

MORFOLOGI DAN PROPERTI CAMPURAN KARET ALAM/POLYPROPYLENE YANG DIVULKANISASI DINAMIK DALAM INTERNAL MIXER

Bahrudin¹, Sumarno¹, G. Wibawa¹ dan N. Soewarno^{1*}

Abstrak

Morfologi dan properti campuran (blend) karet alam jenis SIR-20/polypropylene (NR/PP) yang divulkanisasi dinamik dalam internal mixer telah dipelajari. Blend dibuat dengan rasio berat NR/PP 10/90, 20/80, 50/50, 60/40 dan 70/30 dan komposisi sulfur 3 dan 5 phr (per hundred rubber). Proses pencampuran dilakukan pada suhu 180 °C dan kecepatan rotor 60 rpm. Analisa morfologi menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dan DSC (Differential Scanning Calorimetry). Properti mekanik yang diukur meliputi tensile strength, elongation at break, izod impact, tearing dan hardness, berdasarkan standar ASTM. Didapatkan bahwa peningkatan rasio NR/PP menghasilkan distribusi partikel NR yang makin merata dengan ukuran yang makin kecil. Morfologi blend menunjukkan sistem dua fasa dan vulkanisasi fasa NR terjadi secara parsial dalam matrik PP. Peningkatan rasio NR/PP dan komposisi sulfur dapat meningkatkan properti elongation at break, namun menurunkan properti tensile strength, izod impact, tearing dan hardness. Elongation at break tertinggi yang dapat diperoleh adalah 70% pada rasio blend NR/PP 70/30 dan komposisi sulfur 5 phr.

Kata kunci: karet alam; polypropylene; vulkanisasi dinamik; internal mixer

Pendahuluan

Teknologi karet mulai muncul ketika ditemukan produk dari lateks alam, yang dikenal sebagai karet alam atau NR, yang mempunyai struktur molekul cis-1,4-polyisoprene dan bersifat tidak tahan terhadap ozon, minyak serta suhu tinggi. Jika sudah divulkanisasi berubah menjadi termoset dan tidak dapat diproses kembali baik dengan proses pemanasan ataupun pelarutan. Indonesia merupakan negara penghasil NR terbesar kedua di dunia setelah Thailand, dengan jenis produk utamanya adalah Standard Indonesian Rubber (SIR)-20. Standar kualitasnya didasarkan pada Standart Nasional Indonesia (SNI: 06-1903-1990), dimana komposisi maksimum komponen bukan karet adalah: kotoran 0.20%, abu 1.00%, zat menguap 0.80%, dan nitrogen 0.60% (Budiman, 2002).

Blend antara thermoplastic dengan karet/elastomer dapat menghasilkan suatu material yang disebut thermoplastic elastomer (TPE). TPE mempunyai properti dan fungsi yang mirip dengan karet vulkanisasi pada suhu ambien, namun dapat dilelehkan seperti thermoplastic pada suhu tinggi. Karakteristik yang unik tersebut sangat berguna sebagai alternatif pemanfaatan dari elastomer konvensional dalam berbagai aplikasi, seperti industri otomotif (Mangaraj, 2005).

Akhir-akhir ini, material TPE yang dibuat dari blend polyolefin thermoplastic dan karet berkembang dengan pesat. TPE tersebut dikembangkan dalam dua

jenis produk yang berbeda. Jenis yang pertama adalah blend sederhana yang disebut dengan thermoplastic elastomeric olefin (TEO), didasarkan ASTM D5593. Jenis yang kedua adalah fasa karet yang divulkanisasi dinamik, menghasilkan thermoplastic vulcanizate (TPV) atau dynamic vulcanizate (DV), didasarkan pada ASTM D5046. TPV mempunyai karakteristik dimana partikel karet terdivulkanisasi yang terdistribusi dalam matriks thermoplastik berukuran kecil. Umumnya ukuran partikel karet bervariasi antara 0,5-2,0 μm . Jika partikel karet cukup kecil dan terdivulkanisasi dengan baik, maka properti blend tersebut biasanya meningkat (Sabet dan Datta, 2000).

Umumnya material poliolefin TPE yang sudah dikembangkan terbuat dari karet sintetik seperti ethylene propylene diene monomer (EPDM), ethylene-propylene rubber (EPR) dan butadiene acrylonitrile rubber (NBR), atau modifikasinya (Nakason, 2006). Namun TPE yang sudah komersial hanya dari blend PP/EPDM (Sabet dan Datta, 2000). Pembuatan TPE berbasis NR berpotensi untuk peningkatan sifat-sifat NR, mengubahnya menjadi bahan baru, dan penggunaannya dapat lebih diperluas (Pascual dkk, 2005). Sehingga penelitian-penelitian mengenai hal tersebut perlu dikembangkan.

