

ANALISIS DAN KARAKTERISASI FUELBINDER PROPELAN KOMPOSIT PADAT SEBAGAI UPAYA MEWUJUDKAN KEMANDIRIAN PRODUKSI PROPELAN ROKET DI LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL

ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF SOLID COMPOSITE PROPELLANT FUELBINDER AS AN EFFORT TO REALIZE THE INDEPENDENCE OF ROCKET PROPELLANT PRODUCTION IN NATIONAL INSTITUTE OF AERONAUTIC AND SPACE

Alivia Maulidina Pawestri¹, Timbul Siahaan², Nur Rachman Supadmana Muda³

UNIVERSITAS PERTAHANAN
aliviamaulidina@gmail.com

Abstrak – Penyusun utama propelan komposit padat terdiri dari oksidator dan *fuelbinder*. *Hydroxy-terminated Polybutadiene* (HTPB) merupakan cairan bening yang sering digunakan sebagai *binder* dalam propelan komposit padat berkisar 15% – 20%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh karakteristik HTPB dan pengaruh parameter kunci terhadap penurunan kinerja propelan LAPAN. Penelitian dilakukan secara kuantitatif menggunakan metode eksperimen. Sampel yang digunakan pada penelitian ini ada empat, yaitu Cina (2018 dan 2016), Korea (Hanwa) dan Indonesia (LAPAN). Hasil karakterisasi viskositas HTPB berturut-turut 50,88 P; 58,88 P; 56,27 P dan 24,61 P, semua sampel berada jauh di atas standar, yaitu 0,5P. Nilai densitas hasil pengujian 0,9036 g/ml; 0,9025 g/ml, 0,9039 g/ml; dan 0,9161 g/ml, dimana sampel LAPAN memiliki nilai paling dekat dengan standar 0,92 g/ml. Hasil uji indeks bias 1,512; 1,512; 1,513 dan 1,511, sampel LAPAN memiliki nilai linear dengan nilai viskositasnya. Hasil uji bilangan hidroksil 40,4198 g/cm³; 48,7627 g/cm³; 24,579 g/cm³; dan 35,385 g/cm³, hanya satu sampel yang memenuhi standar IUPAC 45 g/cm³. Pengujian menggunakan instrumen FTIR menghasilkan pembacaan terhadap isomer cis pada 723 nm - 727 nm, vinil di frekuensi yang sama 910,4 nm dan trans pada 960 nm – 964 nm. Hidroksil sekunder pada panjang gelombang 2900 nm dan 3450 nm serta epoksi pada 3050 sesuai dengan referensi. Hasil uji menggunakan NMR menghasilkan pembacaan cis, trans dan vinil sesuai dengan rentang pergeseran kimia. Berdasarkan perhitungan menggunakan software statistik, parameter yang berpengaruh terhadap nilai Isp adalah densitas, yang berpengaruh terhadap kepekaan terhadap termal.

Kata kunci: densitas, HTPB, karakterisasi, LAPAN, propelan komposit

Abstract – Main component of a solid composite propellant consists of an oxidizer and a *fuelbinder*. *Hydroxy-terminated Polybutadiene* (HTPB) is a clear liquid that is often used as a binder in solid composite propellants ranging from 15% - 20%. The purpose of this study was to analyze the effect of HTPB characteristics and the influence of key parameters on the decrease in LAPAN propellant performance. The study was conducted quantitatively using an experimental method. This study is

¹ Prodi Teknologi Persenjataan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

² Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

³ Prodi Telekomunikasi, Politeknik Angkatan Darat

using four samples, namely China (2018 and 2016), Korea (Hanwa) and Indonesia (LAPAN). The results of the HTPB viscosity characterization were 50.88 P, respectively; 58.88 P; 56.27 P and 24.61 P, all samples are well above the standard, which is 0.5P. The value of the density of the test results is 0.9036 g/ml; 0.9025 g/ml, 0.9039 g/ml; and 0.9161 g/ml, where the LAPAN sample has the closest value to the standard 0.92 g/ml. The refractive index test results are 1.512; 1,512; 1,513 and 1,511, the LAPAN sample has a linear value with a viscosity value. The hydroxyl number test results are 40.4198 g/cm³ 48,7627 g/cm³; 24,579 g/cm³; and 35,385 g/cm³, only one sample meets the IUPAC 45 g / cm³ standard. Tests using the FTIR instrument produced readings of isomers cis at 723 nm - 727 nm, vinyl at the same frequency 910.4 nm and trans at 960 nm - 964 nm. Secondary hydroxyl at wavelengths of 2900 nm and 3450 nm and epoxy at 3050 according to reference. Test results using NMR produce cis, trans and vinyl readings according to the chemical shift range. Based on calculations using statistical software, the parameter that affects the ISP value is density, which affects thermal sensitivity.

Keywords: density, HTPB, characterization, LAPAN, composite propellant

Pendahuluan

Letak Indonesia secara geografis sangat strategis, yaitu diapit oleh dua benua dan dua samudra tentu meningkatkan potensi ancaman bagi Indonesia. Salah satunya adalah ancaman terhadap pertahanan dan keamanan negara. Pertahanan suatu negara merupakan faktor penting dalam menjamin keberlangsungan hidup suatu bangsa. Sistem pertahanan yang diterapkan di Indonesia yaitu sistem pertahanan semesta dimana seluruh rakyat dan sumber daya yang ada di Indonesia turut berperan dalam mempertahankan kedaulatan, keutuhan wilayah dan keselamatan bangsa dari

ancaman, tantangan, hambatan dan gangguan dari dalam maupun luar negeri sesuai dengan Undang-Undang No.34 Tahun 2004.

