

**SEMI-JARINGAN POLIMER SALING MENUSUK (SEMI-IPN) BERASASKAN  
GETAH ASLI MELALUI TEKNIK SINARAN**

**RADIN SITI FAZLINA NAZRAH BINTI HIRZIN**

**Tesis ini dikemukakan  
sebagai memenuhi syarat penganugerahan  
ijazah Sarjana Kejuruteraan Polimer**

**Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli  
Universiti Teknologi Malaysia**

**JANUARI, 2004**

## PENGHARGAAN

Syukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnianya dapat saya menyiapkan tesis ini. Saya ingin merakamkan ucapan terima kasih dan setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia utama saya Prof. Madya Dr. Hussin Mohd. Noor kerana telah memberikan bimbingan dan bantuan selama saya menyiapkan penyelidikan ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada penyelia kedua saya Dr. Dahlan Hj Mohd yang juga memberikan sumbangan dalam penyelidikan ini. Selain itu saya turut mengucapkan ribuan terima kasih kepada Universiti Teknologi Malaysia (UTM) yang menaja pengajian saya selama ini di bawah projek IRPA Rancangan Malaysia ke-7 (RM7) di bawah tajuk 'Production of Thermoplastic Elastomers Based on Reactive Liquid Natural Rubber.

Saya amat berterima kasih kepada Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT) yang membenarkan saya menjalankan penyelidikan tesis saya ini. Saya juga turut menghargai dan terhutang budi kepada ramai warga MINT terutama di Bahagian Teknologi Pemprosesan Sinaran (BTPS) dan Unit Kemudahan Alurtron (EBM) dalam menjalankan kajian terutamanya Encik Zahid Abdullah yang amat banyak membantu saya.

Akhir sekali saya ingin merakamkan penghargaan kepada keluarga saya terutamanya suami tercinta yang telah banyak memberikan dorongan kepada saya dalam menyiapkan tesis ini. Terima kasih

## ABSTRAK

Penyinaran alur elektron ke atas adunan getah asli terakrilat (ALNR)/getah asli (NR) untuk pembentukan semi jaringan polimer saling menyusuk (semi-IPNs) merupakan subjek utama dalam penyelidikan ini. Pada awalnya, NR didedahkan kepada sinaran ultra lembayung (UV) selama empat puluh jam untuk menghasilkan getah asli cecair (LNR) yang mempunyai berat molekul rendah. Proses tersebut diikuti dengan perawatan LNR dengan menggunakan agen penurun untuk menghasilkan ALNR melalui proses pengakrilatan. Berat molekul bagi LNR, HLNR dan ALNR diukur dengan menggunakan kromatografi penelapan gel (GPC). Pencirian struktur bagi HLNR, ALNR dan semi-IPN diselidik dengan menggunakan spektroskopi infra merah jelmaan fourier (FT-IR) dan resonans magnetik nuklear (NMR). Permeteran kalori pengimbasan kebezaan (DSC), penganalisis permeteran graviti haba (TGA) dan mesin ujian universal telah digunakan untuk mengkaji sifat-sifat fizik dan mekanik bagi semi-IPN yang terhasil. Kesan akrilat multifungsi (MFA), TPGDA dan TMPTA ke atas sifat-sifat semi-IPN turut dikaji. Keputusan menunjukkan TMPTA memberikan ketumpatan taut-silang dan nisbah gel yang lebih tinggi ke atas semi-IPN berbanding dengan TPGDA. Peningkatan di dalam sifat-sifat mekanik telah diperhatikan dengan penambahan dos sinaran. Sementara itu, keputusan DSC menunjukkan suatu suhu peralihan kaca ( $T_g$ ) tunggal bagi semi-IPN telah tercapai. Manakala pencirian TGA menunjukkan semi-IPN mempunyai kestabilan terma yang agak baik apabila didedahkan kepada dos sinaran 200 kGy. Morfologi bagi semi-IPN yang dikaji melalui mikroskopi pengimbasan elektron (SEM), mempamerkan keserasian semi-IPN yang diperolehi pada dos sinaran 200 kGy.

## ABSTRACT

Electron beam irradiation of acrylated liquid natural rubber (ALNR)/natural rubber (NR) blends to form semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPNs) was the subject of study in this work. Initially, NR was subjected to ultra violet (UV) radiation for about forty hours to produce a low molecular weight liquid natural rubber (LNR). The process was followed by treatment of the LNR with a reducing agent to produce hydroxylated liquid natural rubber (HLNR) which was then converted to ALNR by an acrylation process. The molecular weights of LNR, HLNR and ALNR were determined using gel permeation chromatography (GPC). Structural characterization of the HLNR, ALNR and the semi-IPN were investigated by fourier transform infrared (FT-IR) and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopies. Differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetry analyzer (TGA) and universal testing machine were used to study the physical and mechanical properties of the semi-IPNs. The effects of multifunctional acrylates (MFA), TPGDA and TMPTA on the properties of semi-IPNs were also studied. From the results obtained it was found that the TMPTA gave higher crosslink density and gel fraction of the semi-IPNs as compared to TPGDA. Enhancement in the mechanical properties was achieved with the increase of radiation dose. It was evident from the DSC results that the semi-IPNs produced exhibited glass transition temperatures ( $T_g$ ). In addition, the TGA characterization showed that the semi-IPNs have a good thermal stability when they were exposed to 200 kGy of radiation dose. The morphology of semi-IPNs, which were studied by scanning electron microscopy (SEM), indicated the compatibility of semi-IPN obtained at 200 kGy radiation dose.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGAJUAN</b>	ii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iii
	<b>ABSTRAK</b>	iv
	<b>ABSTRACT</b>	v
	<b>KANDUNGAN</b>	vi
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xiii
	<b>SENARAI ISTILAH</b>	xvii
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxii
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xxv

## BAHAGIAN SATU

### PENGENALAN

<b>BAB I</b>	<b>PENGENALAN</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Penyataan Masalah	3
	1.3 Objektif Penyelidikan	4
	1.4 Skop Kajian	4

**BAHAGIAN DUA**  
**KAJIAN LITERATUR**

<b>BAB II</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	
2.1	Getah Asli	6
2.1.1	Struktur dan Komposisi	6
2.1.2	Berat Molekul dan Taburan Berat Molekul	8
2.2	Getah Asli Cecair	10
2.2.1	Pengenalan	10
2.2.2	Getah Asli Cecair Terfungsi	11
2.2.3	Akrlat Berasaskan Getah Asli	13
2.3	Jaringan Polimer Saling Menusuk	15
2.3.1	Pengenalan	15
2.3.2	IPN Akrlat	18
2.3.3	IPN Berasaskan NR	20
2.3.4	Morfologi	21
2.3.5	Aplikasi Semi-IPN	23
2.4	Pempolimeran Melalui Sinaran	23
2.4.1	Kesan Sinaran Tenaga Tinggi ke atas Polimer	23
2.4.2	Aplikasi Teknik Sinaran	29
2.4.3	Multifungsi Akrlat Sebagai Penaut-silang	30
2.4.4	Kelebihan Teknik Sinaran	32