Permasalahan utama blend PP dan NR adalah belum dapat dihasilkan blend yang kompatibel. Hal ini disebabkan oleh fasa NR yang tidak mudah berdistribusi ke dalam matriks PP. Diperkirakan bahwa faktor-faktor penyebabnya antara lain adalah

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Telp: 031-5946240, Fax: 031-5999282

^{*} Corresponding Author. E-mail: ltd-tkits-sby@telkom.net

perbedaan viskositas kedua polimer tersebut yang cukup besar pada suhu leleh PP, dan interaksi molekular antara PP dan NR yang relatif kurang besar. Beberapa peneliti melakukan proses vulkanisasi dinamik untuk meningkatkan interaksi molekul PP dan NR dalam blend. Proses vulkanisasi dinamik dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kuratif seperti sulfur, uretan, resin fenolik (Coran dan Patel, 1981) ataupun peroksida (Tinker dkk, 1989). Namun dari beberapa kajian menunjukkan bahwa penggunaan kuratif peroksida cenderung mengakibatkan degradasi berat molekul PP dan oksidasi dari NR; kuratif uretan menghasilkan fasa blend yang kurang stabil; dan kuratif resin fenolik menyebabkan crosslinking NR kurang stabil pada saat pemanasan. Sedangkan penggunaan sulfur dapat menghasilkan morfologi fasa yang stabil sehingga sifat mekanik blend PP/NR lebih baik (Sabet dan Datta, 2000). Pada perkembangan penelitian selanjutnya juga menunjukkan bahwa sifat mekanik blend dapat lebih ditingkatkan jika rantai tak jenuh NR terlebih dahulu dihalogenisasi (Ellul dan Hazelton, 1994) atau dimaleasi (Nakason, 2006) sebelum dilakukan proses vulkanisasi dinamik. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada blend NR/PP selalu muncul morfologi dua fasa, walaupun fasa NR dapat terdispersi secara merata dalam fasa kontinyu PP (Halimatuddahlia dkk, 2004).

Penulis mempelajari morfologi dan properti mekanik blend PP dan NR jenis SIR-20 yang dibuat dengan proses vulkanisasi dinamik dalam suatu Internal Mixer.

Bahan dan Metode Eksperimen

Bahan

Polypropylene yang digunakan sebagai komponen thermoplastic adalah Polytam PF1000 (film grade) dengan MFI 10 g/10 menit pada 230 °C dan densitas 0,91 g/cm³, diproduksi oleh PT. Pertamina (persero), Plaju. Karet alam yang digunakan sebagai komponen elastomer adalah jenis SIR-20 dengan Mooney Viscosity 70 pada 100 °C, diproduksi oleh PT. Perkebunan Nusantara XIII, Kalimantan. Sulfur digunakan sebagai curative agent, produksi oleh PT. Ganda Mekar, Indonesia. Mercaptodibenzo-thiazolesulfide (MBTS) digunakan sebagai akselerator, produksi oleh Nanjing Chemical Plant, China. Zinc oxide digunakan sebagai aktivator, produksi oleh Global Chemical, Thailand. Asam stearat digunakan sebagai ko-aktivator, produksi oleh PT. Sumi Asih Oleochemical Industry, Indonesia. Trimethylquinone (TMQ) tipe Flectol TMQ digunakan sebagai anti degradant, produksi oleh Flexys, Germany. Minarex digunakan sebagai plastisizer, diproduksi oleh PT. Pertamina (persero).

Alat

Peralatan yang digunakan untuk penyiapan blend meliputi: peralatan untuk pembuatan kompon karet, yaitu Two Roll Mixing Mill for rubber tipe Sook-160A Shanghai Rubber Machinery Work; dan peralatan untuk proses vulkanisasi dinamik, yaitu Internal Mixer jenis Haake Rheocord 90, bambury rotor, volume chamber 300 cc dengan persentase pengisian 70%. Peralatan yang digunakan untuk menguji spesimen blend meliputi: JEOL Scanning Electron Microscope (SEM) model JSM-T330A, untuk pengamatan morfologi; dan Seiko DSC 2000, untuk pengukuran suhu transisi glass dan suhu leleh. Sedangkan peralatan untuk pengujian properti mekanik meliputi: Instron Universal Tensile Machine model 1011 dengan loading maksimum 500 kg, untuk pengujian stress-strain; Izod Impact Tester, untuk pengujian kuat bentur; Elmendorf Tearing Tester, untuk pengujian kuat sobek; dan Durometer Hardness Tester Shore A untuk pengujian kekerasan.