Sebagai salah satu wujud meningkatkan daya tangkal terhadap ancaman yang ada Kementerian Pertahanan bersama dengan Komite Kebijakan Industri Pertahanan (KKIP) berusaha mewujudkan kemandirian bidang alat utama sistem senjata (alutsista) dengan penyusunan program *Master Plan*, yaitu pembangunan industri pertahanan dari tahun 2010 hingga tahun 2029. *Master Plan* terbagi dalam tiga tahap utama yaitu postur alutsista *Minimum Essential Force (MEF)*, postur *MEF Transisi* dan postur alutsista ideal. *Master Plan* berfokus pada pengembangan prioritas industri pertahanan yaitu pengembangan *Main Battle Tank (MBT)*, pesawat tempur,

⁴ Marzan A. Iskandar. (2018). *Kebijakan Strategis Dalam Pembangunan dan Pengembangan Industri Pertahanan*. Universitas Pertahanan tanggal 25 September 2018: Komite Kebijakan Industri Pertahanan.

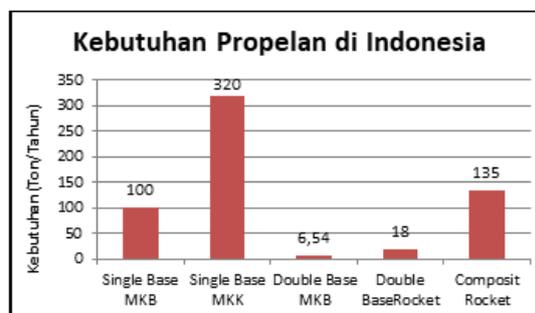
kapal selam, propelan, radar, roket dan rudal⁴. Dalam membangun kemandirian diperlukan kerjasama antar instansi maupun lembaga penelitian, akademisi dan juga pihak industri sebagai wujud pengaplikasian *triple helix*.

Pengembangan terhadap propelan telah dilakukan pada sektor industri maupun lembaga riset. Pada sektor industri terdapat PT. DAHANA yang telah mengkomersialkan propelan *single base* dan *double base*. Indonesia saat ini ingin mengembangkan roket nasional demi kepentingan pertahanan maupun komersil. Roket menggunakan propelan sebagai bahan bakar, penguasaan terhadap propelan merupakan kunci penguasaan teknologi roket.

Propelan merupakan bahan peledak yang menghasilkan gas panas dalam volume besar akibat dari proses pembakaran secara perlahan dan terkontrol. Gas hasil pembakaran digunakan sebagai zat pendorong dalam sistem propulsi suatu balistik. Gaya dorong yang dihasilkan dipengaruhi oleh komposisi penyusun propelan⁵. Total

⁵ Putri Dessy Primia Khusnul Khotimah. "Pemanfaatan Limbah Koran Sebagai Alternatif Bahan Baku Nitroselulosa Untuk Pengembangan Kemandirian Industri Propelan di Indonesia", (Bogor: Universitas Pertahanan, 2018).

kebutuhan propelan di Indonesia dari tahun 2002 sampai 2014 sebanyak 1.007.394 kg⁶. Kebutuhan propelan di Indonesia mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan pengembangan roket dan rudal. Saat ini terdapat beberapa jenis propelan yang berkembang, yaitu *single base*, *double base*, *triple base* dan komposit⁷. Berdasarkan data dari Direktorat Jendral Potensi Pertahanan (Dirjen Potan) tahun 2018 kebutuhan akan propelan komposit padat berada pada posisi kedua setelah propelan *double base* munisi kaliber kecil (MKK) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kebutuhan Propelan di Indonesia
Sumber: Laporan Dirjen Potan Kemhan, 2018 (diolah oleh peneliti)

⁶ Bondan Tiara Sofyan. "Policy for Capability Development of Smokeless Powder Propellant in Indonesia", (Dirjen Potan, 2018).

⁷ George Paul Sutton. "Rocket Propulsion Elements", (United States of Amerika: John Wiley & Sons., 2001)

Dari Gambar 1, kita mengetahui bahwa kebutuhan propelan di Indonesia paling banyak adalah propelan *single base* untuk MKK dan posisi kedua yaitu kebutuhan propelan komposit. Propelan komposit padat adalah jenis propelan heterogen yang sedang dikembangkan sebagai bahan bakar dan sistem propulsi pada roket. Roket yang dimaksud memiliki fungsi membawa hulu ledak (dalam lingkup militer) maupun sebagai pendorong satelit. Dalam ruang hampa, keberadaan propelan komposit padat menjadi suatu solusi karena menyediakan kebutuhan oksigen dalam propelan digantikan oleh *oxidizer*. Karakteristik kinerja propelan standar dan kinerja propelan yang dicapai LAPAN dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Propelan LAPAN

Karakteristik	Propelan standar	Propelan LAPAN
Impuls spesifik rerata (detik)	250-270	220
r (mm/det)	<0,7	<0,7
Solid content (%)	80/10/10	80/15/5
AP trimodal (mesh)	400/200/100	400/200/100
Berat Jenis (gr/cm ³)	1,7-1,75	1,67
Homogenitasi (%)	99	98

Sumber: Wibowo, 2018

Salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas

suatu propelan dapat dilihat dari nilai Impuls spesifik (*Isp*). Impuls spesifik dihasilkan dari laju pembakaran propelan. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai laju pembakaran diantaranya sifat dari bahan baku, konfigurasi geometri, suhu pembakaran, oksidator, homogenitas, dan tekanan ruang bakar⁸. Dari Tabel 1. kita mengetahui bahwa nilai *Isp* standar mencapai 250-270 detik sedangkan propelan yang dihasilkan oleh LAPAN memiliki nilai 220. Adanya perbedaan yang cukup signifikan tersebut menarik untuk di teliti lebih lanjut guna mengetahui penyebab yang mempengaruhi kualitas propelan.

