagi kesan penggantian separa PVCv dengan PVCr di dalam adunan PVCv/PVCr/NBR menunjukkan kelikatan ketara meningkat dengan meningkatnya kandungan PVCr di dalam adunan. Manakala untuk kesan pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCv/PVCr/NBR menunjukkan peningkatan terhadap tegasan ricih, tork dan kelikatan ketara dengan meningkatnya kepekatan sulfur dalam adunan. Kesan dinamik adunan telah menunjukkan sifat pseudoplastik dan alirannya bersifat bukan Newtonian. Kehadiran maleik anhidrida dan asid maleik di dalam adunan PVCr/NBR (50/50) menunjukkan peningkatan kelikatan ketara dan nilai tenaga pengaktifan, E_a yang rendah berbanding adunan PVCr/NBR + AAc. Untuk tegasan ricih yang sama, pemvulkanan dinamik ke atas adunan PVCr/NBR + MAH dan PVCr/NBR + MAc menunjukkan tenaga pengaktifan adalah lebih tinggi daripada pemvulkanan dinamik adunan PVCr/NBR + AAc. Untuk sifat reologi didapati peningkatan dalam ketumpatan sambung silang menghalang aliran tetapi kesan ini tidak kelihatan pada kadar ricih dan tegasan ricih yang tinggi. Seperti cecair polimer biasa, leburan PVCr/NBR adalah pseudoplastik dengan nilai $n < 1$ dan ianya menunjukkan aliran bersifat bukan Newtonian.

**PROPERTIES OF RECYCLED POLY(VINYL CHLORIDE)/ ACRYLONITRILE
BUTADIENE RUBBER BLENDS AND VIRGIN POLY(VINYL CHLORIDE) /
RECYCLED POLY(VINYL CHLORIDE) / ACRYLONITRILE BUTADIENE
RUBBER BLENDS**

ABSTRACT

Recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCr/NBR) blends and virgin poly(vinyl chloride)/recycled poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCv/PVCr/NBR) thermoplastic elastomers blends were studied. The blends were melt mixed using a Haake Rheomix Polydrive R600/610. The processing conditions of temperature at 150^oC, rotation speed at 50 rpm and mixing time at 9 minutes and 11 minutes for dynamic vulcanization system were investigated. The results indicated that at a similar blend composition, dynamically vulcanized PVCr/NBR blends have higher tensile strength, stress at 100% elongation (M_{100}), stabilization torque, mechanical energy, swelling resistance and thermal stability but lower ageing resistance and glass transition temperature, T_g than virgin poly(vinyl chloride)/acrylonitrile butadiene rubber (PVCv/NBR) and PVCr/NBR blends. The effect of partial replacement of PVCv with PVCr in PVCv/PVCr/NBR blends improved the stabilization torque, mechanical energy, and ageing resistance with increasing PVCr content of the blends. Partial replacement of PVCv with PVCr also increased tensile strength, stress at 100% elongation, oil and toluene resistance and glass transition temperature compared to PVCv/PVCr/NBR blends (0/60/40). Properties of dynamically vulcanized virgin poly(vinyl chloride)/recycled poly (vinyl chloride)/ acrylonitrile butadiene rubber (PVCv/PVCr/NBR) with different sulphur concentration were investigated. Results show that tensile strength, stress at 100% elongation, stabilization torque, mechanical

energy, swelling resistance in toluene and oil, and thermal stability, all increased with increasing sulphur concentration, but elongation at break exhibited the opposite trend. Dynamically vulcanized PVCv/PVCr/NBR also showed poor ageing resistance at 70°C for 168 hours. Scanning electron microscopy (SEM) examination of the tensile fracture surfaces of PVCv/PVCr/NBR blends indicated that a higher energy is needed to cause catastrophic failure as the sulphur concentration increased. The presence of various compatibilizers such as maleic anhydride (MAH), acrylic acid (AAc) and maleic acid (MAc) in PVCr/NBR blends have increased stabilization torque, mechanical energy, tensile strength, stress at 100% elongation and glass transition temperature but lowered the elongation at break (E_b), ageing resistance and thermal stability compared to PVCr/NBR blends without compatibilizers. The scanning electron microscopy (SEM) study of tensile fracture surfaces of the blends indicated that the presence of various compatibilizers increased interfacial interaction between PVCr and NBR phases is better interaction with many tear lines. However, at a similar blend composition, the effects of various compatibilizer and dynamic vulcanization of PVCr/NBR blends showed mechanical properties (tensile strength, stress at 100% elongation and elongation at break), swelling resistance and thermal stability that were superior to PVCr/NBR blends only subjected to the addition of compatibilizers. SEM examination of the tensile fracture surfaces showed that crosslinked blends could be strained higher than blends without crosslink. The addition of maleic anhydride (MAH) to PVCr/NBR blends improved the tensile strength, swelling resistance and thermal stability better than the addition of acrylic acid (AAc) and maleic acid (MAc). However, at a similar blend ratio, the presence of maleic acid (MAc) increased the stress at 100% elongation and elongation at break of blends. Results from FTIR studies revealed that interaction adhesion in PVCr/NBR blends with the addition of compatibilizer. This is a direct evidence of the nature of specific intermolecular interaction between PVCr with NBR phases. Scanning electron microscopy (SEM) examination of the tensile fracture surfaces of blends indicates that interaction

adhesion between PVCr-MAH-NBR improved compatibility with many tear lines and more homogeneous blends than PVCr/NBR + MAc and PVCr/NBR + AAc blends. Rheological studies involving the Haake Rheometer were used to evaluate the effect of compounding parameter on the rheological properties of the blends. Rheological properties of blends where PVCv was partially replaced by PVCr in the PVCv/PVCr/NBR blends showed that the apparent viscosity, torque, activation energy and shear stress increased with increasing the PVCr content of the blends. In dynamically vulcanized PVCv/PVCr/NBR blends, the shear stress, torque and apparent viscosity are found to increase with increasing sulphur concentration. Effect of dynamic vulcanization of blends exhibited pseudoplastic and strong non-Newtonian flow. The presence of maleic anhydride and maleic acid in PVCr/NBR (50/50) blends increase apparent viscosity and decrease activation energy, E_a more than PVCr/NBR + AAc blends. At a similar shear rate, dynamically vulcanized PVCr/NBR + MAH and PVCr/NBR + MAc blends showed higher the E_a than dynamically vulcanized PVCr/NBR + AAc. For rheological properties were found that increase in cross-link density impeded flow although this effects is absent at higher shear rate and shear stress. As typical polymeric liquids, the PVCr/NBR melts are pseudoplastic in nature ($n < 1$) and they also show non-Newtonian behaviour.

BAB 1

PENDAHULUAN DAN TINJAUAN PERPUSTAKAAN

1. 1 Pendahuluan

1. 1. 1 Pengitaran Semula Plastik

Poli(vinil klorida) (PVC) adalah satu daripada jenis poliolefin, seperti polipropilena (PP), polietilena (PE), dan polistirena (PS). PVC merupakan salah satu bahan polimer yang banyak digunakan daripada pelbagai jenis plastik dan dihasilkan lebih daripada 50 tahun yang lalu. Poli(vinil klorida) terbahagi kepada dua iaitu PVC kaku (60%) dan PVC lentur (34%) telah digunakan di dalam industri reka bentuk dan bangunan (52%), pembungkusan makanan (17%), elektrik (9%), automotif (3%), dan pakaian (3%) (**Brebu *et al.*, 2000**).

