

FORMULASI DAN ANALISIS MUTU SELANG KARET UNTUK DME, LPG, DAN GAS ALAM (LNG)

Formulation and Analysis Quality of Rubber Hose Compounds That are Resistant to DME, LPG, and Natural Gas

Adi CIFRIADI¹⁾, Asron Ferdian FALAAH¹⁾, Hani HANDAYANI¹⁾, Arief RAMADHAN¹⁾,
Rachma FITRIANI²⁾, dan Irma Nur FITRIANI²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Karet – Unit Riset Bogor Getas, Jalan Salak No. 1 Bogor 16151

²⁾ Research & Technology Innovation (RTI), PT Pertamina (Persero), Jl. Raya Bekasi KM. 20 Pulogadung – Jakarta 13220

E-mail: hani.ppkbogor@gmail.com

Diterima: 1 September 2023 / Disetujui: 10 Oktober 2023

Abstract

The Indonesian government continues to seek alternative household fuels in order to substitute LPG, including the use of DME and natural gas. This effort was made in order to reduce dependence on LPG imports and create energy independence, especially for household fuel. At the time of application of DME and natural gas as a household fuel to substitute LPG, it is necessary to ensure that gas stove accessories, one of them is the rubber hose material used, is resistant to LPG, DME, and natural gas according to the requirements in SNI 9137:2022 about rubber hoses for dimethyl ether (DME) gas stoves and SNI 7213: 2014 about rubber hoses for LPG gas stoves. The aim of this research are to formulated and analyzed the resistance of rubber hose compounds when exposed to DME, LPG, and natural gas. This study used various types of elastomers consisting of rubber NBR/PVC, CR, and NBR/PVC blend NR (85/15) and variations of carbon black (CB) fillers N330, N550, and N774. Analysis dan characterization of rubber hose quality included characterization of vulcanization, hardness, tensile strength, elongation at break (before and after ageing), DME resistance test using gas of DME, LPG resistance test using gas of LPG, and natural gas resistance test using n-pentane liquid. A total of 3 (three) of outer parts (cover) compound formulas have been made and the results are all formulas have fulfill the requirements of the referenced standard. Meanwhile, as many as 6 (six) compound formulas for lining parts were successfully made and the results showed that 4 (four) of

the 6 (six) formulas made fulfill the requirements for rubber hoses according to the referenced standard. Meanwhile, the other 2 (two) formulas still did not fulfill the requirements are NBR1 formula for the percent mass addition (absorbed liquid) after soaking in n-pentane and NBR/NR2 formula for the changes in elongation at break after ageing.

Keywords : natural rubber, vulcanization, rubber hose, DME, LPG, natural gas.

Abstrak

Pemerintah Indonesia terus berupaya mencari bahan bakar alternatif untuk rumah tangga dalam rangka mensubstitusi LPG, diantaranya adalah penggunaan DME dan gas alam. Upaya ini dilakukan dalam rangka mengurangi ketergantungan impor LPG dan bahkan menciptakan kemandirian energi, khususnya untuk bahan bakar rumah tangga. Pada saat aplikasi DME dan gas alam sebagai bahan bakar rumah tangga untuk menggantikan LPG maka diperlukan pemastian bahwa aksesoris kompor gas, salah satunya adalah material selang karet yang digunakan tahan terhadap LPG, DME, dan gas alam sesuai persyaratan di dalam SNI 9137:2022 tentang selang karet untuk kompor gas dimetil eter (DME) dan SNI 7213:2014 tentang selang karet untuk kompor gas LPG. Penelitian yang telah dilakukan ini bertujuan untuk melakukan formulasi dan analisis ketahanan kompon selang karet terhadap paparan DME, LPG, dan gas alam.

Penelitian ini menggunakan variasi jenis elastomer terdiri dari karet NBR/PVC, CR, dan NBR/PVC *blend* NR (85/15) serta variasi bahan pengisi *carbon black* (CB) N330, N550, dan N774. Analisis dan karakterisasi mutu meliputi karakterisasi pematangan, kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus (sebelum dan sesudah pengusangan), uji ketahanan terhadap DME menggunakan gas DME, uji ketahanan terhadap LPG menggunakan gas LPG, dan uji ketahanan terhadap gas alam menggunakan cairan *n*-pentana. Sebanyak 3 (tiga) formula kompon bagian luar (*cover*) telah dibuat dan hasilnya semua formula telah memenuhi persyaratan SNI yang diacu. Sementara itu sebanyak 6 (enam) buah formula kompon selang bagian dalam (*lining*) telah berhasil dibuat dan hasilnya menunjukkan bahwa sebanyak 4 (empat) dari 6 (enam) formula yang dibuat telah memenuhi persyaratan mutu selang karet sesuai SNI yang diacu. Sementara itu, 2 (dua) formula yang lainnya masih belum memenuhi persyaratan yaitu formula NBR1 untuk persen penambahan massa (cairan terserap) setelah direndam dalam *n*-pentana dan formula NBR/NR2 untuk parameter perubahan perpanjangan putus setelah pengusangan.