Saat ini Indonesia masih melakukan impor bahan baku propelan dari negara-negara maju lain seperti Korea dan Cina. Hal ini dikarenakan keputusan politis Indonesia yang memilih tidak bergabung dengan *Missile Technology Control Regime* (MTCR) yang merupakan komunitas negara-negara pengembang teknologi roket, yang sangat membatasi transfer teknologi maupun referensi

⁸ Ercan Degirmenci, "Effect of Grain Size and Temperature of Double Base Solid Propellants", *Journal of Fuel Elsevier*, Vol 146, 2015, Page 95-120.

internasional tentang roket. Keterbatasan alih teknologi dan ketergantungan terhadap produk teknologi negara lain secara terus menerus akan berpengaruh terhadap kemampuan daya tangkal bangsa. Kemandirian dalam pengembangan teknologi terutama pada bidang militer memberi dampak pada peningkatan daya tangkal bangsa⁹.

Penelitian dan pengembangan tentang propelan masih terus dilakukan di Indonesia guna mencapai tujuan nasional bangsa, memiliki industri propelan dan penguasaan industri dalam negeri yang independen. Pada penelitian ini peneliti ingin mencoba mencari penyebab perbedaan nilai Isp dari aspek *fuelbinder*. Material utama penyusun propelan komposit padat yaitu *oxidizer* dan *fuelbinder*. Hampir semua roket modern menggunakan bahan *fuelbinder* poliuretan berbasis HTPB dan Al, karena memiliki sifat mekanik yang terbaik dan sifat energetik (Isp) yang tinggi¹⁰.

⁹ Kementerian Pertahanan, *Doktrin Pertahanan Negara*. (Jakarta: Kementerian Pertahanan, 2014).

¹⁰ Geni Rosita, "Pengaruh Jumlah Katalisator, Waktu Reaksi dan Waktu Alir Gas Bitadien Terhadap Pembentukan Hydroxyl Terminated

Propelan dikatakan baik jika memiliki nilai impuls spesifik yang baik. Masalah yang ada saat ini yaitu LAPAN mengolah bahan baku dari Korea Selatan yang menghasilkan nilai Isp sesuai data Tabel 1. Sebagai pembanding, LAPAN membuat propelan bahan baku dari Cina dan dengan perlakuan, komposisi dan proses yang sama. Hasil dari penggunaan bahan baku dari Cina 2016 maupun 2018 memiliki nilai impuls yang sama yaitu 224 dan HTPB LAPAN diperoleh nilai Isp sebesar 214. Untuk mengetahui adanya perbedaan signifikan tersebut maka peneliti bermaksud ingin mencari penyebab terjadinya ketimpangan dari salah satu aspek komponen utama penyusun propelan komposit padat. Salah satu komponen yang berpengaruh terhadap propelan komposit padat yaitu *binder*, dalam hal ini HTPB.

Propelan

Pendorongan ataupun peluncuran munisi kecil maupun munisi besar diperlukan adanya sistem propulsi dimana dalam sistem propulsi terdapat bahan kimia pendorong, bahan kimia pendorong ini dikenal dengan istilah

Polybutadien (HTPB)", *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, Vol. 6, 2011, No. 2, 71-76.

propelan. Propelan merupakan bagian dari bahan *low explosive*.

Jika ditinjau dari komposisi penyusunnya, propelan padat terdiri dari dua tipe, yaitu propelan padat homogen dan propelan padat heterogen. Propelan padat homogen disusun oleh nitroselulosa sebagai bahan dasarnya dan komposisi lain berupa senyawa organik. Propelan ini dibagi lagi menjadi tiga berdasar komposisi penyusunnya, yaitu *single base*, *double base* dan *triple base*. Propelan *single base* hanya menggunakan nitroselulose sebagai bahan baku, pada *double base* nitroselulose dipadukan dengan nitrogliserin sebagai bahan utama dan yang terakhir *triple base* memanfaatkan bahan baku *double base* ditambah dengan nitroguanidin. Tipe propelan heterogen dibuat dengan mencampurkan bahan bakar dengan bahan pengikat dan oksidator serta aditif.

Propelan roket komposit padat merupakan contoh dari propelan heterogen yang terdiri dari *fuelbinder*, oksidator dan aditif. Penyusun utama propelan padat komposit adalah *fuel* dan oksidator. Propelan komposit padat yang di buat di LAPAN disusun oleh komponen

cair (*fuelbinder* dan *curing agent*) serta komponen padat (oksidator dan metal fuel) dengan perbandingan 17,5% : 82,5%¹¹.