Selain itu, PVC juga dapat digunakan di dalam pembuatan bahan-bahan keperluan setiap hari antaranya, paip, perabot, tingkap, kepingan tipis, botol, kabel, dan bahan untuk lantai. Walaupun penggunaan dan penghasilan bahan plastik telah berkembang mengikut perkembangan teknologi pada masa ini, pembuangan plastik-plastik tersebut telah menimbulkan masalah yang serius terhadap persekitaran. Penggunaan semula plastik telah berkembang sehingga keperolehan plastik dalam bentuk campuran dengan plastik lain sebagai bahan tahan api, botol, kabel dan sebagainya. Pirolisis PVC dapat menghasilkan hidrokarbon terklorinasi, yang hampir sama seperti sebatian klorobenzena, poliklorinasi dibenzodioxin, dibenzofuran, dan bifenil yang merupakan bahan-bahan yang sangat berbahaya (toksik).

Pelbagai kajian telah dibuat untuk pengitaran semula plastik. **Paci dan La Mantia** (1999) mengkaji tentang kesan penambahan PVC di dalam poli(etilena tereptalat) kitar semula. Mereka melaporkan bahawa kesan penambahan PVC dengan

kandungan tidak lebih 100 ppm dapat mengurangi degradasi dan poliester terklorinasi (PET).

Brebu et al. (2000) pula telah mengkaji sifat penuaan PVC untuk kabel elektrik. Mereka melaporkan bahawa PVC kitar semula mempunyai berat molekul yang lebih besar jika dibandingkan dengan PVC baru dan kestabilan termalnya adalah mengikut turutan kitar semula jaket PVC < kitar semula kabel elektrik PVC < PVC baru < kabel PVC baru. Selain daripada itu **Camacho** dan **Karlsson** (2002) telah mengkaji sifat termal dan kestabilan termal daripada adunan kitar semula PP/HDPE. Mereka melaporkan bahawa adunan kitar semula PP/HDPE adalah tidak serasi, mekanisme oksidasi PP dan HDPE pada fasa yang sama adalah berbeza dan HDPE mengalami oksidasi bermula pada fasa permukaan PP-HDPE.

Keinginan untuk meneliti dan mengkaji tentang adunan kitar semula telah dilaporkan oleh **Bertin** dan **Robin** (2002). Mereka melaporkan bahawa adunan kitar semula PP/LDPE menggunakan pelbagai pembolehserasi seperti etilena-propilena-diena monomer (EPDM), etilena-propilena-kopolimer (EPM), dan PE-g-poli (2 metil-1, 3 butadiena) dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik dan kekuatan hentaman adunan PP/LDPE.

1. 1. 2 Keperluan Untuk Penggunaan Semula

Peningkatan bahan-bahan buangan plastik sangat banyak dan begitu ketara daripada industri dan perbandaran. Bahan-bahan buangan plastik tidak akan mengalami biodegradasi dan ini menjadi sebab utama berlakunya pencemaran persekitaran yang serius sampai pada saat ini (**Bisio** dan **Xanthos**, 1994). Sifat elastomer termoplastik yang boleh melebur pada suhu tinggi dapat mengurangkan skrap dan sisa-sisa buangan melalui pengitaran semula.

Hasil sampingan penghasilan daripada industri pemrosesan dapat diguna semula untuk pengeluaran produk dalam kilang yang sama (**Jansson et al.**, 2003 & 2004). Sepertimana penggunaan semula dan pemrosesan mana-mana buangan, terdapat dua masalah utama yang perlu untuk dipertimbangkan,

1. penggumpalan produk kepada kawasan buangan yang tertentu
2. keperluan apa yang harus dilakukan terhadap produk buangan

Akhir-akhir ini, pertumbuhan sangat pesat dalam pengeluaran pukal polimer dan penggunaannya dalam industri plastik telah diperhatikan. Pelbagai usaha berterusan telah dijalankan untuk meningkatkan mutu bahan berasaskan elastomer termoplastik dan memanjangkan hayat operasinya. Sifat fizik dan mekanik berasaskan polimer dan komponen lain, hanya mengalami sedikit perubahan sahaja daripada ciri-ciri asalnya. Maka usaha untuk teknik penggunaan semula tanpa degradasi dalam kualiti adalah penting. Antara yang berguna adalah penggunaan semula bahan berasaskan polimer daripada partikel plastik dan getah yang telah digunakan.

Pelbagai kajian telah dibuat untuk menggunakan semula sisa polimer. **Ismail dan Suryadiansyah** (2002) melaporkan tentang sifat-sifat adunan serbuk getah kitar semula/ polipropilena. Penggunaan getah kitar semula diadunkan dengan PP dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik dan ketahanan pembengkakan terhadap minyak dan toluena jika dibandingkan dengan adunan getah asli/polipropilena.

Selain itu, **Hope et al.** (1994) telah mengkaji kesan pengserasi untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik pada polietilena kitar semula. Hasil penyelidikan mereka mendapati bahawa etilena propena (EP) dan stirena-etilena butena-stirena (S-EB-S) telah meningkatkan kekuatan tensil dan kekuatan hentaman di dalam adunan LDPE/PP dan HDPE/PP. **Jakslund et al.** (2000) telah melaporkan teknologi baru dalam pengolahan PVC kitar semula. Hasil kajian mereka mendapati bahawa PVC kitar semula dapat dibuat menjadi PVC baru dengan cara memisahkan komponen-

komponennya. Pemisahan komponen-komponen PVC kitar semula untuk memperolehi PVC baru menggunakan peralatan yang direkabentuk secara bersendirian. **Phadke et al.** (1983) melaporkan tentang pemvulkanan getah dapatan semula diadunkan dengan getah baru, sehingga dapat ditingkatkan kebolehprosesan, kekakuan dan sifat fizikal getah tersebut. **Elmaghor et al.** (2003) menggunakan penyinaran tenaga tinggi dan pengserasi pada adunan HDPE kitar semula/poli(vinil klorida) (PVC)/polistirena (PS). Didapati kehadiran penyinaran dengan tenaga tinggi dan pengserasi telah meningkatkan keseragaman dan ikatan sambung silang di dalam adunan HDPE kitar semula/PVC/PS.

1. 2 Kepentingan Adunan

Secara amnya, terdapat beberapa sebab yang berkaitan dan perlu diambil kira untuk menggambarkan betapa pentingnya pembuatan adunan polimer dalam industri masa kini. Untuk menghasilkan produk polimer, bahan dengan kos yang rendah dengan sifat-sifatnya menepati spesifikasi, pengilang-pengilang pastinya akan menggunakan bahan tersebut untuk mengekalkan saingan bagi produk mereka.