Penyiapan blend

Blend dibuat dalam dua tahapan proses, yaitu pembuatan kompon karet dan pencampurannya dengan PP. Kompon karet merupakan campuran yang terdiri dari SIR-20, asam stearat, zinc oxide, MBTS dan sulfur yang dibuat dengan menggunakan Two Roll Mixing Mill. Poses pembuatannya dilakukan pada suhu kamar dengan urutan proses pencampuran ditunjukkan pada Tabel 1, dimana variasi komposisi sulfur (X) adalah 3 dan 5 phr.

Tabel 1. Schedule pencampuran material untuk pembuatan kompon karet menggunakan two-roll mill

Aktivitas	Jumlah (phr)	Waktu pencampuran (menit)
Mastikasi karet	100	10
Penambahan ZnO	5	1
Penambahan asam stearat	2	1
Penambahan TMQ	1	1
Penambahan MBTS	0,6	2
Penambahan Sulfur	X	2
Finishing	-	3

Pencampuran kompon, PP dan plastisizer menggunakan Internal Mixer, dengan urutan proses sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Proses pencampuran dilakukan pada suhu 180 °C dan kecepatan rotor 60 rpm. Komposisi NR divariasikan sebesar 10, 20, 50, 60 dan 70% berat. Kemudian blend tersebut dipersiapkan untuk pengujian morfologi menggunakan SEM dan DSC, dan untuk pengujian sifat-sifat mekanik (tensile strength, elongation at break, izod impact, tearing dan hardness) berdasarkan standar ASTM.

Tabel 2. Schedule pencampuran material dalam Internal Mixer

Aktivitas	Waktu pencampuran (menit)
Pelelehan PP	3
Pencampuran dengan plastisizer	1
Pencampuran dengan kompon	8

Pengujian Blend

Pengujian SEM

Pengujian dilakukan pada permukaan patahan sampel. Untuk menghindari perubahan bentuk permukaan fasa ketika dipatahkan, sampel terlebih dahulu direndam dalam nitrogen cair. Kemudian sampel direndam dalam n-hexane selama 48 jam untuk melarutkan fasa NR, sehingga dapat diperoleh micrograph yang baik. Selanjutnya sampel dilapisi dengan emas menggunakan JEOL Fine Coat (Ion Sputter) untuk menghindari timbulnya muatan elektrostatik pada saat dilakukan pengujian. Hasil pengujian SEM berupa micrograph dengan 5000 kali pembesaran, yang dapat digunakan untuk mengamati distribusi dan ukuran partikel NR skala mikron. Penentuan ukuran partikel menggunakan software ImageJ.

Pengujian DSC

Pengujian menggunakan kisaran suhu -110 °C sampai dengan 200 °C, dimana setting laju pemanasan dibuat sebesar 5 °C/menit. Hasil pengujian DSC merupakan kurva thermogram yang dapat digunakan untuk menentukan suhu transisi glass dan suhu leleh.

Pengujian sifat mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi: stress-strain, izod impact, tearing dan hardness. Penyiapan sampel dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembuatan lembaran (slab) dan pemotongan lembaran tersebut menjadi spesimen uji. Pembuatan slab menggunakan peralatan hydraulic pressure merk Toyoseiki, produksi Toyoseiki Seisakusho, Co, Ltd, Tokyo, Japan. Peralatan tersebut dilengkapi dengan pemanas elektrik dan pendingin air. Ukuran slab adalah 15 x 21 cm dengan ketebalan 2; 4; 0,5 dan 6 mm masing-masing untuk pengujian stress-strain, izod impact, tearing dan hardness. Kondisi operasi pada saat pembuatan slab adalah tekanan 200 bar dan suhu 230 °C. Pemotongan slab menjadi spesimen uji menggunakan peralatan specimen punching machine merk Toyoseiki, produksi Toyoseiki Seisakusho, Co, LTD, Tokyo, Japan. Selanjutnya seluruh spesimen disimpan dalam suatu kantong kedap udara pada suhu 25 °C sampai waktu pengujian dilakukan.

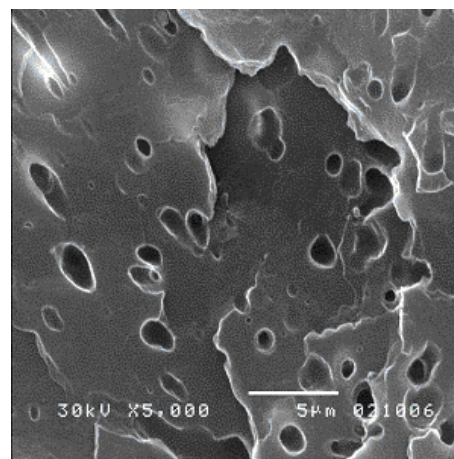
Pengujian stress-strain berdasarkan ASTM D638 type IV dengan load 100 kg dan laju 500 mm/menit. Hasil pengujian stress-strain digunakan untuk menentukan tensile strength dan elongation at