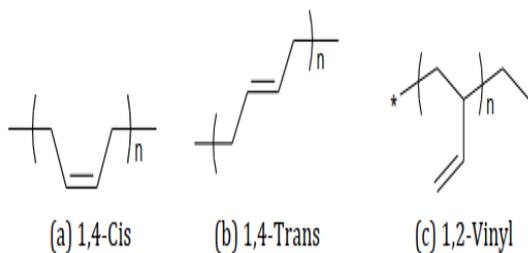
HTPB terbentuk dari perulangan monomer butadiena yang memiliki gugus hidroksil terikat pada kedua ujungnya disebut dengan HTPB yang berfungsi sebagai *binder* propelan. HTPB merupakan homopolimer padat yang dapat bereaksi dengan isosianat yang berasal dari TDI menjadi poliuretan yang memiliki sifat mekanik yang sangat baik¹². HTPB poliuretan memiliki kapasitas penyerapan guncangan yang baik hingga mengurangi sensitivitas dan kerentanan bahan peledak secara drastis¹³.

¹¹ Dwi Setyaningsih, "Propelan Padat Komposit", (Bogor: LAPAN, 2016).

¹² Stephen A. Whitmore, Z. W., "Analytical and Experimental Comparison of HTPB and ABS as Hybrid Rocket Fuels", 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, (San Diego, 2011)

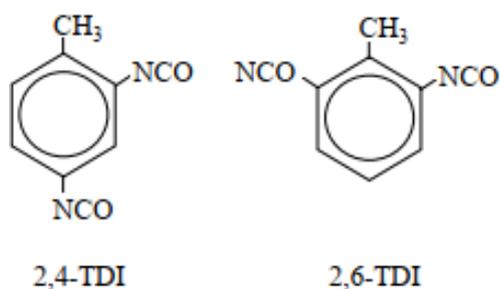
¹³ Abhijit Dey, Arun. K. dan Javid A., "Micro-structural Effect on Hydroxy Terminated Poly Butadiene (HTPB) Prepolymer and HTPB Based Composite Propellant", *Journal of Molecular Nanotechnology and Nanomedicine*, 2017, page 1-7.

HTPB memiliki tiga jenis struktur mikro dengan presentasi relatif yang bergantung pada kondisi polimerisasinya, yaitu konfigurasi cis, konfigurasi trans dan konfigurasi vinil, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mikrostruktur dari HTPB
Sumber: Abhrijit Dey, 2017

Diisocyanat dengan kepentingan teknis terbesar adalah Diisocyanat toluene (TDI) dan diphenylmethane diisocyanate (MDI). TDI komersial dipasarkan sebagai campuran dari 2,4 dan 2,6- isomer, terutama pada rasio 80:20 yg dapat di lihat Gambar 3.



Gambar 3. Isomer toluene diisocyanat
Sumber: Bousted, 2005

Dalam penelitian ini, menggunakan instrumen FTIR dan NMR. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

digunakan untuk melihat gugus fungsi yang ada pada senyawa. *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) digunakan pada tahap kontrol kualitas untuk mendeterminasi campuran dan menentukan struktur yang terbentuk.

Secara kualitatif intepretasi IR dibagi menjadi tiga daerah, yaitu daerah ulur hidrogen (3700-2700 cm^{-1}), daerah ikatan rangkap tiga (2700-1850 cm^{-1}), dan daerah ikatan rangkap dua (1950 – 1550 cm^{-1}). Sedangkan untuk analisis kuantitatif menggunakan hukum Beer. Kita dapat menghitung absortivitas molar (ϵ) pada panjang gelombang tertentu, dimana salah satu komponennya mengabsorpsi dengan kuat sedang komponen lain lemah atau tidak mengabsorpsi.

Frekuensi tertentu dari radiasi inframerah yang melewati sampel senyawa organik akan diserap oleh senyawa tersebut. Penempatan detektor dalam instrumen FTIR berfungsi untuk mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel namun tidak diserap oleh senyawa, yang diukur sebagai persen transmitten. Serapan persen transmitten memberikan informasi tentang ikatan dalam senyawa. Jumlah peak yang dihasilkan oleh spektra IR memberikan

informasi jumlah teoritis vibrasi ikatan suatu molekul.

Instrumen NMR yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Agilent 500 MHz NMR dengan sistem konsol DD2. NMR merupakan salah satu instrumen yang memiliki prinsip penyerapan gelombang radio oleh inti-inti atom spesifik dalam molekul organik yang berada dalam medan magnet kuat. Spektroskopi ^{13}C -NMR menghasilkan spektra yang berisi informasi struktur mengenai karbon-karbon dalam sebuah molekul organik. Hasil pembacaan dari instrumen NMR berupa spektrum yang membentuk pola kelompok proton. Kelompok proton yang mungkin terbentuk adalah singlet, duplet, triplet, kuartet maupun multiplet, tergantung pada lingkungan proton yang terbentuk.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif terukur langsung. Metode kuantitatif digunakan untuk mendapatkan penjelasan atas variabel penelitian dengan melihat pengaruh, hubungan dan perbedaan yang terjadi. Penelitian eksperimen dapat dilakukan diluar maupun di dalam ruangan dengan

kondisi yang ada dimanipulasi oleh peneliti sesuai dengan kebutuhan¹⁴

Desain penelitian dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Penelitian ini diawali dengan pre-eksperimental dan identifikasi masalah yang ada sesuai dengan latar belakang kemudian merumuskan, menentukan tujuan dan batasan masalah. Langkah selanjutnya adalah studi pustaka dan pengumpulan data dengan cara eksperimental laboratorium. Yang menjadi sampel dalam penelitian ini adalah *binder* HTPB yang akan dikarakterisasi sifat kimia dan fisiknya yang meliputi berat jenis, viskositas, indeks bias, bilangan hidroksil, bilangan oksiran dan pengujian menggunakan instrumen seperti FTIR dan NMR. Hasil yang diperoleh kemudian di analisis untuk mengetahui parameter apa yang mempengaruhi kinerja propelan dari sisi *binder* yang dihasilkan. Hasil analisis diharapkan dapat menjadi referensi bagi instansi terkait dalam menentukan bahan baku propelan yang baik.