**BAHAGIAN TIGA**  
**METODOLOGI**

<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI</b>	
3.1	Bahan-bahan Kimia	34
3.2	Reaktor Penyahpolimeran (Depolymerization Reactor)	35
3.3	Ujikaji	35
3.3.1	Penyahpolimeran Getah Asli	35
3.3.2	Penyediaan Getah Asli Cecair Terhidroksil	37
3.3.3	Penyediaan Getah Asli Cecair Terakrilat	38
3.3.4	Penyediaan Semi-IPN Berasaskan NR Melalui Teknik Sinaran Menggunakan Alur Elektron	39
3.4	Pencirian	41
3.4.1	Analisis Infra Merah Jelmaan Fourier	41
3.4.2	Analisis Resonans Magnetik Nuklear	41
3.4.3	Pengukuran Berat Molekul Menggunakan Analisis Kromotografi Penelapan Gel	42
3.4.4	Pengukuran Ketumpatan Taut-Silangan	42
3.4.5	Pengukuran Kandungan Gel	43
3.4.6	Kajian Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan	43
3.4.7	Kajian Penganalisis Permeteran Graviti Haba	44
3.4.8	Kajian Mikroskopi Pengimbasan Elektron	44
3.4.9	Pengukuran Regangan dan Pemanjangan	44

**BAHAGIAN EMPAT  
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN**

<b>BAB IV</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1	Getah Asli Cecair	45
4.1.1	Analisis GPC ke atas Penurunan Berat Molekul	45
4.1.2	Analisis Infra Merah Jelmaan Fourier	49
4.2	Getah Asli Cecair Terhidroksil	54
4.2.1	Analisis Infra Merah Jelmaan Fourier	54
4.2.2	Analisis Resonans Magnetik Nuklear	58
4.2.2.1	Analisis NMR proton-1	58
4.2.2.2	Analisis NMR karbon-13	61
4.3	Getah Asli Cecair Terakrilat	66
4.3.1	Analisis Infra Merah Jelmaan Fourier	66
4.3.2	Analisis Resonans Magnetik Nuklear	70
4.3.2.1	Analisis NMR proton-1	70
4.3.2.2	Analisis NMR karbon-13	73
4.4	Semi-IPN Berasaskan NR	79
4.4.1	Kajian Terhadap Pembentukan Taut-Silangan	79
4.4.1.1	Kesan Komposisi ALNR/NR	80
4.4.1.2	Kesan Dos Sinaran Berbeza	84
4.4.1.3	Kesan Jenis Agen Taut-Silang	88
4.4.2	Analisis Infra Merah Jelmaan Fourier	92
4.4.3	Kajian Sifat Mekanik	99
4.4.3.1	Kekuatan Regangan	99
4.4.3.2	Pemanjangan Takat Putus	105
4.5	Kajian Permeteran Kalori Pengimbasan Kebezaan	110
4.6	Kajian Penganalisis Permeteran Graviti Haba	113
4.7	Kajian Mikroskopi Pengimbasan Elektron	116



**BAHAGIAN LIMA  
KESIMPULAN DAN CADANGAN**

<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	
	5.1 Kesimpulan	122
	5.2 Cadangan	124

**BAHAGIAN ENAM  
RUJUKAN**

<b>RUJUKAN</b>	125
----------------	-----

## SENARAI JADUAL

NO.JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Komponen tipikal kandungan bukan getah NRL	8
2.2	Komposisi tipikal getah asli pepejal	8
2.3	Berat dan taburan berat molekul getah asli untuk sebahagian gred komersil	9
2.4	Kaedah fotokimia penghasilan FLNR	12
2.5	Pengelasan bagi IPN	16
2.6	Penggunaan semi-IPN	23
2.7	Kesan sinaran ke atas polimer	26
2.8	Contoh monomer MFA	31
3.1	Bahan-bahan kimia	34
3.2	Formula tipikal LNR	37
3.3	Komposisi bagi ALNR/NR	40
4.1	Data kepoliserakan LNR hasil daripada pendedahan kepada sinaran UV	47
4.2	Puncak cerapan FT-IR bagi NR dan LNR	49
4.3	Puncak cerapan FT-IR bagi NR, LNR dan HLNR	54
4.4	Anjakan kimia NMR proton-1 dan struktur HLNR yang berkenaan	58
4.5	Anjakan kimia NMR karbon-13 dan struktur HLNR yang berkenaan	62
4.6	Puncak cerapan FT-IR bagi NR, LNR, HLNR dan ALNR	66

4.7	Anjakan kimia NMR proton-1 dan struktur ALNR yang berkenaan	70
4.8	Anjakan kimia NMR karbon-13 dan struktur ALNR yang berkenaan	73
4.9	Kesan komposisi semi-IPN ke atas ketumpatan taut-silang dan peratus kandungan gel	80
4.10	Kesan dos sinaran bagi semi-IPN	84
4.11	Kesan TMPTA dan TPGDA ke atas semi-IPN	88
4.12	Puncak cerapan bagi semi-IPN sebelum dan selepas sinaran	92
4.13	Puncak cerapan bagi TMPTA	95
4.14	Kesan komposisi semi-IPN ke atas kekuatan regangan	99
4.15	Kesan dos sinaran ke atas kekuatan regangan semi-IPN	101
4.16	Kesan TPGDA dan TMPTA ke atas kekuatan regangan semi-IPN	103
4.17	Kesan komposisi semi-IPN ke atas pemanjangan takat putus	105
4.18	Kesan dos sinaran ke atas pemanjangan takat putus semi-IPN	107
4.19	Kesan TMPTA dan TPGDA ke atas pemanjangan takat putus semi-IPN	107
4.20	Suhu peralihan kaca, $T_g$ bagi NR, ALNR dan semi-IPN pada dos berbeza	111
4.21	Suhu peralihan kaca, $T_g$ bagi semi-IPN untuk jenis agen taut-silang berbeza	113
4.22	Kehilangan berat (%) semi-IPN pada dos sinaran berbeza	114

## SENARAI RAJAH

NO.RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Isoprena	6
2.2	Sis-1,4-Poliisoprena	7
2.3	Trans-1,4-Poliisoprena	7
2.4	Getah Asli Cecair Terhidroksil (HLNR)	11
2.5	IPN unggul (IPN penuh)	15
2.6	(a) IPN jujukan; (b) IPN serentak; (c) semi-I IPN; (d) semi-II IPN di mana; X dan Y: penaut-silang	17
2.7	Struktur umum polimer yang boleh mengalami proses a) taut-silang dan b) degradasi	27
2.8	Pembentukan taut-silang	27
3.1	Reaktor penyahpolimeran NR	36
4.1	$M_w$ melawan masa penyinaran bagi kepekatan larutan getah 2%	46
4.2	Kesan masa penyinaran (jam) terhadap masa eluen GPC	48
4.3	Spektrum FT-IR bagi NR dan LNR	50
4.4	Spektrum FT-IR bagi NR, LNR dan HLNR	55
4.5	Spektrum NMR proton-1 bagi HLNR	59
4.6	Spektrum NMR karbon-13 bagi HLNR	63