Kata kunci : karet alam, selang karet, DME, LPG, gas alam, LNG.

PENDAHULUAN

Sebagai upaya mengurangi impor LPG sekaligus mengoptimalkan penggunaan LNG di dalam negeri, pemerintah sejak tahun 2019 telah mulai melakukan kajian pengembangan penggunaan DME sebagai bahan bakar alternatif sekaligus substitusi impor, yang dihasilkan secara gasifikasi batubara yang cadangannya masih berlimpah di dalam negeri (ESDM, 2019). Gas alam dan *liquified petroleum gas* (LPG) atau gas alam yang dicairkan saat ini menjadi bahan bakar umum yang digunakan terutama untuk keperluan rumah tangga hingga untuk keperluan industri terutama setelah dilakukan konversi oleh pemerintah dari bahan bakar minyak untuk beralih ke bahan bakar gas. Bahan bakar gas jenis lain seperti dimethyl ether (DME) saat ini juga menjadi alternatif energi terbarukan yang saat ini akan

dikembangkan oleh pemerintah melalui beberapa perusahaan yang bergerak di sektor migas di Indonesia. Konversi bahan bakar minyak menjadi gas mempengaruhi tumbuhnya industri selang gas. Selang gas yang ada di pasaran saat ini merupakan selang untuk gas LPG yang digunakan untuk bahan bakar rumah tangga, sehingga belum banyak diperoleh produk selang yang tahan terhadap gas DME.

Selang gas umumnya dibuat dari material karet karena sifat karet yang lebih lentur (*flexible*) dan bersifat isolator. Salah satu jenis karet yang banyak diperoleh di Indonesia adalah karet alam (*natural rubber/ NR*). Karet alam mempunyai keunggulan seperti bersifat elastis, kelenturan baik, perpanjangan putus yang tinggi serta pampatan yang baik telah banyak digunakan untuk beberapa produk seperti selang. Namun demikian sebagai bahan utama dalam selang untuk gas maka karet alam perlu dipadukan dengan bahan lain karena pada dasarnya karet alam memiliki sifat kurang tahan terhadap cuaca, pelarut hidrokarbon, panas dan ozon (Handayani *et al.*, 2020).

Komponen dalam selang gas terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian dalam (*lining*) dan bagian luar (*cover*). Bagian dalam (*lining*) merupakan bagian yang secara langsung kontak dengan gas sehingga material yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap gas tersebut. Perpaduan karet alam dengan karet tahan minyak golongan hidrokarbon seperti karet acrylonitrile butadiene (NBR) menjadi alternatif untuk mendapatkan material selang yang memiliki sifat mekanik baik serta tahan terhadap hidrokarbon (Angnanon *et al.*, 2011). Perpaduan antar jenis karet selain untuk mendapatkan material dengan sifat fisik yang baik juga bertujuan untuk memperoleh produk dengan biaya efektif lebih rendah sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai produk lain (Jovanović *et al.*, 2013).

Perpaduan karet alam dan NBR pernah dilakukan El-Sabbagh & Yehia (2007) dengan membandingkan nilai derajat ikatan silang (*crosslink density*) campuran antara NR/NBR dengan NR/karet styrene butadiene (SBR). Hasil menunjukkan nilai *crosslink density* dari paduan NR/NBR lebih besar dibanding NR/SBR sehingga semakin

besar nilai *crosslink density* mengakibatkan sifat mekanik terutama kuat tarik akan semakin meningkat (Hayemasae *et al.*, 2022). Penelitian mengenai karakteristik ketahanan terhadap minyak (*swelling resistance*) pernah dilakukan oleh Angnanon *et al.* (2011) yang menguji ketahanan karet NR, NBR dan paduan NR/NBR dengan perbandingan 50:50. Hasil yang diperoleh karet NR yang direndam dalam dalam minyak IRM 903 selama 70 jam mengalami pengembangan volume (*swelling*) yang besar 152% sedangkan NR/NBR menghasilkan 115% *swelling*. Penurunan nilai *swelling* ini dikarenakan adanya gugus nitril pada struktur kimia karet NBR yang bersifat polar. Penggunaan karet alam selain untuk memperbaiki sifat fisik vulkanisat, juga sebagai upaya penyerapan karet alam di dalam negeri sekaligus meningkatkan kandungan lokal.

Penelitian mengenai paduan karet NBR/PVC *blend* NR untuk kompon karet tahan gas DME, LPG, dan gas alam belum pernah dilakukan sehingga menarik untuk diteliti terutama dengan tujuan mendapatkan kompon karet untuk material bagian dalam (*lining*) selang gas tahan DME, LPG, dan gas alam. Studi ini melakukan formulasi kompon karet serta melakukan analisis terhadap konsistensi mutu material karet *lining* selang gas dengan tujuan untuk memperoleh formula kompon selang karet yang tahan terhadap gas DME, LPG, dan gas alam sesuai persyaratan mutu dalam SNI yang diacu (SNI 9137:2022 tentang selang karet untuk kompor gas dimetil eter (DME) dan SNI 7213:2014 tentang selang karet untuk kompor gas LPG).