1. 2. 1 Kepentingan Ekonomi

Para pengilang amat mengutamakan kepentingan ekonomi dalam menghasilkan suatu produk dimana sekiranya sesuatu bahan dapat dihasilkan dengan kos yang rendah tanpa menjejaskan sifat-sifat bahan tersebut, maka bahan itu akan dapat bersaing di pasaran. Gabungan bahan polimer yang sedia ada menunjukkan keberkesanan kos yang tinggi berbanding dengan penghasilan bahan baru seperti bahan elastomer termoplastik (**Ismail**, 2000; **Ultracki**, 1990; **Bisio** dan **Xanthos**, 1994). Kepentingan ekonomi bahan elastomer termoplastik adalah :

1. Tiada penyebatian
2. Senang diproses

3. Masa kitaran dikurangkan
4. Pengitaran semula skrap
5. Penggunaan tenaga rendah
6. Kualiti produk ditingkatkan
7. Ketumpatan bahan menurun
8. Kos bahagian-bahagian tertentu dapat dikurangkan

1. 2. 2 Kepentingan Penggabungan Sifat-Sifat

Penggabungan polimer yang berlainan secara langsungnya menghasilkan penggabungan sifat-sifat yang unik. Penggabungan polimer memberikan kelebihan untuk menghasilkan bahan yang senang diproses dengan gabungan sifat-sifat fizikal dan reologi yang tidak wujud dalam satu polimer. Seseengah sifat adalah sukar untuk diperolehi secara langsung, jadi kaedah penggabungan selalunya digunakan untuk memperolehi sifat-sifat yang diperlukan (**Ultracki**, 1990).

1. 3 Elastomer Termoplastik

1. 3. 1 Pengenalan

Elastomer termoplastik (ETP) merupakan bahan yang mempunyai ciri-ciri elastomer pada suhu bilik dan pemprosesan termoplastik pada suhu tinggi. Beberapa kepentingan elastomer termoplastik dalam industri diantaranya kepentingan ekonomi, penggabungan sifat-sifat dan kesedaran terhadap alam sekitar. Ia dapat dibahagikan kepada beberapa jenis (**Walker**, 1987; **Whelan & Lee**, 1983) .

1. Polimer dengan struktur stereonalar dan darjah penghabluran yang terkawal
2. Ko-polimer blok dengan suatu segmen termoplastik yang keras dan suatu bergetah yang lembut
3. Adunan getah dan plastik.

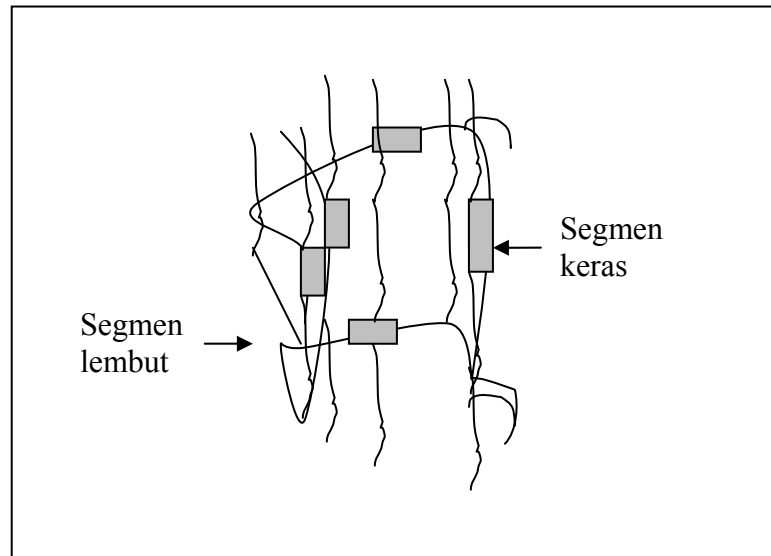
ETP boleh diproses dengan kaedah biasa seperti pengestrudan, pengacuanan suntikan, pengacuanan tiupan, Brabender Plasticorder, Haake Rheomix dan lain-lain (**Walker & Rader, 1998**).

Menurut **Ebewele** (2000) elastomer termoplastik tidak mempunyai sambung silang yang kekal dalam elastomer yang telah dimatangkan. Sebaliknya, ciri elastomerik merupakan faktor struktur domain lentur guna untuk membentuk struktur rangkaian. Struktur domain tersebut adalah berasaskan blok ko-polimer, iaitu blok mengandungi rantai polimer yang lebih panjang dan fleksibel secara relatif (segmen lembut), manakala satu blok yang lain terdiri daripada molekul polimer kaku (**Ehrenstein, 2001**). Peralihan daripada leburan yang boleh diproses kepada elastomer keras adalah lebih cepat dan berbalik.

Skrap yang terhasil semasa pemprosesan boleh dijadikan butiran dan digunakan kembali secara adunan dengan bahan baru tanpa kehilangan sifat-sifat fizikal yang ketara. ETP terdiri daripada rantaian molekul yang mengandungi segmen-segmen lembut dan keras. Kedua segmen ini tidak menunjukkan keserasian dan setiap satunya berfungsi sebagai fasa individu. Segmen lembut mempunyai sifat lentur, amorfus dan mempunyai suhu peralihan kaca yang lebih rendah. Manakala segmen keras mempunyai takat lebur yang tinggi dan cenderung membentuk agregat pada suhu bilik, iaitu membentuk domain tegar yang bertindak sebagai sambung silang fizikal (**Ismail, 2000**).

Apabila ETP dipanaskan kepada suhu pemprosesan, daya lemah antara molekul yang memegang segmen-segmen keras akan dimusnahkan. Kesannya bahan ETP akan mempamerkan sifat-sifat yang sama seperti bahan termoplastik lazim dan ia boleh diproses menggunakan peralatan yang sama seperti yang digunakan untuk memproses bahan termoplastik. Apabila disejukkan, segmen

keras akan bergabung kembali untuk membentuk domain tegar dan ini akan mempunyai sifat-sifat elastomer kembali. Segmen lembut dan segmen keras pada struktur ETP ditunjukkan pada Rajah 1. 1.



Rajah 1. 1: Segmen lembut dan segmen keras pada struktur ETP

Beberapa kelebihan elastomer termoplastik (ETP) (Elliott, 1981; Parr, 1987; Tinker, 1987) ialah :

1. Elastomer termoplastik dapat diproses seperti termoplastik pada suhu pemrosesan yang sesuai tanpa penggunaan agen pemvulkanan dengan peralatan pemrosesan termoplastik, manakala sifat-sifat keterlenturan, kekenyalan dan resiliens bagi getah dapat dikekalkan pada suhu normal.
2. Sifat-sifat polimer dapat diperbaiki.
3. Sifat-sifat termoplastik dapat diubahsuai dengan komposisi polimer yang digunakan.
4. Masalah-masalah pemrosesan dapat dikurangkan. Misalnya dalam adunan getah dengan poliolefin, kehadiran sedikit sambung silang dalam fasa getah memperbaiki sifat-sifat aliran, pengecutan acuan dan permukaan hasilan teracuan.

5. Sisa dan baki pengacuanan boleh dikitar semula.
6. Elastomer termoplastik dapat mengurangkan kos pengeluaran tambahan, selain daripada itu mempunyai sifat-sifat yang istimewa.

Selain kelebihan yang dimiliki oleh ETP, ia juga mempunyai beberapa kekurangan (Ismail, 2000) iaitu :

1. Penggunaan ETP secara komersil masih lagi terbatas kerana teknologi pemrosesannya adalah baru dan tidak biasa bagi ahli-ahli pemrosesan getah konvensional seperti percampur dalaman, penggiling bergulung dua, reometer, penekan panas, Mooney viscometer dan lain-lain.
2. Sebelum pemrosesan, komponen-komponen ETP perlu dikeringkan terlebih dahulu. Langkah ini tidak dilakukan dalam pemrosesan lazim.
3. Kebanyakan ETP yang terdapat secara komersil mempunyai nilai kekerasan melebihi daripada 80 Shore A. Jadi untuk penghasilan produk dengan kekerasan yang lebih rendah penggunaan ETP adalah terbatas.
4. ETP mudah lebur pada suhu tinggi terutama lebih daripada 70⁰C. Kekurangan ini menghalang penggunaan ETP dalam penghasilan produk yang perlu pendedahan seketika kepada suhu yang melebihi suhu peleburannya.