break dari blend. Pengujian impact strength berdasarkan ASTM D256 dengan menggunakan izod impact tester. Peralatan tersebut dilengkapi pendulum dengan berat 1,217 kg; jarak aksis ke pusat gravitasi 12,7 cm; dan sudut capai awal 135⁰ (tanpa spesimen uji). Pengujian tearing berdasarkan ASTM D1922 dengan menggunakan elmendorf tearing tester. Peralatan tersebut dilengkapi pendulum pisau dengan skala pembacaan 0 sampai 3200 g. Pengujian hardness berdasarkan ASTM D2240 dengan menggunakan durometer hardness tester shore A. Peralatan tersebut dilengkapi dengan skala pembacaan terendah 0 dan tertinggi 100.

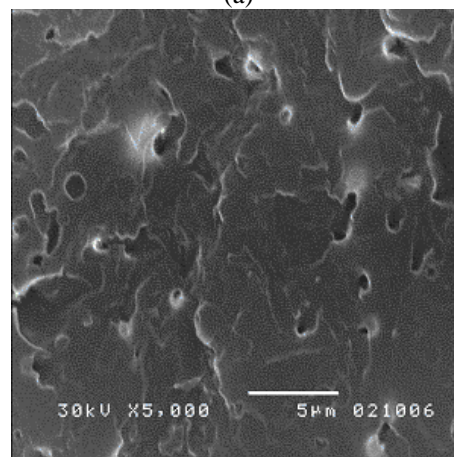
Hasil dan Pembahasan

Morfologi

Micrograph SEM blend NR/PP dengan rasio berat 10/90 dan 50/50 yang divulkanisasi dinamik dengan menggunakan sulfur 5 phr ditunjukkan pada Gambar 1. Micrograph tersebut memperlihatkan distribusi dan ukuran partikel fasa NR yang terdispersi dalam matrik PP, yang dipengaruhi oleh komposisi NR dan vulkanisasi dinamik.



(a)



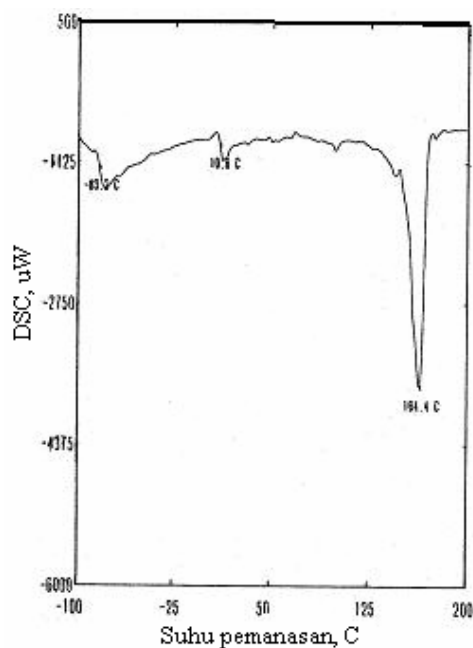
(b)

Gambar 1. Micrograph SEM blend NR/PP: a. NR/PP 10/90, b. NR/PP 50/50

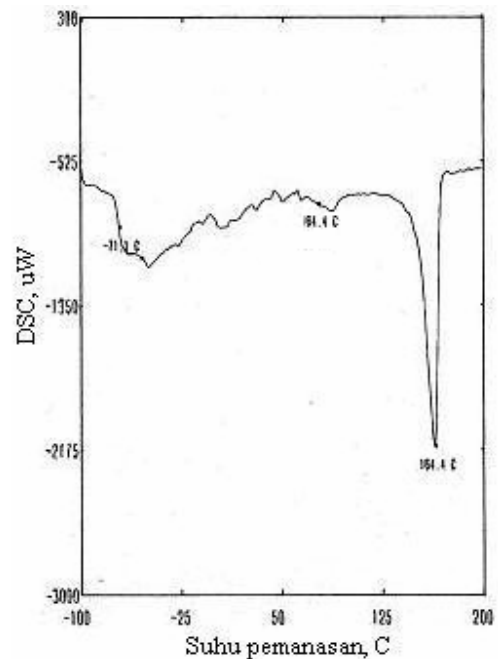
Peningkatan komposisi NR menghasilkan distribusi partikel yang semakin merata dan ukuran yang semakin kecil. Pada rasio blend NR/PP 10/90 dan 50/50 diperoleh ukuran rata-rata partikel karet terdistribusi masing-masing adalah 1,4 μm dan 1,1 μm . Perbedaan distribusi dan ukuran partikel tersebut menyebabkan sifat mekanik dari blend juga berbeda.