BAHAN DAN METODE

Kegiatan riset ini dilakukan di lingkungan kantor Unit Riset Bogor Getas yang beralamat di Jalan Salak No. 1 Bogor selama kurang lebih 11 bulan (Mei 2022 – April 2023).

Kegiatan formulasi dan karakterisasi dilakukan di Laboratorium Pengujian – Pusat Penelitian Karet sedangkan pembuatan kompon dilakukan di Pabrik Percobaan Produksi Produk Riset yang ada di bawah koordinasi Unit Riset Bogor-Getas.

Riset ini menggunakan bahan utama berupa karet alam (*Natural Rubber*, NR), karet kloroprena (*Chloroprena Rubber*, CR) dan karet NBR/PVC (*Nitrile Butadiene Rubber/Polyvinyl Chloride*). Bahan kimia yang digunakan sebagai aditif dalam pembuatan kompon karet berasal dari *supplier lokal* yang terdiri dari seng oksida dan asam stearat sebagai bahan pengaktif (*activator*), *carbon black* dan kaolin sebagai bahan pengisi (*filler*), sulfur dan magnesium oksida sebagai bahan pemvulkanisasi (*vulcanization agent*), DOP (*dioctyl phthalate*) dan minarex sebagai bahan pelunak (*processing oil*), faktis coklat sebagai bahan bantu olah (*processing aids*), TMQ (*2,2,4-trimethyl-1,2-dihydroquinoline*) dan ionol sebagai bahan antidegradan, MBT (*2-mercaptobenzothiazole*) dan ETU (*Ethylene Thiourea*) sebagai bahan pencepat, 6PPD (*N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine*) sebagai bahan antioksidan, PVI sebagai bahan pelambat vulkanisasi (*retarder*), Antilux 645A sebagai bahan antiozonan, dan alumunium oksida (Al_2O_3) sebagai bahan anti bakar.

Sesuai dengan persyaratan di dalam SNI 7213:2014, selang karet untuk gas LPG terdiri dari dua bagian yaitu bagian dalam (*lining*) dan bagian luar (*cover*). Dalam penelitian ini dilakukan formulasi untuk kedua bagian selang tersebut sebagaimana diuraikan di bawah ini.

Formulasi kompon selang bagian dalam (*lining*)

Pada percobaan ini dilakukan formulasi kompon untuk bagian dalam selang (*lining*) sebanyak 6 (enam) formula sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Formula kompon selang karet bagian dalam
 Table 1. Lining compound formula of rubber hose

Bahan Materials	NBR1	NBR2	NBR3	NBR/NR1	NBR/NR2	NBR/NR3
NBR-PVC	100	100	100	-	-	-
NBR-PVC blend NR	-	-	-	85/15	85/15	85/15
Seng oksida	5	5	5	5	5	5
Asam stearat	2	2	2	2	2	2
Carbon black N330	65	-	-	65	-	-
Carbon black N550	-	75	-	-	75	-
Carbon black N774	-	-	85	-	-	85
Faktis coklat	10	10	10	10	10	10
DOP	10	10	10	10	10	10
Sulfur	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
MBT	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
6PPD	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
TMQ	2	2	2	2	2	2
Ionol	2	2	2	2	2	2
PVI	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Antilux 654A	10	10	10	10	10	10
Al ₂ O ₃	4	4	4	4	4	4

Formulasi kompon selang bagian luar (cover) Pembuatan Kompon

Pada percobaan ini dilakukan formulasi kompon untuk bagian dalam luar (cover) sebanyak 3 (tiga) formula sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Pembuatan kompon karet dilakukan menggunakan mesin giling terbuka (*two roll open mill*) yang mengacu pada ASTM D 3182. Prosedur ini diawali dengan melakukan mastikasi karet (NBR/PVC atau CR) hingga

Tabel 2. Formula kompon selang karet bagian luar
 Table 2. Cover compound formula of rubber hose

Bahan Materials	NBR4	NBR5	CR
NBR-PVC	100	100	
CR	-	-	100
Magnesium oksida	-	-	4
Seng oksida	5	5	5
Asam stearat	2	2	2
Carbon black N330	30	-	-
Carbon black N550	-	50	40
Kaolin	50	50	50
Minarex	-	-	10
Sulfur	1,3	1,3	-
MBT	1,5	1,5	1,5
ETU	-	-	1
DOP	10	10	-
Faktis coklat	10	10	10
Al ₂ O ₃	10	10	10

karet menjadi lunak dan plastis sehingga mudah bercampur dengan bahan kimia karet. Proses mastikasi ini dilakukan selama kurang lebih 5 – 10 menit. Setelah karet menjadi lunak dan plastis, selanjutnya bahan kimia kompon dicampur dengan urutan yang pertama adalah bahan pengaktif (asam stearat dan seng oksida) hingga kedua bahan ini bercampur merata. Penambahan bahan kimia karet berikutnya terdiri atas 2/3 bagian bahan pengisi (*carbon black* atau kaolin) kemudian 1/3 bagian bahan pengisi (*carbon black* atau kaolin) dan *rubber processing oil* (minarex atau DOP) ditambahkan pada urutan berikutnya. Pencampuran bahan pengisi ke dalam kompon karet dilakukan secara bertahap agar bahan pengisi dapat terdispersi merata dalam matriks karet.