4.7	Spektrum FT-IR bagi NR, LNR, HLNR dan ALNR	67
4.8	Spektrum NMR proton-1 bagi ALNR	71
4.9	Spektrum NMR karbon-13 bagi ALNR	74
4.10	Graf ketumpatan taut-silang melawan % komposisi ALNR/NR bagi semi-IPN yang disediakan pada dos 200 kGy	82
4.11	Graf % kandungan gel melawan % komposisi ALNR/NR bagi semi-IPN yang disediakan pada dos 200 kGy	83
4.12	Graf ketumpatan taut-silang melawan dos sinaran bagi semi-IPN yang disediakan pada komposisi ALNR/NR:40/60	85
4.13	Graf % kandungan gel melawan dos sinaran bagi semi-IPN yang disediakan pada komposisi ALNR/NR:40/60	87
4.14	Graf ketumpatan taut-silang melawan % agen taut-silang bagi semi-IPN dengan komposisi ALNR/NR:40/60 yang disediakan pada dos 200 kGy	89
4.15	Graf % kandungan gel melawan dos % agen taut-silang bagi semi-IPN dengan komposisi ALNR/NR:40/60 yang disediakan pada dos 200 kGy	91
4.16	Spektrum FT-IR bagi semi-IPN [ALNR/NR:40/60, TMPTA:3% (berat/berat)] sebelum dan selepas penyinaran	93
4.17	Spektrum FT-IR bagi NR/TMPTA [TMPTA:3% (berat/berat)] dan semi-IPN [ALNR/NR:40/60, TMPTA:3% (berat/berat)] sebelum dan selepas penyinaran	96

4.18	Graf kekuatan regangan melawan % komposisi ALNR/NR bagi semi-IPN yang disediakan pada dos 200 kGy	100
4.19	Graf kekuatan regangan melawan dos sinaran bagi semi-IPN yang disediakan pada komposisi ALNR/NR:40/60	102
4.20	Graf kekuatan regangan melawan % agen taut-silang bagi semi-IPN dengan komposisi ALNR/NR:40/60 yang disediakan pada dos 200 kGy	104
4.21	Graf % pemanjangan takat putus melawan % komposisi ALNR/NR bagi semi-IPN yang disediakan pada dos 200 kGy	106
4.22	Graf % pemanjangan takat putus melawan dos sinaran bagi semi-IPN yang disediakan pada komposisi ALNR/NR:40/60	108
4.23	Graf % pemanjangan takat putus melawan % agen taut-silang bagi semi-IPN dengan komposisi ALNR/NR:40/60 yang disediakan pada dos 200 kGy	109
4.24	Suhu peralihan kaca ( $T_g$ ) pada dos sinaran berbeza bagi semi-IPN	112
4.25	Kehilangan berat (%) melawan suhu bagi semi-IPN yang disediakan pada dos berbeza	115
4.26	(a) Mikrograf SEM bagi NR, (b) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 0 kGy mengandungi TMPTA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang: $0.002 \times 10^{-5} \text{ g mol/cm}^3$ )	117

- 4.26 (c) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 50 kGy mengandungi TMPTA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang:  $3.22 \times 10^{-5}$  g mol/cm<sup>3</sup>), (d) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 0 kGy mengandungi TMPTA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang:  $4.47 \times 10^{-5}$  g mol/cm<sup>3</sup>) 118
- 4.26 (e) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 0 kGy mengandungi TMPTA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang:  $5.10 \times 10^{-5}$  g mol/cm<sup>3</sup>), (f) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 0 kGy mengandungi TMPTA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang:  $5.58 \times 10^{-5}$  g mol/cm<sup>3</sup>) 119
- 4.26 (g) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 0 kGy mengandungi TPGDA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang:  $0.001 \times 10^{-5}$  g mol/cm<sup>3</sup>), (h) Mikrograf SEM bagi semi-IPN pada dos sinaran 200 kGy mengandungi TPGDA sebagai agen taut-silang (ketumpatan taut-silang:  $4.08 \times 10^{-5}$  g mol/cm<sup>3</sup>) 120

## SENARAI ISTILAH

<b>Istilah Melayu</b>	<b>Istilah Inggeris</b>
Akriolat multifungsi	<i>Multifunctional acrylate</i>
Akriolat klorida	<i>Acryloyl chloride</i>
Ampul	<i>Swelling</i>
Alkohol tertier	<i>Tertiary alcohol</i>
Arus alur	<i>Beam current</i>
Asid akrilik anhidrida	<i>Anhydride acrylic acid</i>
Azobisisobotironitril	<i>Azobisisobutyronitrile</i>
Benzofenon	<i>Benzophenone</i>
Benzoil peroksida	<i>Benzoyl peroxide</i>
Berat molekul purata berat	<i>Weight average molecular weight</i>
Berat molekul purata nombor	<i>Number average molecular weight</i>
n-butil akrilat	<i>n-butyl acrylate</i>
Darjah keselanjaran	<i>Degree of continuity</i>
Darjah keselanjaran fasa duaan	<i>Degree of dual-phase continuity</i>
Darjah pemisahan mikrofasa terkawal	<i>Controlled degree of microphase separation</i>
4,4- difenilmetana diisosianat	<i>4,4- diphenylmethane diisocyanate</i>
Dikumil peroksida	<i>Dicumyl peroxide</i>
Divinilbenzena	<i>Divinylbenzene</i>
Ekaserakan	<i>Monodisperse</i>
Elastomer boleh taut-silang foto	<i>Photocrosslinkable elastomers</i>
2-etilheksil akrilat	<i>2-ethylhexyl acrylate</i>
Etilena dwigantian	<i>Disubstituted ethylene</i>
Etilena monogantian	<i>Monosubstituted ethylene</i>
Fenoksi etil akrilat	<i>Phenoxy etyl acrylate</i>