Distribusi dan ukuran fasa juga dipengaruhi oleh stress history yang terjadi selama proses pencampuran (melt mixing). Stress history berperan untuk memecah partikel NR dan mendistribusikannya ke dalam matriks PP. Karena sistem blend divulkanisasi dinamik, stress history harus mencukupi untuk dapat segera memecah partikel NR secepat mungkin. Karena jika proses pemecahan partikel terjadi secara pelan, ukuran partikel-partikel yang terbentuk relatif besar akibat proses reaksi ikat-silang (vulkanisasi) antara molekul-molekul NR. Sebaliknya jika proses pemecahan partikel dapat terjadi dengan cepat, proses vulkanisasi hanya terjadi antara molekul-molekul NR yang relatif sedikit, sehingga ukuran partikel NR yang terbentuk relatif kecil. Perbedaan morfologi juga dapat disebabkan oleh perbedaan interaksi molekular yang terjadi antara NR dan PP. Karena NR yang tervulkanisasi dapat mempunyai struktur molekul dengan berbagai kemungkinan (Ghosh, dkk, 2003), maka interaksi molekular yang terjadi juga menjadi berbeda.

Morfologi dua fasa yang terbentuk dari blend PP dan NR dapat dilihat dari hasil pengujian DSC. Gambar 2 memperlihatkan thermogram hasil analisa DSC blend NR/PP, dimana Gambar 2(a) adalah pada rasio blend 20/80 dan Gambar 2(b) adalah pada rasio blend 60/40.



(a)



(b)

Gambar 2. Thermogram blend NR/PP: (a) NR/PP 20/80, (b) NR/PP 60/40

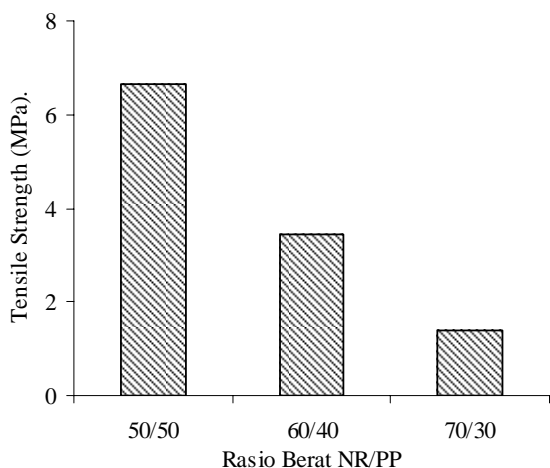
Kedua sistem menghasilkan dua suhu transisi glass dan satu suhu leleh. Suhu transisi glass yang pertama untuk blend dengan rasio NR/PP 20/80 adalah minus 83,2 $^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk rasio 60/40 adalah minus 71,1 $^{\circ}\text{C}$, yang mendekati suhu transisi glass dari komponen NR tanpa vulkanisasi (minus 74 $^{\circ}\text{C}$). Hal ini menunjukkan proses vulkanisasi fasa NR dalam matriks PP terjadi secara parsial, dimana sebagian molekul NR tidak mengalami proses vulkanisasi. Suhu transisi glass yang kedua untuk rasio NR/PP 20/80 adalah 10,8 $^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk rasio NR/PP 60/40 adalah 81,4 $^{\circ}\text{C}$, yang relatif berbeda dengan suhu transisi glass NR dan PP (minus 10 $^{\circ}\text{C}$). Hal ini menunjukkan interaksi molekular yang terjadi antara NR yang divulkanisasi dan PP relatif besar, sehingga blend komponen-komponen tersebut menghasilkan material baru yang memiliki suhu transisi glass tersendiri. Peningkatan interaksi tersebut dapat disebabkan oleh entanglement (jeratan) molekul PP diantara molekul-molekul NR yang divulkanisasi, disamping perubahan struktur molekul NR setelah proses vulkanisasi. Karena mempunyai dua suhu transisi glass, maka secara termodinamik blend NR/PP mempunyai dua fasa dan bersifat miscible parsial. Anggapan bahwa blend tersebut dapat bersifat miscible parsial berdasarkan nilai salah satu suhu transisi glass mempunyai perbedaan yang relatif besar dengan suhu transisi glass NR dan PP.