Pada saat bahan pengisi telah terlihat merata di seluruh matriks karet, ke dalam kompon ditambahkan bahan anti bakar dan bahan bantu olah (faktis coklat). Bahan pencepat (MBT atau ETU) dan bahan pemvulkanisasi (sulfur atau MgO) ditambahkan ke dalam kompon karet pada urutan terakhir agar kompon tidak tervulkanisasi selama penggilingan dalam mesin giling terbuka. Kompon karet hasil pencampuran karet dengan seluruh bahan kimia kemudian kembali digiling (*remilling* dan *reblending*) agar diperoleh kompon karet yang homogen.

Kompon karet disimpan dalam suhu ruang selama lebih kurang 20 jam sebelum dianalisis. Kompon karet dicuplik sebanyak 50 gram untuk analisis rheologi agar dapat diketahui karakteristik vulkanisasinya menggunakan Rheometer MDR Alpha 2000 pada suhu 150 °C. Sisa kompon karet kemudian dicetak menjadi vulkanisat contoh uji untuk pengujian sifat fisika dan sifat mekanik dalam *hydraulic press machine*. Kondisi operasi (waktu dan suhu) pencetakan diatur sesuai dengan hasil analisis rheologi komponnya.

Pengujian Karakteristik Vulkanisasi

Pengujian karakteristik vulkanisasi dilakukan sesuai prosedur ASTM D 2084-17 pada suhu 150 °C dengan tekanan 100 kg/cm² menggunakan Rheometer tipe MDR

(*Moving Die Rheometer*, Alpha 2000). Karakteristik vulkanisasi yang diamati dalam penelitian ini meliputi: waktu vulkanisasi optimum (T_{90}), torsi maksimum (S'max), torsi minimum (S'min), torsi optimum (S'max – S'min), dan waktu *scorch* (TS_2).

Pengujian Sifat Fisik dan Ketahanan Terhadap DME, LPG dan Gas Alam

Kompon yang telah dimatangkan selanjutnya diuji sesuai dengan SNI 9137:2022 mengenai selang karet untuk kompor gas DME dan SNI 7213:2014 tentang selang karet untuk kompor gas LPG, antara lain:

- Uji kuat tarik sesuai SNI ISO 37,
- Uji perpanjangan putus sesuai SNI ISO 37,
- Perubahan kekerasan (SNI ISO 48), perubahan kuat tarik dan perpanjangan putus setelah pengusangan pada suhu 70 °C selama 14 hari (336 jam) sesuai SNI ISO 188,
- Uji ketahanan terhadap DME menggunakan gas DME sesuai SNI 9137:2022 butir 6.2.4.
- Uji ketahanan terhadap LPG menggunakan gas LPG
- Uji ketahanan terhadap gas alam menggunakan cairan *n*-pentana sesuai SNI 7213:2014 butir 6.2.4

Dalam hal pengujian ketahanan terhadap gas alam di laboratorium, sesuai dengan BS ISO 2928:2021 mengenai "*Rubber hoses and hose assemblies for liquified petroleum gas (LPG) in the liquid or gaseous phase and natural gas up to 2,5 MPa (25 bar)- Specification*", cairan *n*-pentana digunakan untuk mewakili penggunaan gas alam di bawah 2,5 MPa, sama dengan pengujian ketahanan terhadap gas LPG di laboratorium yang juga menggunakan cairan *n*-pentana. Sedangkan uji ketahanan terhadap DME dilakukan menggunakan gas DME sesuai SNI 9137:2022 butir 6.2.4 mengenai "Selang karet untuk kompor gas Dimetil Eter (DME).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Vulkanisasi

Pengujian dengan rheometer memberikan informasi mengenai karakteristik vulkanisat ketika reaksi vulkanisasi berlangsung. Hasil uji rheometer untuk formula selang bagian dalam dan luar disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Nilai S'max menunjukkan bahwa vulkanisasi menyebabkan kompon semakin keras, kuat dan elastis sehingga torsi dari rheometer

akan menghasilkan tenaga yang besar. Kenaikan nilai S'max dapat dipengaruhi oleh terbentuknya ikatan silang pada saat vulkanisasi dan pengaruh dari adanya bahan pengisi yang bersifat menguatkan (*reinforcement*). Waktu *scorch* dan S'min sering digunakan untuk mengkarakterisasi periode induksi dimana periode ini vulkanisasi masih belum terjadi namun terlebih dahulu terjadi ikatan fisik karena adanya interaksi antara karet, bahan pengisi dan belitan rantai yang baik (Indrajati & Dewi, 2019).