Ferum	<i>Ferum</i>
Getah asli	<i>Natural rubber</i>
Getah asli cecair	<i>Liquid natural rubber</i>
Getah asli cecair terakrilat	<i>Acrylated liquid natural rubber</i>
Getah asli cecair terfungsi	<i>Functionalized liquid natural rubber</i>
Getah asli terepoksida	<i>Epoxidized natural rubber</i>
Getah asli cecair terepoksida terakrilat	<i>Acrylated epoxidized liquid natural rubber</i>
Getah asli cecair terhidroksil	<i>Hydroxylated liquid natural rubber</i>
Getah asli termoplastik	<i>Thermoplastic natural rubber</i>
Getah nitril butadiena	<i>Nitrile butadiene rubber</i>
Getah stirena butadiena	<i>Styrene butadiene rubber</i>
Guntingan rantai oksidatif	<i>Oxidative chain scission</i>
Heksanadiol diakrilat	<i>Hexanediol diacrylate</i>
Hidroksil	<i>Hydroxyl</i>
Hidroperoksida	<i>Hydroperoxide</i>
Infra merah jelmaan fourier	<i>Fourier transform infra-red</i>
Isoprena	<i>Isoprene</i>
Jaringan polimer saling-menusuk	<i>Interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk jujukan	<i>Sequential interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk penuh	<i>Full interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk pseudo	<i>Pseudo interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk serentak	<i>Simultaneous interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk semi-I	<i>Semi-I interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk semi-II	<i>Semi-II interpenetrating polymer networks</i>
Jaringan polimer saling- menusuk termoplastik	<i>Thermoplastic interpenetrating polymer networks</i>
Kadar dos per laluan	<i>Dose rate per pass</i>
Kakisan rongga	<i>Cavitation corrosion</i>
Kandungan getah kering	<i>Dry rubber content</i>
Karbonil	<i>Carbonyl</i>
Karbon kuarterer	<i>Quaternary carbon</i>
Kasau lintang	<i>Crosshead speed</i>

Kateter	<i>Catheters</i>
Kebolehergerakan beruas	<i>Segmental mobility</i>
Kefungsian	<i>Functionality</i>
Kegagalan lesu	<i>Fatigue failure</i>
Kehadiran segera	<i>Immediate presence</i>
Kelajuan penghantar	<i>Conveyer speed</i>
Kelebaran imbasan	<i>Scan width</i>
Keseimbangan	<i>Equilibrium</i>
Keselanjaran fasa duaan	<i>Dual-phase continuity</i>
Kesepaduan	<i>Closeness</i>
Keserasian	<i>Compatibility</i>
Ketajaman antara muka	<i>Interfacial sharpness</i>
Kobalt	<i>Cobalt</i>
Ko-fasa selanjar	<i>Co-continous phase</i>
Kromotografi penelapan gel	<i>Gel permeation chromatography</i>
Lateks getah asli	<i>Natural rubber latex</i>
Lateks getah asli tervulkan	<i>Radiation vulcanization natural rubber latex</i>
Mekanisma radikal bebas teraruh sinaran	<i>Radiation-induced free radical mechanisme</i>
Metanol	<i>Methanol</i>
4,4- metilena bis (sikloheksil isosianat)	<i>4,4-methylene bis (cyclohexyl isocyanate)</i>
Mikroskopi penghantaran elektron	<i>Transmission electron microscopy</i>
Mikroskopi pengimbasan elektron	<i>Scanning electron microscopy</i>
Mod pemindahan	<i>Transmittant mod</i>
Mod tanpa gangguan	<i>Noninterfering mod</i>
Morfologi berbilang fasa	<i>Multiphase morphology</i>
Nitrobenzena	<i>Nitrobenzene</i>
Nombor gelombang	<i>Wave number</i>
Orientasi molekul	<i>Molecul orientation</i>
Pemanas air	<i>Water bath</i>
Pemeka	<i>Sensitizer</i>
Pemvulkanan sinaran lateks getah asli	<i>Radiation vulcanization natural rubber latex</i>
Penaut-silangan	<i>Crosslinking</i>
Pendingin atau penyejuk	<i>Chiller</i>

Penganalisis permeteran graviti haba	<i>Thermogravimetry analyzer</i>
Pengelasan	<i>Gelation</i>
Penguraian secara berturutan	<i>Decomposition succesively</i>
Penyahpolimeran	<i>Depolymerization</i>
Penyejat berputar	<i>Rotary evaporater</i>
Percantuman	<i>Grafting</i>
Peredam getaran	<i>Vibration damper</i>
Permeteran kalori pengimbasan kebezaan	<i>Differential scanning calorimeter</i>
Penganalisis permeteran graviti haba	<i>Thermogravimetry analyzer</i>
Poliakrilat	<i>Polyacrylate</i>
Poli(alkil metakrilat)	<i>Poly(alkyl methacrylate)</i>
Poli(butil akrilat)	<i>Poly(butyl acrylate)</i>
Poli(n-butil akrilat)	<i>Poly(n-butyl acrylate)</i>
Poli(n-butil metakrilat)	<i>Poly(n-butyl methacrylate)</i>
Poli(eter) uretana	<i>Poly(ether) urethane</i>
Poli(etil metakrilat)	<i>Poly(ethyl methacrylate)</i>
Poliisoprena	<i>Polyisoprene</i>
Poliisoprena akrilat	<i>Acrylate polyisoprene</i>
Polimer hablur-cecair	<i>Liquid-crystal polymer</i>
Poli(metil metakrilat)	<i>Poly(methyl methacrylate)</i>
Polipropilena	<i>Polypropylene</i>
Polistirena	<i>Polystyrene</i>
Poliuretana	<i>Polyurethane</i>
Poliuretana termoplastik	<i>Thermoplastic urethane</i>
Puncak-puncak ciri	<i>Characteristic peaks</i>
Putaran per minit	<i>Rotation per minute</i>
Reaktor penyahpolimeran	<i>Depolymerization reactor</i>
Resonans magnetik nuklear	<i>Nuclear magnetic resonance</i>
Saesium-137	<i>Caesium-137</i>
Saling terkunci	<i>Interlocked</i>
Sebatian pakal	<i>Caulking compound</i>
Semi-jaringan polimer saling-menusuk	<i>Semi-interpenetrating polymer networks</i>
Sifat redaman	<i>Damping properties</i>

Sinar gamma	<i>Gamma radiation</i>
Sis-1,4-poliisoprena	<i>Cis-1,4-polyisoprene</i>
Sistem polimer tunggal fasa terpisah	<i>Phase-separated single polymer system</i>
Stirena	<i>Styrene</i>
Suhu lebur	<i>Melting point</i>
Suhu peralihan kaca	<i>Glass transition temperature</i>
Tetrabutyl ammonium bromida	<i>Tetrabutyl ammonium bromide</i>
Tetraetilenaglikol dimetakrilat	<i>Tetraethyleneglycol dimethacrylate</i>
Tetrahidrofuran	<i>Tetrahydrofuran</i>
Tetrametilolmetana tetraakrilat	<i>Tetramethylolmethane tetraacrylate</i>
Tindak balas pemanjangan rantai lanjutan	<i>Further chain extension reaction</i>
Toluena	<i>Toluene</i>
Toluena diisosianat	<i>Toluene diisocyanate</i>
Trans-1,4-poliisoprena	<i>Trans-1,4-polyisoprene</i>
Trietilamina	<i>Triethylamine</i>
Trimetilolpropena triakrilat	<i>Trimethylolpropene triacrylate</i>
Trimetilolpropena trimetakrilat	<i>Trimethylolpropene trimethacrylate</i>
Tripropilenaglikol diakrilat	<i>Tripropyleneglycol diacrylate</i>
Ultra lembayung	<i>Ultra violet</i>
Voltan pecutan	<i>Accelerating voltage</i>