Komposisi NR dalam blend mempengaruhi suhu transisi glass. Semakin besar komposisi NR menyebabkan terjadinya peningkatan suhu transisi glass, namun tidak mengubah suhu leleh. Suhu leleh blend relatif sama dengan suhu leleh komponen PP

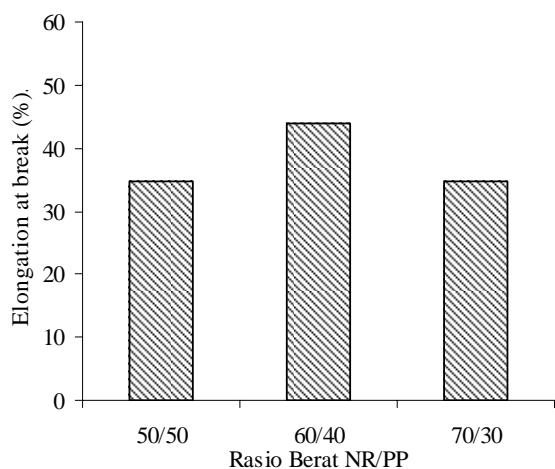
(165 °C). Adanya suhu transisi glass dan suhu leleh pada blend NR/PP mengindikasikan bahwa material tersebut semikristal dan dapat diproses sebagaimana pemrosesan thermoplastic. Sedangkan NR yang sudah divulkanisasi secara konvensional, tidak dapat diproses lagi dengan pemanasan.

Properti mekanik

Properti stress-strain blend NR/PP pada rasio 50/50, 60/40 dan 70/30 yang divulkanisasi dengan kuratif sulfur 3 phr ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Rasio komposisi NR/PP mempengaruhi sifat stress-strain blend. Tensile strength mengalami penurunan seiring dengan peningkatan komposisi NR. Penurunan terjadi karena properti NR lebih dominan dibandingkan properti PP pada rasio blend NR/PP 50/50 atau lebih.



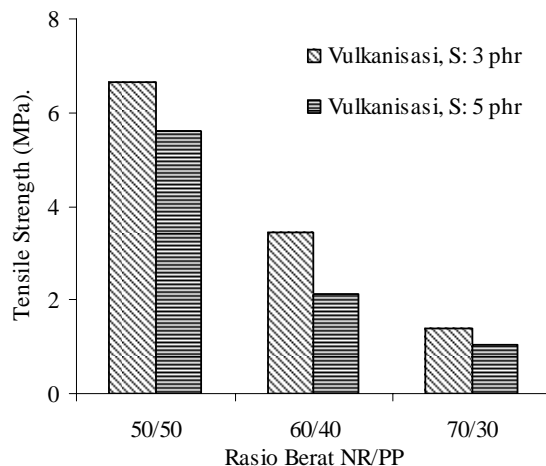
Gambar 3. Pengaruh komposisi NR terhadap properti tensile strength blend NR/PP vulkanisasi dinamik pada komposisi kuratif sulfur 3 phr



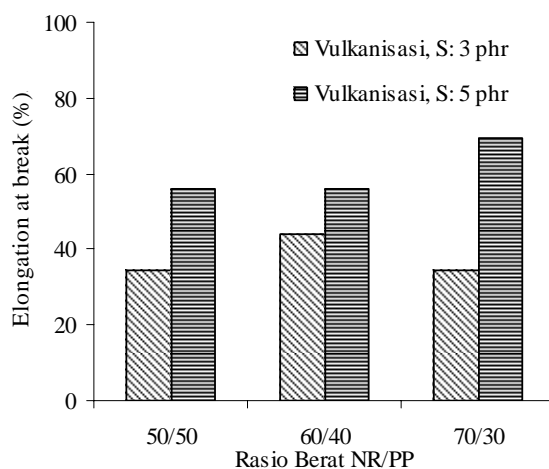
Gambar 4. Pengaruh komposisi NR terhadap properti elongation at break blend NR/PP vulkanisasi dinamik pada komposisi kuratif sulfur 3 phr

Properti elongation at break meningkat pada rasio komposisi NR antara 50/50 sampai dengan 60/40, namun kembali menurun pada rasio komposisi NR 70/30. Hal ini terjadi karena peningkatan komposisi NR yang lebih besar dari 60% menyebabkan terbentuknya daerah fasa kokontinyu NR disamping fasa kontinyu PP. Pembentukan fasa kokontinyu tersebut menyebabkan tensile strength blend menjadi rendah.

Properti stress-strain juga dipengaruhi oleh komposisi kuratif sulfur, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Pada komposisi sulfur 5 phr, properti tensile strength menurun, sedangkan properti elongation at break meningkat. Peningkatan komposisi sulfur dapat meningkatkan jumlah molekul NR yang tervulkanisasi, sehingga properti elongation at break menjadi lebih besar. Elongation at break tertinggi pada eksperimen ini adalah 70%, yaitu pada blend NR/PP dengan rasio berat 70/30 dan komposisi kuratif sulfur 5 phr.