Tabel 3. Karakteristik vulkanisasi kompon selang karet bagian dalam
Table 3. Vulcanization characteristic of lining compound of rubber hose

Karakteristik pematangan <i>Curing characteristic</i>	NBR1	NBR2	NBR3	NBR/NR1	NBR/NR2	NBR/NR3
S'max (dNm)	7,37	7,96	7,85	6,42	8,15	8,00
S'min (dNm)	8,87	9,35	9,24	8,16	9,76	9,51
S'max – S'min (dNm)	1,50	1,39	1,39	1,74	1,61	1,51
T ₉₀ (menit:detik)	21:57	20:06	22:02	20:52	19,24	20:46
TS ₂ (menit:detik)	5:50	3:55	5:48	5:06	3:54	4:06

Tabel 4. Karakteristik vulkanisasi kompon selang karet bagian luar
Table 4. Vulcanization characteristic of cover compound of rubber hose

Karakteristik pematangan <i>Curing characteristic</i>	NBR4	NBR5	CR
S'max (dNm)	7,35	9,27	12,34
S'min (dNm)	8,51	10,80	13,88
S'max – S'min (dNm)	1,16	1,53	1,54
T ₉₀ (menit:detik)	22:05	20:48	11:42
TS ₂ (menit:detik)	5:51	4:04	1:59

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai S'max tertinggi dicapai oleh formula NBR2 dan NBR/NR2 dengan bahan pengisi *carbon black* N550. *Carbon black* pada rentang ukuran 10-100 nm mempunyai sifat menguatkan (*reinforcement*) (Vanderbilt, 2009). *Carbon black* jenis N330 mempunyai ukuran 26-30 nm bersifat menguatkan sedangkan *carbon black* jenis N550 mempunyai ukuran 40-48 nm bersifat semi menguatkan dan *carbon black* jenis N774 berukuran 61-100 nm bersifat kurang menguatkan. *Carbon black* N330 memiliki ukuran partikel yang paling kecil sehingga dapat terdispersi dengan lebih baik di dalam matriks polimer karet dan seharusnya menghasilkan nilai S'max yang

lebih besar namun dalam penelitian ini justru menghasilkan nilai S'max yang paling kecil. Hal tersebut dapat disebabkan pemilihan sistem vulkanisasi yang kurang tepat sehingga kinerja *carbon black* yang digunakan kurang optimal. Dalam riset ini keenam formula yang disusun menggunakan sistem vulkanisasi semi efisien dimana dosis sulfur yang digunakan hampir sama dengan dosis pencepat yang ditambahkan. Penggunaan *carbon black* yang mempunyai sifat menguatkan seperti *carbon black* N330 sebaiknya menggunakan sistem vulkanisasi efisien dimana dosis sulfur yang digunakan lebih sedikit daripada dosis pencepat yang ditambahkan sehingga vulkanisasi dapat berjalan lebih optimal.

Pada keenam kompon *lining* yang telah dibuat, nilai S_{min} paling rendah dicapai oleh kompon NBR/NR1 yang menggunakan jenis *carbon black* N330 dengan jumlah phr yang paling sedikit dibanding dengan kompon dengan jenis *carbon black* N550 dan N774. Selain itu, formula NBR2 dan NBR/NR2 menghasilkan waktu *scorch* (TS_2) yang paling singkat yaitu 3 menit 55 detik dan 3 menit 54 detik. Proses *scorch* merupakan proses vulkanisasi yang tidak sempurna (prematurn) karena terjadi sebelum proses vulkanisasi berlangsung dan proses ini biasanya dipengaruhi oleh kenaikan suhu serta lamanya waktu terpapar suhu yang tinggi (Al-Nesrawy *et al.*, 2016). Semakin pendek waktu *scorch* berdampak pada kecepatan matang daripada kompon tersebut sehingga berpengaruh terhadap umur simpan kompon.

Sementara itu berdasarkan data pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai S_{max} tertinggi dicapai oleh formula CR yang menggunakan bahan karet kloroprena (CR). Selain itu, formula CR menghasilkan waktu *scorch* (TS_2) yang paling singkat yaitu 1 menit

59 detik. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam penelitian ini, formulasi kompon selang karet tahan DME, LPG, dan gas alam dengan menggunakan karet CR lebih baik dibandingkan dengan dua formula lainnya yang menggunakan karet NBR/PVC.