1. 3. 2 Pengelasan Elastomer Termoplastik

Secara komersil, elastomer termoplastik boleh dibahagikan kepada dua kumpulan yang utama iaitu ko-polimer blok yang terdiri daripada rantai-rantai molekul domain keras dan lembut dan elastomer yang berazaskan olefin. Pelbagai ETP ko-polimer blok adalah :

1. Ko-polimer blok poliuretana-elastomer
2. Ko-polimer blok polistirena-elastomer
3. Ko-polimer blok poliester-elastomer
4. Ko-polimer poliamida-elastomer

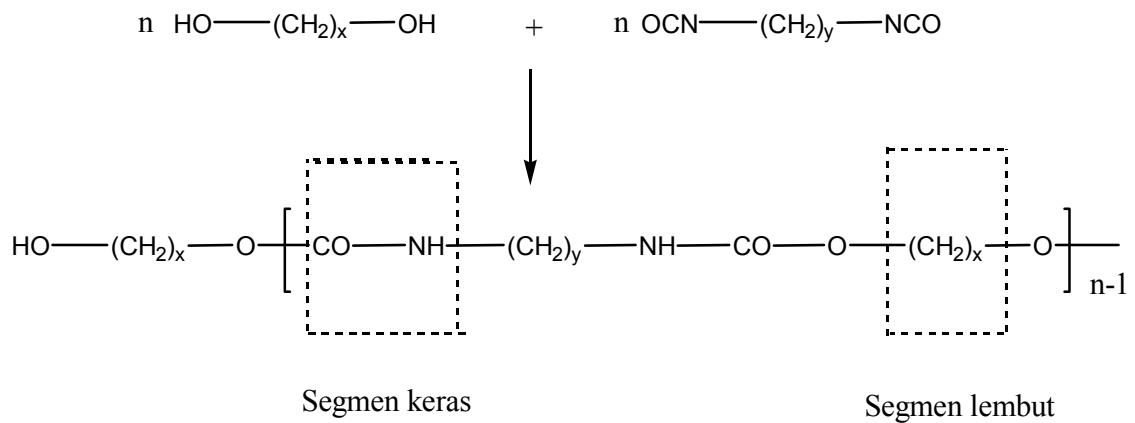
Elastomer termoplastik ko-polimer ini disediakan melalui tindak balas kimia yang mana ikatan-ikatan kimia terbentuk di antara fasa lembut dan fasa keras. Manakala aloi elastomer berasaskan olefin disediakan melalui pengadunan secara fizikal dengan partikel getah termatang dan tersebar di dalam matriks poliolefin.

1. 3. 2. 1 Aloi Elastomer

Aloi elastomer ialah adunan getah dengan plastik di mana komponen getah divuliskan secara dinamik melalui dua cara. Cara pertama melibatkan fasa getah divuliskan sepenuhnya secara *in-situ* untuk menghasilkan vulkanizat termoplastik (TPV) yang juga dipanggil sebagai aloi elastomer. Manakala cara kedua mengandungi fasa leburan pemrosesan getah yang tunggal dimana sebahagian fasa getah telah disambung-silangkan secara *in-situ*.

1. 3. 2. 2 Ko-polimer Blok Poliuretana-Elastomer

Poliuretana termoplastik merupakan elastomer termoplastik komersil yang pertama dengan morfologi ko-polimer blok yang sama seperti stirenik dan kopoliester. Struktur umumnya adalah -A-B-A-B-, di mana A mewakili blok berhablur keras yang diterbitkan daripada sambungan rantai diisosiyanat dengan glikol. Blok lembut pula diwakili oleh B dan diterbitkan semada daripada poliester atau polieter. Segmen lembut dan segmen keras daripada ko-polimer blok poliuretana ditunjukkan di dalam Rajah 1. 2 (Ehrenstein 2001; Ning *et al.*, 1996). Sambungan uretana dalam segmen keras berupaya membentuk ikatan hidrogen secara intra dan intermolekul. Ikatan hidrogen ini meningkatkan penghabluran fasa keras dan mempengaruhi sifat mekanik seperti kekerasan, modulus dan kekuatan cabikan (Ehrenstein, 2001). Poliuretana termoplastik mempamerkan sifat-sifat yang unggul seperti rintangan lelasan yang sangat baik, kekuatan tensil dan pemanjangan yang tinggi.



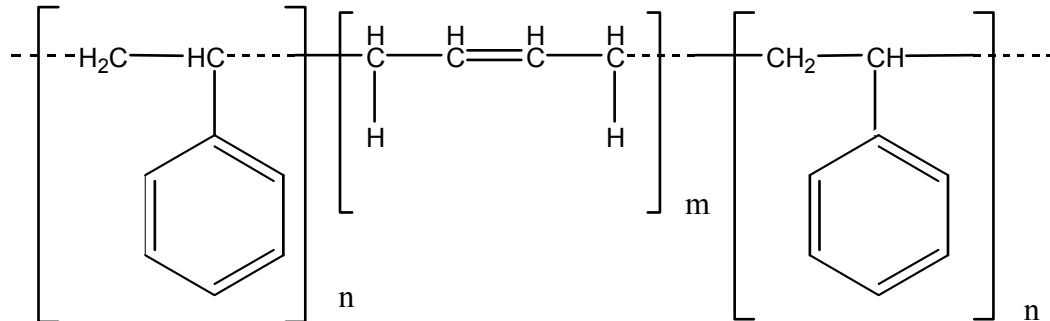
Rajah 1. 2 : Struktur ko-polimer blok poliuretana

Sifat semulajadi segmen lembut dalam TPU menentukan kelakuan elastik dan prestasi pada suhu rendah. Blok lembut poliester memberikan rintangan yang sangat baik terhadap bendalir tidak polar, kekuatan cabikan tinggi dan rintangan terhadap lelasan. Manakala blok lembut polieter memberikan sifat resiliens yang unggul, stabil terhadap hidrolitik dan termal. TPU boleh diproses dengan menggunakan pengacuanan suntikan, pengestrudan dan pengacuan tiupan. Suhu pemprosesan biasanya di dalam julat 350-430⁰C dan bergantung pada jenis dan rekabentuk mesin pemprosesan. Aplikasi TPU banyak terdapat dalam bidang-bidang automobil, sukan, penglitupan fabrik dan penggunaan dalam bioperubatan.

1. 3. 2. 3 Ko-polimer Blok Polistirena-Elastomer

Ko-polimer blok stirena termoplastik mempunyai formula umum S-E-S, yang mana S mewakili blok polistirena dan E mewakili blok elastomer. Segmen diena yang lembut (E), lazim digunakan adalah polibutadiena. ETP jenis ini berkecenderungan untuk membentuk dua fasa terasing yang ketara dan menunjukkan dua suhu peralihan kaca bagi setiap komponen yang berkenaan. ETP ini juga akan membentuk suhu jaringan hasilan daripada pengikatan segmen elastomer yang lentur. Dalam struktur jaringan ini, domain polistirena bertindak sebagai kawasan sambung

silang dan partikel pengukuh. Ko-polimer stirena-butadiena-stirena ditunjukkan di dalam Rajah 1. 3 (Ehrenstein, 2001).