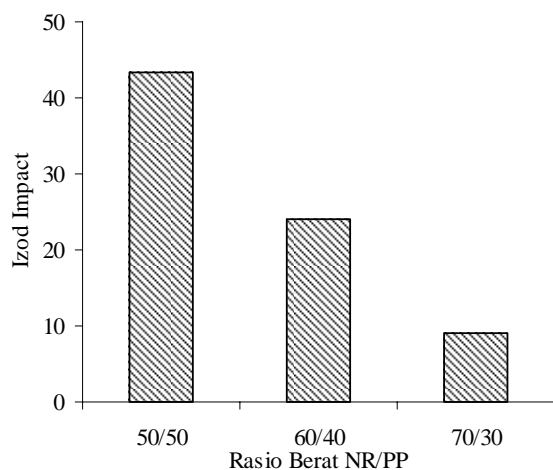


Gambar 5. Pengaruh komposisi kuratif sulfur terhadap properti tensile strength blend NR/PP vulkanisasi dinamik



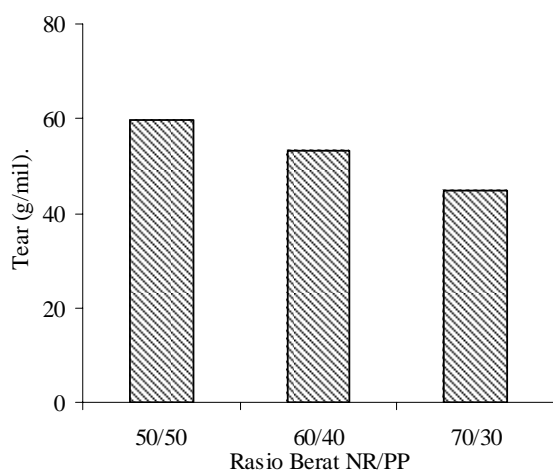
Gambar 6. Pengaruh komposisi kuratif sulfur terhadap properti elongation at break blend NR/PP vulkanisasi dinamik

Properti izod impact blend NR/PP dengan komposisi kuratif sulfur 3 phr menurun dengan semakin tinggi komposisi NR, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Penurunan juga disebabkan oleh penurunan sifat elastis NR, akibat morfologi dan vulkanisasi blend yang kurang baik. Peningkatan komposisi kuratif sulfur relatif tidak mempengaruhi properti impact strength. Pada eksperimen ini diperoleh properti impact tertinggi pada rasio blend NR/PP 50/50 dengan komposisi sulfur 3 phr, yaitu sebesar 43 kg.cm/cm.



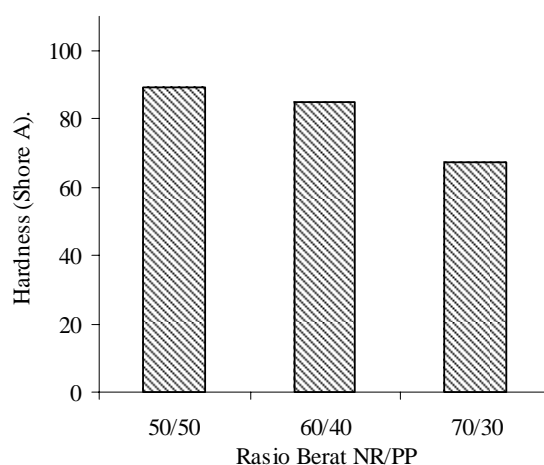
Gambar 7. Pengaruh komposisi NR terhadap properti impact strength blend NR/PP vulkanisasi dinamik pada komposisi kuratif sulfur 3 phr

Properti tearing juga tergantung pada elastisitas NR. Sedangkan elastisitas NR dalam blend tergantung pada morfologi (dispersitas dan ukuran partikel fasa NR terdispersi) dan vulkanisasi blend. Properti tearing tertinggi yang dapat diperoleh pada komposisi sulfur 3 phr adalah 60 g/mil, dengan rasio blend NR/PP 50/50, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh komposisi NR terhadap properti tearing blend NR/PP vulkanisasi dinamik pada komposisi kuratif sulfur 3 phr

Properti hardness blend tergantung pada tingkat kekerasan komponen-komponennya. Tingkat kekerasan komponen NR semakin besar dengan meningkatnya kuratif sulfur karena crosslink density molekul-molekul NR semakin meningkat. Namun seperti halnya properti tensile strength, semakin tinggi komposisi NR menghasilkan properti hardness makin menurun, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Biasanya properti hardness yang diinginkan pada suatu TPV berkisar antara 60 sampai dengan 80. Pada penelitian ini diperoleh properti hardness berkisar antara 65 pada rasio blend NR/PP 70/30 sampai dengan 90 pada rasio blend NR/PP 50/50.