Penelitian dilakukan di Pusat Teknologi Roket (Pustekroket) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

¹⁴ Priyono, "Metode Penelitian Kuantitatif", (Sidoarjo: Zifatama Publishing, 2016).

(LAPAN), Rumpin, Bogor, Center of Essential Oil Study (CEOS) Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Sedangkan pengujian menggunakan instrumen NMR dilakukan di Laboratorium Organik FMIPA Institut Teknologi Bandung.

Bahan dan Alat Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan bahan-bahan seperti HTPB sebagai sampel, kemudian metanol, indikator PP, KOH 0,1 N, Plat anhidrit, Piridin redistilasi, asam oksalat, $CDCl_3$, Tetra Hidro Flurant, dan Ethanol.

Sedangkan alat-alat yang digunakan yaitu set alat gelas, Neraca digital KERN ALJ 220-4 NM, Brookfield

rheometer DV3T, refluks, set pipet, termometer, refraktometer, FTIR dan NMR.

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, sampel yang digunakan adalah *Hydroxyl Terminated Polybutadiene* (HTPB) yang berasal dari berbagai negara seperti Cina (2016 dan 2018), Korea Selatan (Hanwa), dan Indonesia (LAPAN/Lokal). Uji karakterisasi yang dilakukan terhadap sampel meliputi pengujian viskositas, densitas, bilangan hidroksil, dan indeks bias. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman hasil karakterisasi HTPB

Karakteristik HTPB	Standar	Hasil Eksperimen			
		2018	2016	Hanwa	Lapan
Viskositas (cP)	500 cP	5088	5885	5626	2461
Densitas (g/ml)	0,92 g/ml	0,9036	0,9025	0,9038	0,9161
Indeks Bias	-	1,512	1,512	1,513	1,511
Bilangan OH (g/cm^3)	45 g/cm^3	40,42	48,77	24,58	35,38

Sumber: Hasil Olahan Peneliti, 2020

Data dari Tabel 2 kemudian digunakan untuk mencari parameter yang mempengaruhi nilai Isp. Data diolah menggunakan software statistik SPSS hingga menghasilkan data parameter yang dimaksud. Hasil perhitungan diperoleh nilai parameter densitas yang paling besar pengaruhnya terhadap nilai impuls spesifik.

Salah satu cara meningkatkan nilai impuls adalah dengan meningkatkan masa propelan. Cara mendapatkan masa propelan yang tinggi dapat ditunjang dengan meningkatkan rapat masa propelan dalam ruang geometris komposit. Jika dikaitkan dengan propelan padat komposit yang tersusun dari AP/HTPB/Al, maka peningkatan masa

propelan dilakukan dengan meningkatkan nilai *solid loading density* pada butiran AP dan *fuel* dalam *binder*.

a. Viskositas dengan densitas

Setiap fluida memiliki nilai viskositas dan densitasnya masing-masing. Viskositas merupakan gambaran nilai akibat dari gesekan antar partikel fluida. Analisis viskositas dapat digunakan untuk menentukan berat molekul rata-rata (M_v) dan sifat fluida polimer HTPB. Densitas merupakan ukuran massa suatu benda terhadap volume benda tersebut. Densitas sangat berhubungan dengan kerapatan suatu zat. Hubungan antara viskositas dengan densitas berbanding lurus. Pada penelitian ini nilai viskositas masing-masing sampel berbanding lurus dengan nilai densitasnya. Namun pada sampel LAPAN nilai viskositas berbanding terbalik dengan nilai densitas. Sampel LAPAN memiliki kerapatan lebih baik dibandingkan dengan sampel yang lain, namun gesekan antar partikel tidak terjadi secara maksimal. Faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai tersebut salah satunya adalah adanya perbedaan temperatur pada saat dilakukan pengujian. Pada suhu tinggi, partikel-partikel akan bergerak semakin cepat dan menurunkan kekentalannya. Tingkat

kekentalan sampel HTPB juga dipengaruhi oleh panjang rantai, dimana semakin panjang rantai polimer yang terbentuk maka akan semakin kental. Hal tersebut juga berkaitan dengan berat molekul, dimana semakin kental larutan maka nilai berat molekulnya semakin besar.

HTPB yang dimanfaatkan sebagai *binder* dalam propelan komposit dituntut dapat menciptakan propelan dengan sifat mekanik yang baik dan meminimalisir deformasi selama operasional akibat dari reaksi termal. Nilai viskositas yang rendah akan mengikat dan mendistribusikan AP dan Al secara menyeluruh akan menciptakan campuran yang padat dengan fleksibilitas baik hingga komposit tidak mudah retak. . Dalam pengaplikasiannya sebagai propelan, nilai viskositas rendah akan menghasilkan propelan dengan energi pembakaran tinggi, *thrust* tinggi dan cepat habis, begitu sebaliknya.