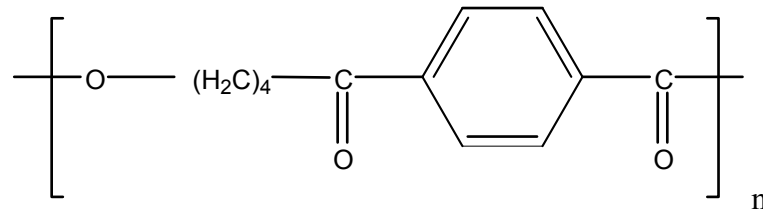
Rajah 1. 3 : Struktur ko-polimer daripada SBS

Ko-polimer blok stirena dapat dihasilkan melalui kaedah pempolimeran anionik homogen dengan menggunakan monomer stirena dan butadiena. Sifat-sifat kekuatan tensil, modulus, kekerasan, dan sifat mekanik yang lain dikawal oleh faktor seperti berat molekul, nisbah monomer, struktur polimer dan sebagainya. Perubahan dalam parameter-parameter ini juga akan mengubah morfologi dan saiz domain. Sifat-sifat tertentu yang dikehendaki dalam ko-polimer blok stirena boleh didapati melalui pencampuran. Kesan penambahan ramuan-ramuan ke atas sifat-sifat fizikal elastomer termoplastik ini diringkaskan oleh Wilder (Bhowmick & Stephen, 1988). Penggunaan tipikal bagi ko-polimer blok S-B-S dan S-I-S adalah perekat, tapak kasut, hos, kedap dan penglitup.

1. 3. 2. 4 Ko-polimer Blok Poliester-Elastomer

Elastomer termoplastik poliester adalah ester kopoliester bersegmen yang dibentuk daripada transesterifikasi leburan dimetil tereftalat. Segmen keras merupakan tetrametilena tereftalat, sementara segmen lembut adalah polialkilena eter glikol tereftalat amorfus. Segmen keras yang panjang bertindak sebagai sambung

silang, menghablur dan mengikat segmen lembut untuk membentuk satu jaringan. Jaringan ini dapat mempamerkan sifat-sifat seperti elastomer lazim yang tersambung silang (**Bhowmick & De**, 1990). Penghasilan elastomer poliester melibatkan penggunaan dimetil tereftalat, poli(tetrametilena eter) glikol dan 1, 4-butanadiol. Rajah 1. 4 menunjukkan struktur blok poliester daripada polibutilena teraftalat.



Rajah 1. 4 : Struktur ko-polimer blok poliester daripada polibutilena teraftalat

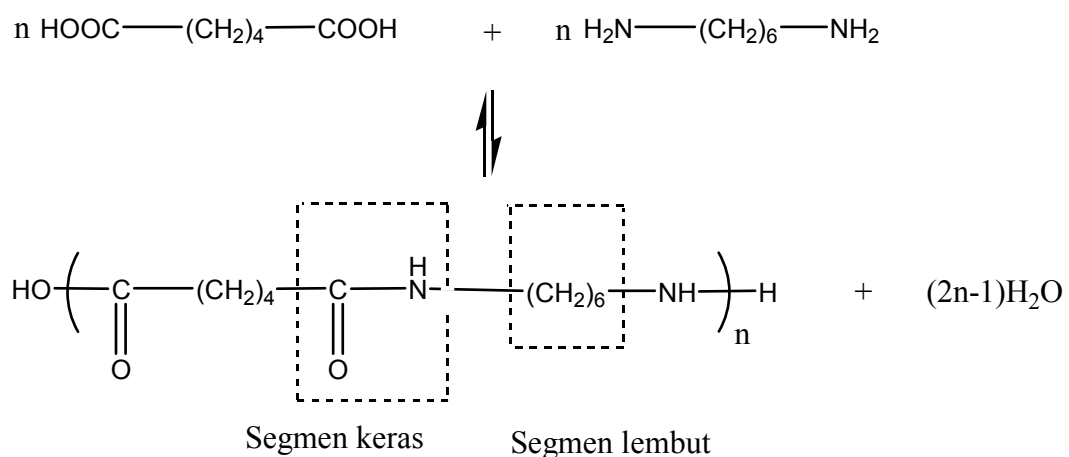
Elastomer termoplastik poliester ini mempunyai rintangan yang baik terhadap bendalir seperti hidrokarbon, larutan garam akues dan organik berkutub. Tetapi ia mudah terhidrolisis dalam asid dan bes yang disebabkan oleh kehadiran linkej ester pada tulang belakang polimer. Sifat keelastikan ETP menyumbang kepada rintangan yang baik, histeresis yang rendah, rintangan fatig lentur tinggi dan krip serta set mampatan yang rendah. Penggunaan utama ko-polimer poliester elastomer adalah dalam bidang barangan untuk sukan musim sejuk, hos hidraulik bertekanan tinggi, penyalut kabel besi dan lain-lain.

1. 3. 2. 5 Ko-polimer Blok Poliamida-Elastomer

Ko-polimer blok poliamida seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1. 5 merupakan ETP baru dan berprestasi tinggi (**Farrissey & Shah**, 1988; **Ehrenstein**, 2001). Segmen lembut dan keras bagi ETP disambung silangkan oleh linkej amida. Linkej ini mempunyai rintangan terhadap serangan kimia yang baik berbanding dengan ikatan ester atau uretana. Hal ini menyebabkan rintangan kimia atau suhu bagi

poliamida elastomer adalah lebih tinggi berbanding dengan poliuretana atau elastomer termoplastik poliester.

Blok keras dan lembut memainkan peranan dalam menentukan ciri-ciri poliamida. Segmen lembut yang boleh terdiri daripada rantaian poliester memberikan sifat yang berbeza. Sifat-sifat yang lebih baik pada suhu rendah dan rintangan terhadap hidrolisis boleh diperolehi dengan rantaian poliester. Manakala rantaian poliester dalam segmen lembut memberikan rintangan bendalir dan rintangan oksida pada suhu tinggi yang lebih baik. Takat lebur dan prestasi pada suhu tinggi pula akan ditentukan oleh segmen keras. Dengan pengikatan kadaran bagi segmen keras, maka kekerasan, modulus dan rintangan terhadap bendalir seperti bahan api hidrokarbon, minyak dan gris turut meningkat. Akan tetapi rintangan terhadap air dan larutan akues merosot dengan peningkatan suhu. Suhu pemrosesan bagi poliester elastomer adalah lebih tinggi berbanding elastomer termoplastik yang lain iaitu sekitar 200-290°C. Proses pengeringan pada suhu 80-110°C selama 4-6 jam adalah penting untuk poliester yang bersifat higroskopik. Ko-polimer blok poliester elastomer banyak digunakan dalam bidang pembuatan hos, tiup, gasket dan penutup perlindungan yang digunakan pada suhu tinggi dan persekitaran yang agresif.



Rajah 1.5 : Struktur poliamida 66

1. 4 Asas-Asas Pencampuran

Secara amnya, pencampuran polimer yang mempunyai berat molekul tinggi dan merupakan suatu sistem penyebatian, maka kecenderungan untuk membentuk suatu adunan yang tidak serasi adalah tinggi. Namun demikian, kemungkinan berlakunya pembauran antara molekul tetap wujud apabila molekul polimer bersentuhan. Untuk memahami suatu adunan, konsep atau prinsip-prinsip termodinamik asas pencampuran sistem berbagai fasa, terutama sekali aspek-aspek kelarutcampuran, keserasian dan sebagainya perlu diperjelaskan (**Paul**, 1978).