Sifat Fisik Vulkanisat

Pengujian sifat fisik karet merupakan metode untuk mengukur kekuatan fisik suatu material karet ketika material tersebut dikenai gaya, beban statis dan dinamis, serta ketika terpapar oksidasi. Ketahanan material kompon karet selang karet (*lining* dan *cover*) pada penelitian ini menggunakan acuan SNI 9137:2022 untuk gas DME dan SNI 7213:2014 untuk gas LPG. Tiga parameter utama untuk sifat fisik yaitu kekerasan, kuat tarik, dan perpanjangan putus diuji sebelum dan sesudah pengusangan (*aging*) pada suhu 70 °C selama 336 jam. Hasil pengujian kekerasan, kuat tarik serta perpanjangan putus sebelum dan sesudah pengusangan untuk formula selang karet bagian *lining* dan *cover* disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Karakteristik sifat fisik vulkanisat selang bagian dalam
Table 5. Physical properties characteristic of lining vulcanized of hose

Sifat Fisik <i>Physical Properties</i>	Satuan <i>Unit</i>	Syarat Mutu <i>Requirement</i>	NBR1	NBR2	NBR3	NBR/NR1	NBR/NR2	NBR/NR3
Kekerasan	IRHD	-	72	73	77	75	72	76
Kuat tarik	MPa	Min. 7	13,6	11,5	10,6	12,2	9,5	9,6
Perpanjangan putus	%	Min. 200	630	450	490	520	430	340
Perubahan setelah pengusangan:								
a. Kekerasan	IRHD	Maks. +10	3	2	2	3	3	3
b. Kuat tarik	%	Maks. ±30	16,18	12,17	19,81	7,38	7,37	10,42
c. Perpanjangan putus	%	Maks. -35	-34,92	-20,00	-32,65	-28,85	-37,21	-32,35

Tabel 6. Karakteristik sifat fisik vulkanisat selang bagian luar
Table 6. Physical properties characteristic of cover vulcanized of hose

Sifat Fisik <i>Physical Properties</i>	Satuan <i>Unit</i>	Syarat Mutu <i>Requirement</i>	NBR4	NBR5	CR
Kekerasan	IRHD	-	61	61	60
Kuat tarik	MPa	Min. 7	12,7	8,8	11,2
Perpanjangan putus	%	Min. 250	410	320	290
Perubahan setelah pengusangan:					
a. Kekerasan	IRHD	Maks. +10	2	3	2
b. Kuat tarik	%	Maks. ±30	0,79	12,50	-3,57
c. Perpanjangan putus	%	Maks. -35	4,88	-3,13	27,59

Berdasarkan data vulkanisat selang bagian *lining* pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan mengalami kenaikan sebanyak 2-3 unit setelah pengusangan. Nilai kekerasan lebih banyak dipengaruhi oleh ikatan silang, jumlah dan jenis bahan pengisi yang digunakan dalam formula kompon (Hidayat *et al.*, 2019). Pada formula *lining* variasi yang dikembangkan adalah jumlah dan jenis *carbon black* serta jenis elastomer yang digunakan, sehingga nilai kekerasan pada vulkanisat karet *lining* ini lebih dominan dipengaruhi oleh bahan pengisi *carbon black* yang digunakan.

Sementara itu, nilai persen perubahan kuat tarik setelah pengusangan cukup bervariasi mulai 7-19%. Perubahan kuat tarik setelah pengusangan sangat dipengaruhi oleh jenis elastomer yang digunakan dimana perubahan lebih besar ditemukan pada kompon NBR 1-3 yang menggunakan elastomer NBR/PVC. Penambahan karet alam pada elastomer NBR/PVC terbukti dapat meningkatkan ketahanan kompon terhadap pengusangan yang terlihat dari menurunnya persen perubahan kuat tarik dari 12-19% menjadi 7-10%. Hal ini disebabkan karet alam yang mempunyai sifat lebih lunak dibanding karet NBR/PVC (Pornprasit *et al.*, 2016). Sementara itu perubahan perpanjangan putus kompon setelah pengusangan relatif tidak terlalu dipengaruhi oleh jenis elastomer yang digunakan. Diantara keenam formula kompon selang bagian *lining*, kompon dengan formula NBR/NR2 masih belum memenuhi persyaratan mutu untuk nilai perubahan perpanjangan putus setelah pengusangan dimana maksimal yang dipersyaratkan adalah -35%.

Sama halnya dengan vulkanisat selang bagian *lining*, nilai kekerasan vulkanisat selang bagian *cover* setelah pengusangan juga mengalami kenaikan sebanyak 2-3 unit sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 6. Sementara itu, nilai persen perubahan perpanjangan putus setelah pengusangan sangat dipengaruhi oleh jenis elastomer yang digunakan dimana perubahan lebih besar ditemukan pada kompon yang menggunakan elastomer karet CR dengan nilai mencapai 27,59%. Sedangkan kompon formula NBR4 dan NBR5 relatif lebih tahan terhadap pengusangan dimana nilai perubahan

perpanjangan putusnya relatif rendah yaitu 3-4%. Di sisi lain perubahan nilai kuat tarik setelah pengusangan cukup dipengaruhi oleh jenis dan dosis *carbon black* yang digunakan, hal ini dapat dilihat dari perbedaan nilai perubahan kuat tarik yang cukup besar antara formula NBR4 dan NBR5 yaitu 0,79% dan 12,50%. Namun, jika dibandingkan dengan persyaratan mutu yang ada di dalam SNI, ketiga formula kompon selang bagian *cover* tersebut masih memenuhi syarat mutu yang ada di dalam SNI yang diacu.