Gambar 9. Pengaruh komposisi NR terhadap properti hardness blend NR/PP vulkanisasi dinamik pada komposisi kuratif sulfur 3 phr

Secara umum, properti mekanik blend NR/PP yang diperoleh masih relatif rendah jika dibandingkan dengan blend EPDM/PP komersial. Hal ini disebabkan oleh pembentukan morfologi blend yang kurang baik dan adanya fasa NR yang tidak ter Vulkanisasi sempurna.

Kesimpulan

Peningkatan rasio blend NR/PP yang divulkanisasi dinamik dengan kuratif sulfur dapat menghasilkan distribusi partikel yang makin merata dan ukuran partikel yang makin kecil. Ukuran rata-rata partikel NR yang terdistribusi dalam matrik PP pada rasio blend 10/90 dan 50/50 masing-masing adalah 1,4 μm dan 1,1 μm . Blend mempunyai morfologi dua fasa dimana fasa NR ter Vulkanisasi secara parsial di dalam matrik PP, yang ditunjukkan oleh adanya dua suhu transisi glass. Suhu leleh blend sama dengan suhu leleh fasa PP, sehingga dapat diproses seperti pemrosesan plastik. Peningkatan rasio blend NR/PP juga menghasilkan peningkatan properti elongation at break, namun menurunkan properti tensile strength, izod impact, tearing dan hardness. Properti tensile strength blend yang divulkanisasi dinamik dengan kuratif sulfur pada komposisi 3 phr lebih tinggi dibandingkan pada komposisi 5 phr.

Sedangkan properti elongation at break lebih tinggi jika menggunakan kuratif sulfur pada komposisi 5 phr dibandingkan pada komposisi 3 phr. Properti elongation at break tertinggi yang dapat diperoleh adalah 70% pada rasio blend NR/PP 70/30 dan komposisi kuratif sulfur 5 phr. Blend yang relatif lunak (soft tough) juga dapat diperoleh pada rasio blend NR/PP 70/30 dengan hardness 65 shore A.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada pihak manajemen PT. Karet Ngagel Surabaya Wira Jatim dan PT. Pertamina (persero) yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada mahasiswa program sarjana Jurusan Teknik Kimia, terutama kepada Ajeng Salindri dan Diah Setianingsih, yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Budiman, AFS., (2002), "Recent Development in Natural Rubber Prices", *FAO, Consultation on Agricultural Commodity Price Problems*, Rome, 25-26 March 2002

Coran, A. Y. dan R. Patel, (1981), "Elastoplastic Compositions of Cured Diene Rubber and Polypropylene", *U. S. Patent No. 4,271,049*.

Ellul, M. D. dan D. R. Hazelton, (1994), "Chemical Surface Treatments of Natural Rubber and EPDM Thermoplastic Elastomers: Effect on Friction and Adhesion", *Rubber Chem. Technol.*, 67, hal. 582-601.

Ghosh, P., Katare, S., Patkar, P., Caruthers, J.M., Venkatasubramanian, V., dan K.A. Walker, (2003), "Sulfur Vulcanization of Natural Rubber for

Benzothiazole Accelerated Formulations: From Reaction Mechanisms to a Rational Kinetic Model", *Rubber Chemistry and Technology*, 76, hal. 592-694

Halimatuddahlia, H. Ismail, H. Md. Akil, (2004), "Rheological Properties of Polypropylene/Ethylene-Propylene Diene Terpolymer/Natural Rubber (PP/EPDM/NR) Blends by Torque Rheometer", *Jurnal Teknologi Proses*, 3, hal. 77-86

Mangaraj, D., (2005), "Rubber Recycling by Blending with Plastics", in De, S.K., Isayev, A.I., and Khait, K (Ed.). *Rubber Recycling*, Taylor & Francis, New York, hal. 18-25

Nakason, C., Saiwari, S., Kaesaman, A., (2006), "Thermoplastic Vulcanizates Based on Maleated Natural Rubber/Polypropylene Blends: Effect of Blend Ratios on Rheological, Mechanical, and Morphological Properties", *Polymer Engineering and Science*, 46, hal.594-600.

Pascual, S., Derouet, D., dan Phinyocheep, P., (2005), "Polymer Grafted Natural Rubber by Radical Controlled Grafting", *Thai-French Seminar "Rubber: from Trees to End-Products"*, Bangkok, 20-21 June 2005

Sabet, S.A. and Datta, S., (2000), "Thermoplastic Vulcanizates", in Paul, D.R. & C.B. Bucknall (Ed.). *Polymer Blends*, Vol. 2, John Wiley & Sons, hal. 517-555

Tinker, A. J., R. D. Icenogle and I. Whittle, (1989), "Natural Rubber Based TPEs", *Rubber World*, 199, hal. 25-29.