1. 4.1 Keserasian

Ungkapan keserasian membawa makna yang sinonim dengan kelarut campuran dan kedua-duanya ditemui saling boleh ditukar penggunaannya. Dalam hal penggunaan teknologi, keserasian pula dikaitkan dengan mudah atau senang fabrikasi, peningkatan atau gabungan sifat-sifat asal bagi dua polimer dalam satu adunan walaupun mungkin tidak larutcampur secara termodinamik (**Krause**, 1978; **Paul**, 1978).

Ultracki, (1990) telah melaporkan bahwa satu adunan serasi sebagai satu bahan yang dalam penggunaannya menunjukkan campuran polimer yang menarik secara komersial dari segi sifat-sifat, penggunaan dan sebagainya. Satu adunan dianggap serasi apabila dicampurkan tidak mempamerkan ciri-ciri pemisahan yang nyata dihasilkan (**Fox dan Allen**, 1985; **Paul**, 1978).

Satu campuran yang serasi selalunya dikatakan homogen atau seragam dan menunjukkan peningkatan sifat-sifatnya berbanding dengan komponen-komponennya masing-masing. Adunan dikatakan mempunyai darjah keserasian tertentu jika ia tidak

mempamerkan ciri-ciri pemisahan fizikal yang nyata dan memberikan sifat-sifat yang baik.

Polimer-polimer yang menunjukkan larutcampur separa atau yang rendah mempunyai perekatan antara fasa yang baik. Untuk meningkatkan keserasian daripada sistem yang tidak terlarutcampur (*immiscible*), adalah perlu untuk meningkatkan kelarutcampuran iaitu dengan merendahkan tegangan antaramuka melalui penggunaan bahan pengserasi (**Olabisi dan Farriham**, 1979; **Hopfenberge dan Paul**, 1978). Pelbagai kaedah boleh digunakan dalam mengkaji keserasian polimer (**Zawawi**, 1995; **Swapan Saha**, 2001; **Varughese dan De**, 1989). Kaedah-kaedah yang biasa digunakan dalam mengkaji keserasian polimer adalah kelikatan campuran polimer dalam larutan dan dalam bentuk pukal, kekuatan tensil, pemanjangan pada takat putus, morfologi, degradasi oksidatif termal bagi campuran polimer dan ketumpatan polimer.

1. 4. 2 Kelarutcampuran

Kelarutcampuran adalah untuk menerangkan fasa tunggal suatu adunan polimer. Kelarutan (*solubility*) adalah lebih tepat digunakan berbanding dengan keserasian dalam menerangkan pencampuran bahan-bahan dalam adunan polimer. Walau bagaimanapun, kelarutcampuran adalah sesuai digunakan dalam mempertimbangkan pasangan polimer yang akan digabungkan. Ini disebabkan penglibatan saiz yang besar, berat molekul yang besar, kepolaran dan faktor-faktor yang lain.

Beberapa cara umum seperti suhu peralihan kaca (T_g), sifat kejernihan optik dan resonans nuklear magnetik (NMR) dapat digunakan untuk menentukan sama ada adunan itu terlarutcampurkan atau sebaliknya. **Paul dan Barlow**, (1979) telah melaporkan sejak teknologi adunan diperkenalkan, lebih 400 adunan yang terlarutcampurkan telah dihasilkan dan kebanyakannya telah dikomersilkan. Walau

bagaimanapun, hanya beberapa adunan yang benar-benar terlarutcampurkan hingga telah dikomersilkan seperti poli(vinil klorida)/butadiena akrilonitril, poli(vinil klorida)/getah epoksida, dan poli(vinil klorida)/kloroprena (**Ratnam & Zaman, 1999a & 1999b; Ishiaku *et al.*, 1999; Swapan Saha, 2001**).

Kepentingan maklumat tentang kelarutcampuran polimer, bukan hanya terbatas untuk menghasilkan adunan larutcampur komersil. Akan tetapi ialah untuk mengenal pasti serta mempelajari modifikasi adunan dan mempertimbangkan sifat-sifat seperti kekuatan hentaman, kekuatan tensil, kestabilan termal, penghabluran dan sebagainya.

1. 4. 3 Keserasian Termodinamik

Bagi dua polimer yang serasi sepenuhnya sehingga ke peringkat molekul, proses pencampuran mesti menghasilkan pengurangan dalam tenaga Gibbs, ΔG_m .

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (1. 1)$$

Persamaan ini menghubungkan perubahan tenaga bebas pencampuran Gibbs, ΔG_m , entalpi, ΔH_m , dan entropi, ΔS_m (**Fried, 1995**). Entalpi, ΔH_m bergantung kepada tarikan atau tolakan antara dua polimer. Molekul yang berlainan cenderung menolak antara satu dengan lainnya. Oleh kerana itu, ΔH_m lazimnya adalah bernilai positif iaitu menunjukkan polimer tidak gemar bercampur. Entropi, ΔS_m bergantung kepada kerawakan yang berlaku semasa pemrosesan.

Molekul polimer yang besar menghasilkan kerawakan yang sederhana dalam pencampuran dan ini adalah tidak mencukupi untuk mengatasi tolakan antara molekul yang berlainan (ΔH_m). Sehingga, kebanyakan polimer adalah tidak serasi secara termodinamik dan terpisah kepada dua atau lebih fasa mikro (**Deanin & Manion, 1999**). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keserasian termodinamik dalam adunan polimer, iaitu :

1. Kepolaran
2. Berat molekul
3. Ko-penghabluran (*co-crystallization*)
4. Tarikan kumpulan spesifik
5. Nisbah adunan

Dalam kajian ini, tumpuan diberikan kepada faktor kepolaran. Jika dua polimer mempunyai kepolaran yang sama, ini akan mengurangkan tolakan antara bahan polimer (iaitu ΔH_m dan membenarkan kerawakan berlaku, ΔS_m) dan cenderung serasi secara termodinamik (**Deanin & Manion**, 1999). Untuk dua polimer yang serasi, ΔH_m yang diperoleh adalah bernilai negatif, kosong atau positif sedikit. Jika ΔH_m bernilai positif yang besar, komponen adunan akan terpisah kepada dua fasa yang berlainan (**Ebewele**, 2000).

1. 4. 4 Kaedah Penyebatian

Penyebatian bertujuan untuk mencapai kecerunan kepekatan dan seterusnya sifat-sifat tertentu sama ada fizikal, kimia, termal, optik dan lain-lain. Apabila sampel-sampel yang sangat kecil dikeluarkan atau diambil secara rawak serta dicirikan, ia akan memberikan sifat yang sama bagi setiap komponen adunan. Kebanyakan produk plastik bukannya polimer asli, tetapi campuran polimer asas dengan pelbagai bahan tambah (aditif) seperti pigmen, pelincir, penstabil, anti oksidan, perencat nyala, agen penguatan, pengisi, penserasi dan sebagainya.

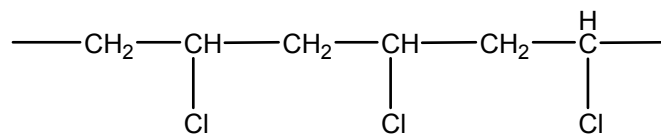
Sifat dan fungsi bahan tambah tersebut memberikan peranan penting dalam menentukan kaedah penyebatian. Oleh kerana itu, proses pencampuran memerlukan peralatan yang istimewa dan pertimbangan ciri rekabentuk yang sepadan untuk memenuhi justifikasi sebagai salah satu langkah permulaan dalam proses polimer (**White**, 1989; **Cheremisinoff**, 1987; **Mathew**, 1982).