## SENARAI SINGKATAN

Akrilat multifungsi	MFA
Akriolil klorida	AC
Asid akrilik anhidrida	AAA
Azobisisobotironitril	AIBN
Benzoil peroksida	BPO
Berat molekul purata berat	$M_w$
Berat molekul purata nombor	$M_n$
n-butil akrilat	nBA
<i>Duterated chloroform</i>	$CDCl_3$
4,4- difenilmetana diisosianat	MDI
Dikumil peroksida	DCP
Divinilbenzena	DVB
2-etilheksil akrilat	EHA
Fenoksi etil akrilat	PEA
Ferum	Fe
Gram	g
Getah asli	NR
Getah asli cecair	LNR
Getah asli cecair terakrilat	ALNR
Getah asli cecair terfungsi	FLNR
Getah asli terepoksida	ENR
Getah asli cecair terepoksida terakrilat	AELNR
Getah asli cecair terhidroksil	HLNR

Getah asli termoplastik	TPNR
Getah nitril butadiena	NBR
Getah stirena butadiena	SBR
1,6 heksanadiol diakrilat	HDDA
Hidroksil	OH
Jaringan polimer saling- menusuk jujukan	Sequential IPN
Jaringan polimer saling- menusuk penuh	Full IPN
Jaringan polimer saling- menusuk pseudo	Pseudo IPN
Jaringan polimer saling- menusuk serentak	Simultaneous IPN
Jaringan polimer saling- menusuk semi-I	Semi-I IPN
Jaringan polimer saling- menusuk semi-II	Semi-II IPN
Jaringan polimer saling- menusuk termoplastik	Thermoplastic IPN
Kandungan getah kering	DRC
Karbon-13	<sup>13</sup> C
Kobalt	Co
Kromotografi penelapan gel	GPC
Lateks getah asli	NRL
Lateks getah asli ter vulkan	RVNRL
4,4- metilena bis (sikloheksil isosianat)	HMDI
Metoksi polietilena glikol	MPGA
Mikroskopi penghantaran elektron	TEM
Mikroskopi pengimbasan elektron	SEM
Mililiter	ml
Pemvulkanan sinaran lateks getah asli	RVNRL
Penganalisis permeteran graviti haba	TGA
Permeteran kalori pengimbasan kebezaan	DSC
Penganalisis permeteran graviti haba	TGA
Poliakrilat	PA
Poli(alkil metakrilat)	PAMA
Poli(butil akrilat)	PBA
Poli(n-butil akrilat)	PnBA
Poli(n-butil metakrilat)	PnBMA
Poli(eter) uretana	PUR

Poli(etil metakrilat)	PEMA
Poliisoprena	PI
Poliisoprena akrilat	API
Poli(metil metakrilat)	PMMA
Polipropilena	PP
Polistirena	PS
Poliuretana	PU
Poliuretana termoplastik	TPU
Proton-1	$^1\text{H}$
Putaran per menit	rpm
Resonans magnetik nuklear	NMR
Semi-jaringan polimer saling-menusuk	Semi-IPN
Suhu lebur	$T_m$
Suhu peralihan kaca	$T_g$
Taburan berat molekul	MWD
Tetraetilenaglikol dimetakrilat	TEGDM
Tetrahidrofuran	THF
Tetrametilolmetana tetraakrilat	TMMTA
Toluena diisosianat	TDI
Trietilamina	TEA
Trimetilolpropena triakrilat	TMPTA
Trimetilolpropena trimetakrilat	TMPTMA
Tripropilenaglikol diakrilat	TPGDA
Ultra lembayung	UV

**SENARAI SIMBOL**

$f_n$	Kefungsian
$\nu$	Nombor gelombang
$\gamma$	Sinar gamma



## BAB I

### PENGENALAN

#### 1.1 Pengenalan

Jaringan polimer saling menusuk (*interpenetrating polymer networks*, IPN) adalah didefinisikan sebagai campuran dua atau lebih jaringan polimer tertaut-silang yang mempunyai pengikatan fizikal separa atau penuh di antaranya. Komponen polimer IPN menunjukkan pemisahan fasa akibat daripada ketidakbolehserasian kekal dalam polimer. Ciri saling menusuk memainkan peranan penting dalam mengekalkan pencampuran antara komponen polimer melalui percantuman fizikal di mana wujud pemisahan fasa selanjutnya apabila pempolimeran pada takat gel dicapai (Kim dan Kim, 1990).

Teknik yang ada pada masa ini untuk memperbaiki keserasian dalam adunan atau campuran polimer boleh dikelaskan kepada dua kategori, iaitu fizikal dan kimia. Penghasilan IPN melalui teknik fizikal telah dibuktikan amat berhasil (Klempner dan Berkowski, 1984). Kesimpulan asas dan penting dalam kajian IPN adalah struktur taut-silang antara satu atau kedua-dua polimer yang memberikan kelebihan kepada keserasian seperti yang ditunjukkan oleh saiz fasa, kawasan permukaan fasa spesifik, bentuk, ketajaman antara muka (*interfacial sharpness*) dan darjah keselanjaran (*degree of continuity*) (Alcantara, *et al.* 1999).

Morfologi IPN dan sifat-sifatnya bergantung kepada beberapa faktor seperti kebolehcampuran jujuk-jujuk, kadar pembentukan jaringan dan pergerakan rantai.

Faktor-faktor tersebut mempunyai kaitan dengan keadaan proses penyediaan IPN seperti suhu sintesis, tekanan sintesis dan komposisi yang terlibat dalam pencampurannya (Kim dan Kim, 1990).

IPN menunjukkan potensi yang amat tinggi yang mana di antara bahan-bahan polimer yang telah dikaji menunjukkan sifat redaman (*damping properties*) yang baik pada julat suhu yang luas. Wilfong, *et al.* (1997) telah melaporkan bahawa IPN berasaskan akrilat adalah sesuai untuk bahan redam bagi mengurangkan getaran dalam struktur bangunan dan komponen-komponen bagi alatan seperti automobil, kapal terbang, perkakasan industri dan kegunaan-kegunaan lain yang memerlukan suhu yang tinggi.

Penyediaan semi-jaringan polimer saling menembus (semi-IPN) melalui resin epoksi/poliuretana yang amat berguna dalam penyalutan rintangan kakisan rongga (*cavitation corrosion*) telah dilaporkan (Li dan Mao, 1996). Lapisan penyalutan pelindung (*protective coating*) memberikan beberapa sifat seperti perekatan ke atas logam, rintangan kehausan, rintangan air, kekuatan elastik dan sifat redaman yang baik.