Bahan pengisi yang bersifat menguatkan akan meningkatkan nilai kekerasan jika semakin banyak ditambahkan pada kompon karet (Ismail *et al.*, 2018). Pengaruh penguatan pada vulkanisat karet yang mengandung bahan pengisi juga dipengaruhi oleh aktivitas permukaan bahan pengisi. *Carbon black* memiliki aktivitas permukaan yang baik, terdiri dari (i) partikel *carbon black* yang memiliki karboksil, laktone quinon dan grup fungsional organik lain yang akan membantu peningkatan interaksi antara karet dengan bahan pengisi, (ii) *carbon black* memiliki bagian aktif secara kimia (kurang dari 5% dari permukaan partikel) yang ditimbulkan dari pemecahan ikatan karbon pada saat pembuatan dan secara kimiawi bereaksi dengan rantai elastomer (Ma *et al.*, 2010).

Nilai kuat tarik dapat dipengaruhi oleh interaksi dan komposisi antara karet dengan bahan pengisi sehingga komposisi yang sesuai memegang peranan penting terutama pada sifat fisik vulkanisat tersebut (Kapgate *et al.*, 2012). Sementara itu nilai perpanjangan putus dipengaruhi dengan jumlah bahan pengisi yang ditambahkan. Sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ismail *et al.* (2018) dimana semakin banyak bahan carbon yang ditambahkan dalam campuran karet alam dan NBR/PVC maka nilai perpanjangan putus semakin menurun.

Ketahanan Terhadap DME, LPG, dan Gas Alam (LNG)

Tujuan pengujian ketahanan terhadap gas DME, LPG dan gas alam (LNG) adalah untuk mengetahui ketahanan selang karet ketika dialirkan gas DME, LPG, dan

gas alam (LNG). Ketahanannya dilihat dari perubahan nilai kekerasan, penambahan dan pengurangan massa sebelum dan setelah perendaman. Uji perendaman langsung di dalam gas DME, gas LPG dan cairan *n*-pentana (mewakili gas alam) perlu dilakukan karena karet alam cenderung akan mengabsorpsi cairan atau gas yang bersentuhan dengannya sesuai dengan tingkat kepolaran. Absorpsi ini berlangsung searah dan cepat bila terjadi kenaikan suhu yang akan mengakibatkan peningkatan volume (Fagerland, 2011). Pada struktur selang, bagian yang berinteraksi langsung dengan gas adalah bagian dalam (*lining*)

sehingga bagian yang diuji perendaman di dalam gas DME, gas LPG, dan cairan *n*-Pentana (gas alam) hanya kompon bagian dalam (*lining*). Hasil pengujian ketahanan selang bagian *lining* terhadap DME, LPG, dan gas alam disajikan pada Tabel 7 berikut ini.

Pada Tabel 7 terlihat bahwa hasil perendaman kompon selang di dalam gas DME dan gas LPG untuk keenam formula telah memenuhi persyaratan SNI yang diacu untuk ketiga parameter yang diuji. Namun pada uji perendaman di dalam *n*-pentana (untuk mengetahui ketahanan terhadap gas

Tabel 7. Ketahanan kompon selang bagian dalam terhadap DME, LPG dan gas alam
 Table 7. Resistance of rubber lining compound to DME, LPG and natural gas

Sifat Properties	Satuan Unit	NBR1	NBR2	NBR3	NBR/NR1	NBR/NR2	NBR/NR3	Syarat mutu Requirement
Ketahanan Terhadap Gas LPG								
Perubahan kekerasan	IRHD	3	3	2	3	2	2	Maks. +10/-3
Penambahan massa	%	4,07	4,13	3,58	6,56	6,69	5,65	Maks. 10
Pengurangan massa	%	0,68	1,22	0,88	1,9	2,79	2,23	Maks. -10
Ketahanan Terhadap Gas DME								
Perubahan kekerasan	IRHD	4	3	2	2	3	2	Maks. +10/-3
Penambahan massa	%	8,01	7,49	7,32	7,62	7,77	6,43	Maks. 15
Pengurangan massa	%	-1,29	-1,43	-1,26	-0,90	-0,97	-0,83	Maks. 11
Ketahanan Terhadap Gas Alam (LNG)								
Perubahan kekerasan	IRHD	5	4	3	3	3	4	Maks. +10/-3
Penambahan massa	%	11,94	2,45	2,54	7,65	7,82	6,66	Maks. 10
Pengurangan massa	%	6,69	-1,84	-1,58	-1,42	-1,00	-0,56	Maks. -10