Peretakan halus merupakan mekanisme utama bagi penguatan buat masa sekarang. Tetapi **Bucknall et al.**, (1987) melaporkan bahawa peretakan halus bukan sentiasa merupakan mekanisme dominan bagi kecacatan, sebagai contohnya adalah peretakan alah yang lebih penting dalam ABS daripada HIPS. Manakala adunan PVC terubah suai getah tidak mempamerkan peretakan halus ke atas ujian hentaman (**Bucknall**, 1983).

1.5 Poli(vinil klorida) (PVC)

1.5.1 Pengenalan

PVC adalah bahan yang separa sindiotaktik dengan ketaksekatan struktur yang cukup menyebabkan keahablurannya agak rendah. Pencirian struktur rumit disebabkan oleh kemungkinan berlakunya pencabangan rantai dan kecenderungan polimer tersebut untuk bersekutu dalam larutan. PVC berstruktur seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 1.6 (**Kok dan Poh**, 1987).



Rajah 1.6 : Struktur PVC

1.5.2 Sifat-Sifat PVC (**Andreas**, 1987)

Sifat-sifat poli(vinil klorida) (PVC) amat bergantung kepada berat molekulnya. PVC merupakan suatu polimer linear ataupun suatu termoplastik. Kehadiran atom Cl telah menyebabkan interaksi antara rantai bertambah, sehingga kekuatan dan kekakuannya dapat ditingkatkan. Sifat ketegaran dan fleksibilitinya yang berjulat besar pula mengakibatkan sangat mudah untuk menerima bahan-bahan penyebatan yang lain. Kepolaran atau kekutuban yang disebabkan oleh atom Cl berfungsi untuk meningkatkan rintangan terhadap pelarut yang tidak berkutub dan keterlarutannya

adalah amat rendah. Kelemahan utama PVC ialah kestabilan termalnya sangat terbatas.

1. 5. 3 Kestabilan dan Perosotan PVC

PVC secara relatif tidak stabil terhadap haba, cahaya dan kestabilan termal yang rendah. PVC yang mengalami perosotan akan mempamerkan suatu warna perang kemerahan dan ia dipercayai akibat daripada pembentukan turutan poliena berkonjugat yang panjang akibat berlakunya penyahhidroklorinan pada suhu tinggi (**Ehrenstein, 2001**). Permulaan secara termal melibatkan kehilangan atom klorin yang bersebelahan dengan beberapa ketaknormalan struktur, sehingga akan mengurangi kestabilan ikatan C-Cl (ketaktepuan hujung). Radikal klorin yang terbentuk akan mengekstrakkan satu atom hidrogen bagi membentuk HCl dan rantai yang radikal yang terhasil kemudian bertindak balas bagi membentuk ketaktepuan rantai dengan penjanaan semula radikal klorin (**Bill Meyer, 1971**). Di bawah suhu 200⁰C gas yang terbentuk daripada perosotan PVC kebanyakan merupakan hidrogen klorida. Pada suhu yang lebih tinggi daripada 200⁰C, sedikit benzena dan hidrokarbon (alifatik, tak tepu dan aromatik) akan dibebaskan.

Ketidakstabilan PVC berpunca daripada kecacatan struktur dalam polimer yang akan bertindak sebagai tapak permulaan penyahhidroklorinan (**Jerzy, 1986**), seperti:

1. Kumpulan hujung rantai dengan kumpulan tak tepu atau baki pemula
2. Titik cabang dengan atom klorin tertier
3. Ikatan dubel dengan atom klorin
4. struktur pengoksidaan
5. Struktur kepala ke kepala

Perosotan PVC oleh termal dan cahaya secara umumnya akan menurunkan sifat-sifat fizik dan mekanik serta menyebabkan penyahwarna PVC. Oleh itu, penstabilan PVC adalah suatu perkara penting (**Nass**, 1976; **Marcilla** dan **Beltran**, 1996). Banyak penstabil telah dihasilkan untuk memperbaiki kestabilan polimer terhadap haba dan cahaya. Garam daripada logam plumbum, barium, stanum/kadmium telah digunakan. Garam-garam oksida dan hidroksida/asid lemak adalah yang paling berkesan sekali (**Bill Meyer**, 1971). Sebatian Ba/Cd/Zn adalah agak banyak digunakan kerana kesan sinergik di antara Ba-Cd dan Cd-Zn yang memberikan kesan penstabilan yang baik dengan amaun yang kecil digunakan (**Ishiaku et al.**, 1996; **Beltran et al.**, 1999).

Selain daripada penambahan bahan penstabil, pemplastik juga digunakan bersama seperti pemplastik epoksi yang dapat membantu menstabilkan resin. Pemplastik yang ideal mesti mempunyai tiga keperluan iaitu keserasian, prestasi dan kecekapan (**Marcilla & Beltran**, 1996; **Saethre & Gilbert**, 1996; **Thomas et al.**, 1986).

1. 5. 4 Pemplastik

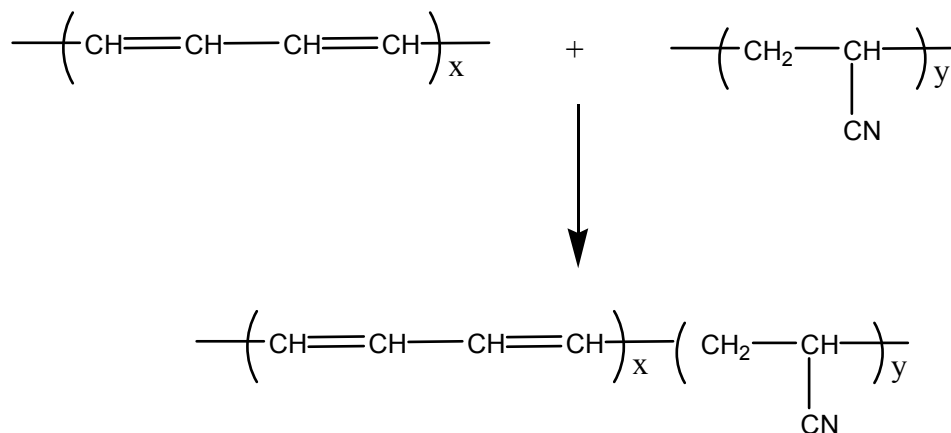
Pemplastik merupakan cecair stabil yang mempunyai takat didih yang tinggi. Pemplastik dapat saling melarut dengan PVC, mempunyai sifat pemeruapan rendah, kestabilan haba dan cahaya adalah baik, sifat-sifat elektrik baik dan retensi bagi fleksibiliti pada suhu rendah. Pemplastik dapat mengurangkan daya intermolekul dan merendahkan suhu peralihan kaca polimer (**Mousa et al.**, 1998; **Ishiaku et al.**, 1999; **Semsarzadeh et al.**, 2002). Kehadiran pemplastik dalam polimer akan dapat meningkatkan fleksibiliti, kelembutan, pemanjangan, tetapi merendahkan kekuatan tensil. Di-oktil fetalat (DOP) yang digunakan dalam adunan poli(vinil klorida) baru/getah akrilonitril butadiena (PVCv/NBR) dan poli(vinil klorida) kitar semula/getah akrilonitril

butadiena (PVCr/NBR) adalah pemplastik primer, yang mempunyai daya larutan yang optimum pada suhu rendah dan rintangan pemeruapan yang baik.