Mauler, *et al.* (1998) telah melaporkan bahawa poliisoprena akrilat (API) boleh bertindak balas dengan [(4'-metilfenil) benzoiloksi-4-oksitetrametilena] akrilat untuk menghasilkan polimer hablur cecair yang mempunyai sifat baru. Maka dalam kajian ini, semi-IPN berasaskan getah asli (NR) disediakan melalui pempolimeran getah asli cecair terakrilat (ALNR) dengan kehadiran NR. ALNR diperolehi melalui modifikasi pengakrilatan getah asli cecair terhidroksil (HLNR).

## 1.2 Penyataan Masalah

Dalam beberapa tahun kebelakangan ini, penghasilan produk dari NR lebih menumpu kepada tayar, sarung getah, pendawaian, kateter dan tiub. Dengan itu kajian selanjutnya adalah perlu untuk menemui produk baru dari NR. Salah satu produk yang berpotensi tinggi dan boleh dibangunkan adalah IPN berasaskan getah asli (NR).

Seperti yang dijelaskan dalam seksyen 1.1, IPN adalah bahan yang mempunyai sifat yang amat istimewa iaitu sifat fizikal dan redaman yang baik. Sifat ini diperolehi daripada percantuman kekal rantai melalui taut-silang kimia. Taut-silang ini memberikan saiz domain fasa dan morfologi fasa yang sangat baik (Hourston dan Schafer, 1996). Ketumpatan taut silang jaringan polimer dipercayai mempengaruhi sifat mekanikal dan redaman (Li dan Mao, 1996). Bahan polimer ini sesuai digunakan untuk pengawalan bunyi dan pencegahan dalam kegagalan lesu (*fatigue failure*) terutamanya bagi pesawat udara, automobil dan jentera.

Seperti yang dilaporkan dalam literatur (Ibrahim Abdullah dan Dahlan Hj Mohd, 1998), getah asli cecair terfungsi (FLNR) boleh digunakan sebagai bahan penserasi atau pun sebagai agen antara muka untuk memperbaiki sifat mekanik adunan getah asli/termoplastik. Dalam kajian sebelumnya, modifikasi FLNR boleh menjurus kepada pembentukan getah asli cecair (LNR) baru yang mempunyai kumpulan hujung vinil iaitu ALNR. Amat menarik di sini ialah ALNR berupaya mempolimer dan merupakan oligomer cecair yang mempunyai kereaktifan yang tinggi. Oleh itu kajian ini memberi penumpuan kepada keupayaan ALNR digunakan dalam pembangunan semi-IPN berasaskan NR melalui teknik sinaran menggunakan alur elektron.

NR dipercayai dapat menghasilkan produk kuat tetapi lembut yang sesuai untuk pelbagai kegunaan terutamanya dalam pemesinan dan pembinaan. Dalam kajian sebelum ini dilaporkan bahawa adunan bahan seperti poliuretana termoplastik

(TPU) dengan sis-1,4-poliisoprena memberikan sifat yang cemerlang bagi pembentukan IPN (Mishra, *et al.* 1994).

### 1.3 Objektif Penyelidikan

- i) Mensintesis dan mencirikan LNR, HLNR dan ALNR yang mempunyai berat molekul purata berat ( $M_w$  dalam lingkungan 14,000 g/mol) terutamanya untuk mengenalpasti kumpulan berfungsi yang terbentuk.
- ii) Menyediakan semi-IPN menggunakan ALNR sebagai bahan mula dan monomer multifungsi sebagai bahan penaut-silang.
- iii) Mengkaji sifat mekanik dan terma semi-IPN.
- iv) Mengkaji morfologi semi-IPN.

### 1.4 Skop Kajian

- i) Penyediaan HLNR dilakukan menggunakan teknik fotokimia melalui penyinaran dengan UV diikuti dengan rawatan menggunakan agen penurunan. ALNR diperolehi melalui tindak balas HLNR dengan akriloid klorida melalui proses pengakrilatan.
- ii) Semi-IPN disediakan melalui proses taut-silang ALNR dalam NR matriks dengan menggunakan alur elektron. Dos sinaran yang digunakan adalah dari 50 kGy hingga 200 kGy.

- iii) Kajian sifat mekanikal yang dilakukan menggunakan mesin ujian regangan ditumpukan kepada kekuatan regangan dan pemanjangan.
- iv) Kajian pembentukan taut-silang dilakukan dengan dua kaedah analisis. Analisis ketumpatan taut silang dan kandungan gel yang dapat menunjukkan sejauh mana ketumpatan taut-silang berlaku.
- v) Sifat terma semi-IPN dikaji dengan permeteran kalori pengimbasan kebezaan (*differential scanning calorimeter*, DSC) dan penganalisis permeteran graviti haba (*thermogravimetry analyzer*, TGA).
- vi) Kajian morfologi semi-IPN dilakukan menggunakan mikroskopi pengimbasan elektron (*scanning electron microscopy*, SEM) bagi mengetahui kehomogenan fasa semi-IPN.

## RUJUKAN

- Alcantara, R.M., Rodrigues, A.P.P. and Barros, G.G. (1999). "Morphology and Thermal Properties of Pseudo Interpenetrating Polymer Networks Based on Natural Rubber (*Manihot Glaziovii*) and Poly(Methyl Methacrylate)." *Polymer*. **40**. 1651-1656.
- Bandrup, J. and Immergut, E.H. (1975). "Polymer Handbook". 2<sup>nd</sup> edition. New York: Wiley Interscience.
- Banik, I., Dutta, S.K., Thaki, C.K. and Bhowmick, A.K.(1999). "Electron Beam Induced Structural Modification of Fluorocarbon Elastomer in The Present of PFM". *Polymer*. **40**. 447-458.
- Battacharya, A. (2000). "Radiation and Industrial Polymer ." *Progress in Polymer Science*. **25**. 371-401.
- Bond, S.G., Ebdon, J.R. and Hussin Mohd Nor (1998). "Photolysis of Vinyl Ketone Copolymers.4: Macromonomeric products from photolyses of copolymers of styrene and methyl acrylate with methyl vinyl ketone." *Polymer*. **39**. 6875-6882.
- Bradley, R. (1984). "Radiation Technology Handbook." N. Jersey: E.R. Squibb and Sons Inc.
- Brown, D.W., Floyd, A.J. and Sainsbury, M. (1988). " Organic Spectroscopy." New York: John Wiley and Sons. Ltd.
- Brydson, J.A. (1978). "Rubber Chemistry." London: Applied Science Publisher Limited.
- Brydson J.A. (1988). "Rubbery Materials and Their Compounds." Amsterdam: Elsevier. 70-98.