Densitas atau berat jenis juga dipengaruhi oleh suhu. Nilai densitas akan kecil ketika terjadi peningkatan temperatur, hal ini dikarenakan adanya beberapa zat yang menguap sedangkan pada temperatur rendah dapat menyebabkan zat membeku dan nilai densitasnya akan sulit diketahui. Nilai

densitas akan memberikan pengaruh pada kepekaan bahan baku terhadap termal. Nilai densitas HTPB yang terlampaui tinggi akan cenderung kurang peka terhadap termal, artinya HTPB tersebut akan mengalami kesulitan pada proses pencampuran dengan komposisi penyusun lainnya. Nilai densitas yang tinggi juga dapat diakibatkan oleh komposisi penyusun senyawa yang dianalisis, kerapatan dapat dipengaruhi oleh ikatan karbon. Dari hasil analisis sampel LAPAN diindikasikan mengandung gugus aromatis. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis kualitatif menggunakan NMR dan FTIR. Pada spektra NMR, gugus aromatis teridentifikasi pada pergeseran kimia 126 ppm - 127 ppm dan pada spektra FTIR terbaca pada 1639 cm^{-1} dan 3003 cm^{-1} . Adanya gugus aromatis ini menjadi salah satu pemicu nilai densitas tinggi karena aromatis cenderung stabil, memiliki kerapatan yang sangat baik sehingga sifatnya sukar terurai dan susah terbakar, maka diperlukan suhu pembakaran dan tekanan yang tinggi dalam proses pencampuran dengan komponen lain.

b. Bilangan OH

Bilangan hidroksil merupakan jumlah gugus hidroksil bebas yang tersedia pada setiap miligram ekuivalen

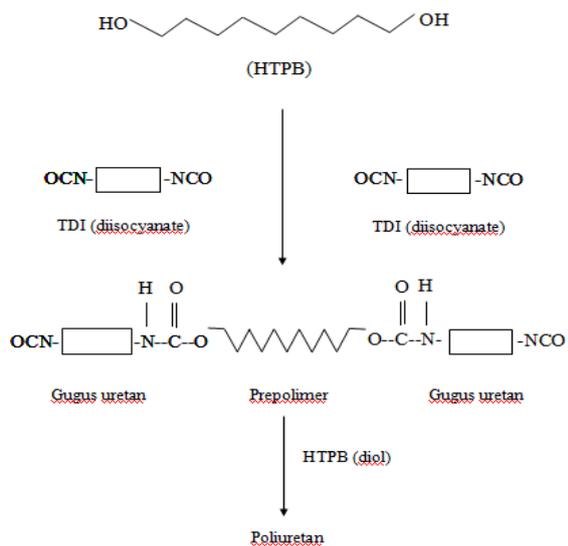
KOH. Adanya gugus hidroksil primer dan sekunder akan mempengaruhi poliuretan yang terbentuk. Bilangan hidroksil dianalisis secara volumetrik dan juga secara kualitatif menggunakan instrumen FTIR. Pada analisis volumetrik dengan cara titrasi diperoleh nilai bilangan OH paling tinggi yang ditunjukkan oleh sampel 2016, sebesar 48,7627 dan paling rendah ditunjukkan oleh sampel LAPAN dengan nilai 24,579.

Nilai bilangan hidroksil yang disarankan untuk membuat suatu poliuretan yang dapat digunakan sebagai propelan komposit padat sebesar 45 g/cm^3 . Nilai bilangan OH berhubungan dengan panjang rantai dan berat molekul. Semakin panjang rantai yang terbentuk maka akan menghasilkan nilai bilangan OH yang kecil, sebaliknya jika rantai yang terbentuk merupakan rantai pendek maka nilai bilangan OH akan semakin besar.

Bilangan OH juga menjadi salah satu parameter untuk bilangan sianat. Bilangan sianat dan bilangan hidroksil saling berkaitan dalam pembentukan suatu poliuretan. Gugus aktif isocianat yang berasal dari TDI akan bereaksi dengan HTPB membentuk suatu prepolimer yang kemudian kembali

bereaksi dengan gugus diol yang merupakan gugus hidroksil pada HTPB membentuk poliuretan. Poliuretan ini yang kemudian diaplikasikan dalam pembuatan propelan komposit padat. Nilai bilangan hidroksil dan nilai bilangan sianat digunakan untuk mencari formulasi poliuretan yang berkualitas sesuai dengan standar dan keperluan.

Gugus uretan yang bereaksi dengan gugus isosianat lain akan membentuk gugus alofonat atau ikatan biuret yang memicu terjadinya ikatan silang atau percabangan. Ikatan yang terbentuk akan memberi pengaruh terhadap sifat mekanik poliuretan dan jaringan polimer yang terbentuk. Semakin panjang rantai poliuretan yang terbentuk akan semakin lentur HTPB yang terbentuk. Struktur HTPB seperti komposisi ikatan silang dan ikatan lurus, serta panjang rantai polimer mempengaruhi sifat mekanik poliuretan. Banyaknya ikatan silang dan ikatan lurus yang terbentuk tergantung pada kondisi reaksi dan komposisi gugus hidroksil dan isocyanat yang tersedia. Reaksi yang terbentuk antara HTPB dengan TDI dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi pembentukan poliuretan antara HTPB dengan TDI
Sumber: Sutrisno, 1997

a. Indeks Bias

Nilai indeks bias juga dapat didefinisikan sebagai ukuran kelajuan cahaya dalam zat cair di bandingkan dengan udara. Nilai indeks bias dan viskositas digunakan sebagai acuan parameter kualitas fluida. Kualitas fluida yang baik ditunjukkan oleh nilai viskositas dan indeks bias yang tinggi. Viskositas, densitas dan indeks bias memiliki hubungan berbanding lurus.