alam), terdapat satu (1) buah formula yang tidak memenuhi persyaratan yaitu formula NBR1 yang menghasilkan nilai 11,95% untuk parameter penambahan massa, melebihi persyaratan yaitu maksimal 10%. Penggunaan *carbon black* jenis N330 yang digunakan dalam formula NBR1 diduga berpengaruh terhadap besarnya nilai penambahan massa yang dihasilkan. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, diduga sistem vulkanisasi yang dipilih untuk formula NBR1 yang menggunakan *carbon black* jenis N330 dalam penelitian ini kurang tepat sehingga kinerja *carbon black* yang digunakan kurang optimal. Pada parameter pengurangan massa, penggunaan karet alam memperbaiki sifat ketahanan terhadap DME dan gas alam yang terlihat dari menurunnya nilai pengurangan massa. Hal ini dapat diakibatkan adanya ikatan silang yang cenderung mengurangi terjadinya pelarutan. Karet alam merupakan karet

yang mudah membentuk ikatan silang dengan belerang sehingga dengan terbentuk ikatan silang mampu menahan terjadinya *swelling*.

KESIMPULAN

Telah dihasilkan formula kompon untuk pembuatan selang karet yang tahan terhadap paparan DME, LPG dan gas alam serta telah memenuhi spesifikasi SNI 9137:2022 butir 4.2 dan SNI 7213:2014 butir 4.2 sebagai kompon/vulkanisat baik untuk lapisan dalam (*lining*) maupun lapisan luar (*cover*) selang karet untuk kompor gas DME, LPG dan gas alam. Pemilihan sistem vulkanisasi yang tepat sesuai dengan jenis *carbon black* yang digunakan sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan ketahanan kompon selang terhadap DME, LPG, dan gas alam (LNG). Penggunaan *carbon black* yang mempunyai sifat menguatkan seperti *carbon black* N330 sebaiknya menggunakan

sistem vulkanisasi efisien dimana dosis sulfur yang digunakan lebih sedikit daripada dosis pencepat yang ditambahkan sehingga vulkanisasi dapat berjalan lebih optimal. Penambahan karet alam di dalam formulasi selang bagian dalam (*lining*) terbukti dapat memperbaiki sifat ketahanan terhadap DME dan gas alam yang terlihat dari menurunnya nilai pengurangan massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Angnanon, S., Prasassarakich, P., & Hinchiranan, N. (2011). Styrene/acrylonitrile graft natural rubber as compatibilizer in rubber blends. *Polymer – Plastics Technology and Engineering*, 50, 1170-1178.
- Brandrup, J., Immergut, E. H., & Grulke, E. A. (1999). *Polymer Handbook*. Canada : John Willey and Sons Inc.
- Fagerland, J. (2011). Identification of swelling cause in rubber gaskets. (Master Thesis). KTH, School of Chemical Science and Engineering, Stockholm, Sweden.
- Handayani, H., Ramadhan, A., Cifriadi, A., Kinasih, N. A., Falah, A. F., & Maspanger, D. R. (2020). *The effect of natural rubber on physical and mechanical properties of rubber seal for LPG tube valve*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 980, 012001
- Hayeemasae, N., Soontaranon, S., Waesateh, K., & Masa, A. (2022). Effect of vulcanization systems and crosslink density on tensile properties and network structures of natural rubber. *Jurnal Teknologi*, 84(6), 181- 187.
- Hidayat, A. S., Arti, D. K., Wisojodharmo, L. A., Harahap, M.E., & Susanto, H. (2019). Effect of peptizer in mastication process on natural rubber / butadiene rubber blending : Rheological and mechanical properties. *International Journal of Engineering & Scientific Research*, 7(7), 16-22.
- Indrajati, I. N., & Dewi, I. R. (2019). Performance of binary accelerator system on natural rubber compound. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*. 34(2), 49-60.
- Ismail, R., Mahadi, Z.A., Ishak, I. S. (2018). The effect of carbon black filler to the mechanical properties of natural rubber as base isolation system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140, 012133.
- Jovanović, V., Samaržija-Jovanović, S., & Budinski-Simendić, J. (2013). Composites based on carbon black reinforced NBR/EPDM rubber blends. *Composites Part B : Engineering*, 45(1), 333-340.
- Kapgate, B. P., Das, C., Das, A., Debdipta, B., Reuter, U., & Heinrich, G. (2012). Effect of sol-gel derived in situ silica on the morphology and mechanical behavior of natural rubber and acrylonitrile butadiene rubber blends. *Journal Sol-Gel Science and Technology*, 63, 501-509.
- Ma, J., L. Zhang, Q. Li, and G. Li. 2010. *Manufacturing Techniques of Rubber Nanocomposites*. In Sabu Thomas and Ranimol Stephen (Ed). *Rubber nanocomposites: Preparation, properties and application*. John Willey & Sons (asia) Pte Ltd, 21-62.
- Pornprasit, R., Pornprasit, P., Boonma, P., and Natwichai, J. (2016). Determination of the mechanical properties of rubber by FT-NIR. *Journal of Spectroscopy*, 1, 1-7.
- Vanderbilt, R.T. January 06, 2009. *Non black filler*. Diakses dari <http://www.rtvanderbilt.com/NonBlackFillers.pdf>.