- Brydson, J.A. (1995). "Plastics Materials." 6<sup>th</sup> Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Canon, F.B. and Viscoute, L.L. Y. (1998). "UV Polymerization of 2-ethylhexyl acrylate in IPN- Some Mechanical Properties." *Polymer Bulletin*. **40**. 83-87.
- Chapiro, A. (1962). "Radiation Chemistry of Polymeric Systems." N. York: Interscience Publishers.
- Chapiro, A. (1979). "Radiation Induced Polymerization Radiation Physical Chemistry." New York: Interscience Publishers.
- Charlesby, A. (1960). "Atomic Radiation and Polymers." London: Pergamon Press Ltd.
- Chikina, L. and Daoud, M. (1998). "Structure of Interpenetrating Polymer Networks." *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*. **36**. 1507-1512.
- Cooper, J.W. (1980). "Spectroscopic Techniques for Organic Chemist." Wiley Interscience Publication. N. York: John Wiley and Sons.
- Cunneen, J.I. (1973). "Research and The Improvement of Tire Performance." *NR Technology*. **4**. 65-75.
- Dahlan Hj Mohd and Abdul Ghani Harun (1993). "The Use of NR-Based Material for The Preparation of Radiation Curable Resin. I: The Reaction of Epoxidized NR of Low Mwt. With Acrylic Acid." *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*. **11**(1). 11-26.
- Dahlan Hj Mohd (1998). "Peranan Getah Asli Cecair dalam Pengserasian Adunan Getah Asli/Polietilena." Universiti Kebangsaan Malaysia: Tesis PhD.

- Dahlan Hj Mohd, Abdul Ghani Harun and Ramli Mamat (1999). "Production of Liquid Epoxidized Natural Rubber (ENR) by Photochemical Technique." *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*. 1-13.
- Das, B., Chakraborty, D., Hajra, A.K. and Sinha, S. (1994). "Epoxy/Poly(methyl methacrylate) Interpenetrating Polymer Networks – Morphology, Mechanical and Thermal Properties." *Journal of Applied Polymer Science*. **53**. 1491-1496.
- Decker, C., Viet, T.N.T. and Xuan, L. H (1996a). "Photocrosslinking of Functionalized Rubbers. IV. Synthesis of Rubbers Bearing Acrylate Groups." *European Polymer Journal*. **32** (5). 549-557.
- Decker, C., Viet, T.N.T. and Xuan, L. H., (1996b). "Photocrosslinking of Functionalized Rubbers. V. Radical Polymerization of Rubbers Bearing Acrylate Groups." *European Polymer Journal*. **32** (5). 559-567.
- Decker, C., Viet, T.N.T. and Xuan, L. H., (1996c). "Photocrosslinking of Functionalized Rubbers. V. Radical Polymerization of Rubbers Bearing Acrylate Groups", *European Polymer Journal*. **32** (5). 567-575.
- Dworjanyn, P.A., Field, B. and Garnet, J.L (1989). "Effect of Radiation on High Technology Polymers." ACS Symposium Series 38. **1**. Washington: Chemical Society.
- Fried, J.R. (1995). "Polymer Science and Technology." New Jersey: Prentice-Hall International.
- Gelling, I.R. and Mente, P.G. (1993). "Liquid NR as Co-Vulcanizable Process Aids." International Rubber Technology Conference. Kuala Lumpur: Malaysia. 193-205.
- Golub, M.A. and Hsu, M.S. (1975). "Nuclear Magnetic Resonance Study of Thermal Oxidation of Polyisoprene." *Rubber Chemistry and Technology*. **48**. 953-971.



- Gupta, S.K., Kurup, M.R., Devadoss, E., Muthiah, Rm. and Thomas, S. (1985). "Development and Evaluation of a Novel Binder Based on Natural Rubber and High Energy Polyurethane/Composite Propellant." *Journal of Applied Polymer Science*. **30**. 1095-1112.
- Hanafi Ismail and Chua, B.H. (1998). "The Effect of Multifunctional Additives and Vulcanization System on Silica Filled Epoxidized Natural Rubber Compounds." *European Polymer Journal*. **34** (12). 1857-1863.
- Hourston, D.J. and Schafer, F.U. (1996). "Poly(ether urethane)/ Poly(ethyl methacrylate) IPNs with High Damping Characteristics: The Influence of The Crosslink Density in Parth Networks." *Journal of Applied Polymer Science*. **62**. 2025-2037.
- Hussin Mohd Nor (1995). "Telechelic Natural Rubber Oligomers via Controlled Ozonolysis." Lancaster University United Kingdom: Tesis PhD.
- Hussin Mohd Nor and Ebdon, J.R. (1998). "Telechelic Liquid Natural Rubber: A Review." *Progress in Polymer Science*. **23**. 143-177.
- Hussin Mohd Nor and Ebdon, J.R. (2000). "Ozonolysis of Natural Rubber in Chloroform Solution. Part I. A Study by GPC and FTIR Spectroscopy." *Polymer International*. **41**. 2359-2365.
- Ibrahim Abdullah and Zainal Zakaria (1989). *Sains Malaysiana*. "Photochemical Depolymerization of Natural Rubber." **18** (2). 99-109.
- Ibrahim Abdullah and Sahrim Ahmad (1992). "Liquid Natural Rubber as A Compatibilizer in The Blending of Natural Rubber with Polypropylene." *Material Forum*. **16**. 353-357.
- Ibrahim Abdullah and Dahlan Hj Mohd (1998). "Thermoplastic Natural Rubber Blends." *Progress in Polymer Science*. **23**. 665-706.

- IRCA (1985). "Development of Liquid Rubber". Final Report. UNIDO project: UF/GLO/81/059.
- Jayasuria, M.M., Makuuchi, K. and Yoshi, F. (2001). "Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex using TMPTMA and PEA." *European Polymer Journal*. **37**. 93-98.
- Jiang, Ming, Xiao, Hong, Jin, Xiaoling and Yu, Tongyin (1990). "Interpenetrating Polymer Network with Controllable Intermolecular Hydrogen Bonding." *Polymer Bulletin*. **23**. 103-109.
- Joseph, K.K. and Gopinathan, N.M.R. (1991). "Polymer Science". 1. New Delhi: Allied Publication. 353-355.
- Kaezmarek, H. (1995). "Accelerated Photodegradation of Cis-1,4-Polybutadiene: The Presence of Hydrogen Peroxide." *Polymer Bulletin*. **34**. 211-218.
- Kim, Su Kyung and Kim, Song Chui (1990). "Polyurethane-Polystyrene IPN Synthesized in The Presence of Common Solvent." *Polymer Bulletin*. **23**. 141-148.
- Klempner, D. and Berkowski, L. (1984). "Interpenetrating Polymer Networks." dlm. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. **8**. N.York: John Wiley and Sons. 279-332.
- Lemoine, A.J. (1988). "Production of Liquid Natural Rubber on A Pilot Scale." *Proceeding International Rubber Technology Conference*. Penang, Malaysia. 199-209.
- Li, Ying and Mao, Sufen (1996). "Studies on Properties and Application of Epoxy Resin/Polyurethane Semi-IPN." *Journal of Applied Polymer Science*. **61**. 2059-2063.