Pada penelitian ini nilai viskositas dan indeks bias yang ditunjukkan sebanding, dimana penurunan nilai terjadi pada sampel LAPAN. Berdasarkan keadaan tersebut diasumsikan bahwa tingkat kekentalan suatu zat mempengaruhi nilai indeks bias. Sampel fluida yang memiliki nilai kerapatan

rendah akan lebih mudah memantulkan cahaya.

b. Pembacaan dengan FTIR

Kemampuan FTIR untuk mengungkapkan karakteristik dasar

HTPB dapat dilihat dari pengamatan absorbansi spesifik pada kisaran panjang gelombang 400-4500 cm^{-1} . Hasil pembacaan isomer pada sampel dapat dilihat pada Tabel 3.

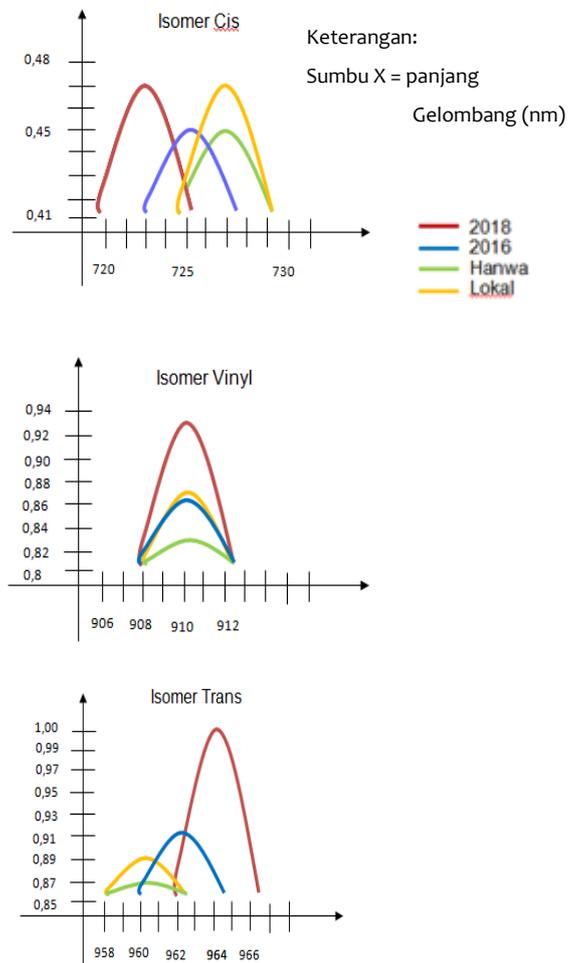
Tabel 3. Hasil pembacaan isomer dengan instrumentasi FTIR

Sampel	Cis (705-730 nm)		Vinil (910-920 nm)		Trans (964-970 nm)	
	λ	I	λ	I	λ	I
2018	723,31	0,4729	910,4	0,9342	964,41	1,0823
2016	725,23	0,4575	910,4	0,8632	962,48	0,9106
Hanwa	727,16	0,459	910,4	0,8367	960,55	0,8935
LAPAN	727,16	0,4729	910,4	0,8723	960,55	0,8723

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2019

Pembuatan polimer memungkinkan terbentuknya struktur-struktur ikatan butadien yang terdiri dari struktur cis, trans, dan vinyil. Struktur cis menyatakan letak gugus hidroksil yang terikat pada ikatan rangkap pada posisi yang sama. Struktur trans menyatakan gugus hidroksil yang terikat pada ikatan rangkap pada posisi yang saling berseberangan.

Struktur vinyil menyatakan struktur dimana gugus vinil terikat pada ikatan rangkap. Perbandingan visual isomer hasil spektra masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil visualisasi puncak dari masing-masing isomer dalam sampel (Sumber: hasil olahan peneliti, 2019)

Mikrostruktur yang terbaca pada instrumen FTIR dijadikan salah satu

bagian validasi, terutama pada sampel LAPAN. Sampel tersebut dibuat sebagai salah satu upaya membangun kemandirian produksi *binder* propelan komposit padat. Secara kuantitatif, nilai dari masing-masing mikrostruktur dapat dihitung menggunakan persamaan Lambert Beer. Hasil kuantitatif dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil kuantitatif isomer tiap sampel

Sampel	Cis (%)	Trans (%)	Vinil (%)
2018	0,224387	0,447145	0,328469
2016	0,237118	0,43274	0,330142
Hanwa	0,217369	0,431596	0,351035
LAPAN	0,229583	0,42268	0,347736

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2020

c. Pembacaan dengan NMR

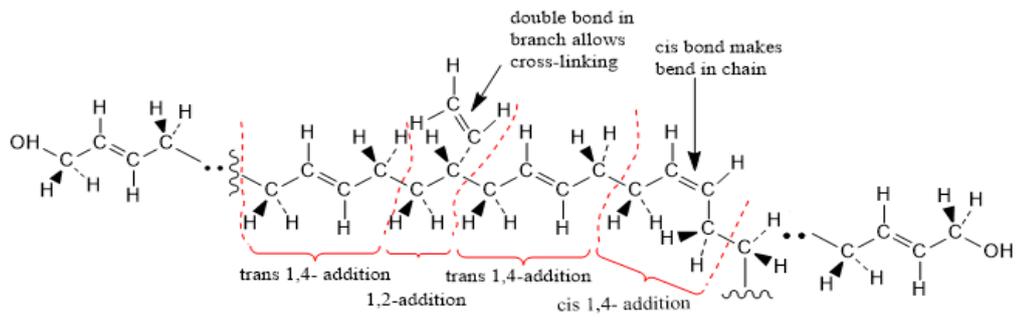
Proton dan kelompok proton molekul organik memiliki lingkungan kimia yang spesifik sehingga menghasilkan pergeseran kimia yang khas. Semakin elektronegatif lingkungan proton maka nilai pergeseran kimianya akan semakin jauh dari nilai TMS atau pun pelarut lainnya, dalam penelitian ini CDCl_3 . Ikatan rangkap cis dan trans pada HTPB akan terbaca pada sinyal 129 ppm menggunakan instrumen ^{13}C NMR, namun proses reaksi epoksidasi memunculkan sinyal tambahan pada 56 ppm dan 58 ppm. Selanjutnya, pada sinyal 114 ppm dan 141 ppm menemukan sinyal karbon vinil yang tidak berubah karena kerapatan elektronnya yang

rendah¹⁵. Hasil polimerisasi butadiena menjadi HTPB dapat dilihat pada Gambar 6.