1. 6 Getah Akrilonitril Butadiena (NBR)

1. 6. 1 Pengenalan

Ko-polimer getah akrilonitril butadiena telah mula disintesis pada tahun 1930 oleh I. G. Farbenindustrie di Jerman dan mula dihasilkan secara industri pada tahun 1971. Tinjauan terhadap getah nitril secara keseluruhan telah dilaporkan oleh Hofmann pada tahun 1963 (**Whelan** dan **Lee**, 1983). Getah akrilonitril butadiena adalah polimer butadiena dan akrilonitril yang mempunyai nisbah kedua-dua monomernya. Ia dapat disediakan dalam sistem emulsi. Oleh kerana nisbah kereaktifan monomer sangat berbeza, komposisi yang dimasukkan (bahan suapan) dan polimer juga berbeza. Fakta ini biasanya diambil kira dengan menyelaraskan komposisi monomer sewaktu pempolimeran bagi mencapai komposisi yang dikehendaki. Beberapa gred terdapat di pasaran iaitu berjulat antara 18% akrilonitril (ketahanan minyak yang sederhana) hingga 40% akrilonitril (sangat tahan terhadap minyak) (**Arlie**, 1992). Tindak balas secara kimia bagi penghasilan NBR ditunjukkan pada Rajah 1. 7 (**Arlie**, 1992; **Ismail** dan **Shah Hashim**, 1998).



Rajah 1. 7 : Tindak balas kimia bagi penghasilan NBR

1. 6. 2 Sifat-Sifat NBR

Kumpulan akrilonitril (ACN) yang berketub akan menunjukkan sifat-sifat berpolar pada struktur NBR. Ini telah menyebabkan NBR dapat memberikan rintangan terhadap minyak mineral, bahan bendalir dan gris (**Bloomfield**, 1982). Ini bermakna selepas ia direndamkan ke dalam minyak /gasolin, keterlarutannya didapati rendah, pembengkakan turut sedikit ataupun ia dapat disekat daripada bersentuhan dengan bahan yang tidak berpolar. Keadaan ini juga berlaku pada hidrokarbon aromatik tertentu kerana NBR hanya mempunyai rintangan terhadap bahan yang kandungan hidrokarbonnya tidak melebihi 50% (**Blackley**, 1983).

Pembengkakan NBR adalah lebih besar dalam pelarut berketub daripada pelarut tidak berketub, tetapi ia boleh digunakan bersentuhan dengan air dan larutan anti sejuk beku. Ketahanannya terhadap etilena glikol juga baik. NBR juga mempunyai rintangan yang sangat baik terhadap alkali dan asid. Getah ini kurang bingkas daripada getah asli. Ia mempunyai julat suhu penggunaan yang besar (-65-300⁰F) kerana sifatnya yang tahan panas. Kekuatan tegangannya dan ketahanan abrasinya juga baik.

Salah satu kekurangan NBR adalah rintangannya sangat lemah terhadap ozon dan cahaya matahari. Rintangan terhadap pelarut beroksigen yang rendah juga menunjukkan kelemahannya, tetapi jika dilindungi dengan baik oleh pengoksida akan menunjukkan ketahanan yang baik terhadap degradasi pengoksidaannya. Vulkanizat NBR menunjukkan kekuatan tensil yang lemah, rintangan cabikan yang rendah dan tiada penghabluran terikan. Penambahan pengisi pengukuh seperti hitam karbon amat diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat NBR (**Barlow Fred**, 1993; **Celina et al.**, 1998; **Budrugeac**, 1995).

Sifat-sifat NBR amat bergantung kepada kesan perubahan nisbah akrilonitril kepada butadiena. Nisbah monomer adalah penting untuk menghasilkan getah akrilonitril butadiena dan mempengaruhi sifat-sifat getah tersebut secara langsung. Apabila pembebanan akrilonitril dalam suatu getah akrilonitril butadiena meningkat, maka kepekatan, kebolehprosesan, kadar pemvulkanan, set kekal, rintangan minyak, kebolehcampuran dengan polimer berpolar, dan kehilangan histeristis akan meningkat, manakala resiliens, fleksibiliti pada suhu rendah, keterlarutan dalam cecair aromatik dan resapan gas pula berkurang (**Blackley**, 1983; **Bhowmick et al.**, 1994).

NBR boleh dikelaskan mengikut pembebanan akrilonitril dalam getah akrilonitril butadiena kepada 5 kelas utama, iaitu:

1. Rendah (18-24% ACN)
2. Sederhana rendah (26-28% ACN)
3. Sederhana (34% ACN)
4. Sederhana tinggi (38-40% ACN)
5. Tinggi (50% ACN)

1. 7 Adunan-Adunan Berasaskan PVC

1. 7. 1 Adunan Berasaskan PVC

Tujuan pengadunan PVC dengan polimer-polimer lain dilakukan ialah untuk meningkatkan sifat-sifat PVC disamping untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat-sifat polimer lainnya. Berbagai jenis adunan yang didasarkan kepada PVC telah dikaji dan kebanyakannya membentuk adunan serasi dan separa serasi (**George et al.**,1986; **Varughese et al.**, 1989). Adunan yang melibatkan PVC banyak dihasilkan kerana sifat PVC yang baik terhadap rintangan kimia, murah, senang untuk diproses dan keupayaan untuk digabungkan dengan berbagai bahan tambah seperti pemplastik, pengubah suai hentaman, pengisi dan sebagainya (**Ishiaku & Mohd. Ishak, Z. A**, 1999; **Waveland**, 1973; **Miura et al.**, 2003).

1. 7. 2 Adunan PVC/PCI

Adunan PVC/PCI yang telah dikaji oleh **Minna (2003)** dan **Heuschen *et al.* (1990)**, menunjukkan adunan PVC/PCI mempunyai ketahanan terhadap degradasi panas. Penambahan PCI kepada PVC meningkatkan sifat suhu erotan haba dan adunannya dapat digunakan dalam bidang kesehatan. Penggunaan adunan jenis ini boleh didapati alat-alat permainan anak-anak, industri, dan pembungkus makanan.

1. 7. 3 Adunan PVC/PMMA

Adunan PVC/PMMA yang telah dikaji oleh **Manson (1976)**, mendapati bahawa adunan tersebut mempunyai sifat rintangan kimia yang baik. Penambahan PMMA terhadap PVC dapat meningkatkan sifat suhu erotan haba. Manakala kehadiran PVC dalam adunan tersebut akan meningkatkan sifat perencat nyalaan (**Perrin & Prud'homme, 1991**; **Havriliak & Williams, 1990**). Penggunaan adunan jenis ini boleh didapati dalam peralatan rumah, belakang kerusi, salur asap dan sebagainya (**Ultracki, 1995**).

1. 7. 4 Adunan PVC/ABS

Adunan ini telah dikaji menggunakan Brabender Plasticorder (**Zawawi, 1995**; **Khanna & Congdon, 1993**). Kesan parameter penyebatian seperti halaju rotor, suhu dan masa pencampuran telah diselidiki. Sifat tensil dan kajian morfologi adunan telah menunjukkan betapa pentingnya peranan parameter-parameter tersebut. Kehadiran pembolehserasi dalam adunan tersebut dapat memperbaiki sifat antara muka adunan walaupun dengan hanya penambahan 2% pembolehserasi. Dari hasil analisis FTIR menunjukkan bahawa ikatan hidrogen terlibat secara meluas dalam sistem PVC/ABS dengan kehadiran pembolehserasi.