- Mauler, R.S., Tokumoto, S., Pinto, M.R. and Gomes, A.S. (1998). "Liquid Crystalline Polyacrylate Crosslinked with  $\alpha$ ,  $\omega$  Polyisoprene Diacrylate Segments." *Polymer Bulletin*. **41**. 291-297.
- Md Soot Ahmad (1995). "A Study on The Effect of Electron Beam Irradiation onto NR-PP Blend – Addition of Polyfunctional Monomers." *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*. **13**. 81-91.
- Mishra, V., Murphy, C.J. and Sperling, L.H. (1994). "Interpenetrating Polymer Networks Based on TPUs and cis-1,4-Polyisoprene." *Journal of Applied of Polymer Science*. **53** (11-13). 1425-1434
- Nishiyama, Y. and Sperling, L.H. (1986). "Ionomer/Ionomer Thermoplastic IPNs Based on Poly(n-Butyl Acrylate) and Polystyrene." *Journal of Applied Polymer Science*. **32** (7-8). 5903-5915.
- O'Donnell, J.H. and Sangster (1969). "Principles of Radiation Chemistry." London: Edward Arnold Publishers Ltd.
- Patri, M., Samui, A.B., Chakraborty, B.C. and Deb, P.C. (1997). "Studies on IPN Based on Nitrile Rubber and Polyalkyl Methacrylate." *Journal of Applied Polymer Science*. **65** (1-3). 549-554.
- Pautrat, R. and Marteau, J. (1974). "Method for The Preparation of Rubbers with Low Molecular Weight Through Degradation of Macromolecular Polyenes and The Products Thus Obtained." (France Patent 7,403,052). *Chemical Abstract*. **84**. 45773e.
- Pillai, V.B. and Francis, D.J. (1994). "Interpenetrating Polymer Networks Based on Liquid Natural Rubber I. Synthesis and Effect of NCO/OH Ratio on Physical and Mechanical Properties." *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*. **219**. 67-76.

- Pillai, V.B. and Francis, D.J. (1995). "Interpenetrating Polymer Networks Based On Liquid Natural Rubber. Part II. Effect of Weight Composition and Crosslink Level of The Polystyrene Component." *Iranian Journal Polymer Science*. 4 (1). 72-76.
- Ratna, D., Bhantia, A.K. and Deb, P.C. (2000). "Toughening of Epoxy Resin Using Acrylate-Based Liquid Rubbers." *Journal of Applied Polymer Science*. 78. 716-723.
- Ratnam, C.T. and Khairul Zaman (1999). "Modification of PVC/ENR Blend by Electron Beam Irradiation: Effect of Crosslinking Agents." *Nuclear Instruments and Methods in Physic Research B* 152. 335-342.
- Ravindaran, T., Gopinathan N.M.R. and Francis, D.J. (1986). "A Novel Method for The Preparation of Hydroxyl Terminated Liquid Natural Rubber." *Makromoleculare Chemical Rapid Communication*. 7. 159-163.
- Ravindran, T., Gopinathan N. M.R., and Francis, D.J. (1988). "Production of Hydroxyl-Terminated Liquid Natural Rubber – Mechanisme of Photochemical Depolymerization and Hydroxylation." *Journal of Applied Polymer Science*. 35. 1227-1239.
- Reichmanis, E., Frank, C.W., O'Donnel, J.H. and Hill, D.J.T. (1993). "Radiation Effects on Polymeric Materials: A Brief Overview." Edited by: Reichmanis, E., Frank, C.W., O'Donnel, J.H., "Irradiation of Polymeric Materials: Process, Mechanism and Applications." ACS Symposium Series 527. Washington: American Chemical Society. 1-8.
- Roff, W.J. and Scott, J.R. (1971). "Fibres, Films and Plastics : A Handbook of Common Polymer." London: Buttherworths. 313-314.
- Sawasaki, T. and Nojiri, A. (1988). "Radiation Crosslinking of Polypropylene." *Radiation of Physic Chemistry*. 31 (4-6). 877-886.

- Sakurada, I. (1979). "Radiation in Industrial Polymer ." *Radiation Physic Chemistry*.  
14 .23-38.
- Samui, A.B., Suryavanshi U.G., Patri, M., Choraburty, B.C. and Deb, P.C. (1998).  
"Sequential IPN Based on Nitrile-Phenolic Blends and Poly(alkyl  
methacrylate)." *Journal Applied Polymer Science*, **68** (1-3). 1-8.
- Singh, A. and Silverman, J. (1992). "Radiation Processing: An Overview." *Progress  
in Polymer Processing*. Munich: Hanser Publisher. 1-14.
- Sperling, L.H. (1981). "Interpenetrating Polymer Networks and Related Materials."  
New York: Plenum Press.
- Sperling, L.H., Murphy, C.J. and Mishra, V. (1998). "Biocompatible Polyisoprene-  
Polyurethane Interpenetrating Polymer Network Compositions and Medical  
Devices Made There From." (US Patent 5,786,426, July 28).
- Subramaniam, A. (1972). "Gel Permeation Chromatography of Natural Rubber."  
*Rubber Chemical and Technology*. **45**. 346-400.
- Subramaniam A. (1980). "Molecular Weight of Natural Rubber." *RRIM Techn.  
Bulletin*. **4**. Kuala Lumpur.
- Subramaniam, A. (1988). *Encyclopedia Polymer Science Engineering*. **14**. 762-786.
- Tanaka (1999). "Production Process of Depolymerized Natural Rubber." (US Patent  
5,856,600, Jan 5).
- Tillekeratne, L.M.K., Perera, P.V.A.G., De Silva, M.S.C. and Scott, G. (1977).  
"Studies on The Use of Solar Energy for The Preparation of Liquid Rubber."  
*Journal of Rubbers Research Institute Sri Lanka*. **54**. 501-507.

- Vabrik, R., Czajlik, I., Tury, G., Rusznak, I., Ille, A. and Vig, A. (1998). "A Study of Epoxy Resin-Acrylated Polyurethane Semi-Interpenetrating Polymer Networks." *Journal of Applied Polymer Science*. **68**. 111-119.
- Wilfong, D.L., Draith, D.J., Palazotto, M.C., Willet, P.S. and Clark III, H.B. (1997). "Vibration Damping Construction Using Acrylate-Containing Damping Materials." (U.S. Patent 5,670,006, Sept. 23).
- Young R.J. and Lovell, P.A. (1991). "Introduction to Polymers." 2<sup>nd</sup> edition. London: Chapman and Hall. 88-89.
- Yu, Xiaoqiang, Gao, Ge, Wang, Jing Yuan and Tang, Xinyi (1999). "Damping Materials Based on Polyurethane/Polyacrylate IPNs: Dynamic Mechanical Spectroscopy, Mechanical Properties and Multiphase Morphology." *Polymer International*. 1999. **48**. 805-810