Formulasi polimer HTPB umum memiliki 50 unit perulangan butadiena dengan radikal hidroksil pada setiap ujung rantai, sehingga dinamakan “hidroksil terminasi atau dihentikan”. Gambar 4.20 menggambarkan struktur molekul rantai HTPB dipolimerisasi trans/cis 1,4 unit butadiena, dan radikal hidroksil yang melekat pada setiap akhir string. Hasil rangkuman pembacaan instrumentasi NMR dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari Tabel 5. dapat dilihat bahwa pergeseran kimia untuk cis dan trans mengalami overlap atau tumpang tindih. Frekuensi resonansi yang sangat kecil memberi sedikit kerumitan untuk menentukan frekuensi yang tepat. Besarnya spektrum yang dihasilkan NMR berbanding lurus dengan kuat medan magnet yang terdeteksi.

¹⁵ Mir Mohammad Alavi Nikje dan Maryam G. N., “Cloiste 15 Ao Nanoclay as an Effective PTC for the Epoxidation of Hydroxyl Terminated Polybutadiene (HTPB)”, *Polimeros*, Vol. 24, 2014, No. 5, 536-540.



Gambar 6. Hasil polimerisasi butadien menjadi hydroxyl-terminated polybutadien (Sumber: hasil olahan peneliti, 2019)

Tabel 5. Rangkuman hasil pembacaan instrumentasi NMR setiap sampel

Sampel	114 ppm	142 ppm	128-129 ppm	130-131 ppm	Shift lain
2018	Kuartet	Duplet	(m) 11 puncak	(m) 11 puncak	-
2016	Duplet	Singlet	(m) 11 puncak	(m) 6 puncak	-
Hanwa	(m) 5 puncak	Duplet	(m) 17 puncak	(m) 13 puncak	-
LAPAN	Triplet	Duplet	(m) 5 puncak	(m) 6 puncak	Duplet 126 ppm

Sumber: Hasil olahan peneliti, 2020

Kesimpulan

Hasil karakterisasi dan pengolahan data memberikan informasi parameter yang mempengaruhi kinerja propelan, yaitu densitas. Nilai densitas yang diperoleh masing-masing sampel 0,9036 g/ml (2018), 0,9036 g/ml (2016), 0,9038 g/ml (Hanwa) dan 0,9161 g/ml (LAPAN) dari nilai standar 0,92 g/ml. Diketahui bahwa nilai densitas milik LAPAN bernilai tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya, hal tersebut diasumsikan akibat adanya aromatis pada sampel yang terbaca pada pengujian menggunakan instrumen NMR pada pergeseran kimia

yang stabil, begitu juga dengan kerapatan yang terlalu tinggi akan mempengaruhi bahan baku binder sebagai pengikat. Hasil karakterisasi yang diperoleh dapat dikaji dan ditingkatkan kembali sebagai upaya membangun kemandirian produksi propelan LAPAN.

Diharapkan pada penelitian berikutnya jika ingin melanjutkan penelitian ini, instrumen analisis ditambah dengan pengujian HNMR, GPC dan GC-MS agar hasil yang didapat lebih komprehensif.

Daftar Pustaka Buku

Boustead, Ian. (2005). *Eco-profiles of The European Plastics Industry* : Analisis Dan Karakterisasi *Fuelbinder* Propelan Komposit... | Alivia Maulidina Pawestri, Timbul Siahaan, Nur Rachman Supadmana Muda | 15

Tolylene diisocyanate (TDI).
Brussels: Plastics Europe.

Pertahanan, K. (2014). *Doktrin Pertahanan Negara*. Jakarta: Kementrian Pertahanan.

Setyaningsih, D. (2016). *Propelan Padat Komposit*. Bogor: LAPAN.

Sutrisno. (1997). *Pengaruh Elemen Aditif Terhadap Sifat-Sifat Propelan Padat Polibutadien – HTPB*. Indonesia: Universitas Indonesia.

Sutton, G. P. (2001). *Rocket Propulsion Elements*. United States of Amerika: John Wiley & Sons.

Jurnal

Dey, A., Arun. K. dan Javid A. (2017). Micro-structural Effect on Hydroxy Terminated Poly Butadiene (HTPB) Prepolymer and HTPB Based Composite Propellant. *Journal of Molecular Nanotechnology and Nanomedicine*, 1-7.

Degirmenci, E., 2015, Effect of Grain Size and Temperature of Double Base Solid Propellants, *Journal of Fuel Elsevier*, Vol 146, Page 95-120.

Iskandar, M. A. (2018). *Kebijakan Strategis Dalam Pembangunan dan Pengembangan Industri Pertahanan*. Universitas Pertahanan tanggal 25 September

2018: Komite Kebijakan Industri Pertahanan.

Khotimah, Putri Dessy Primia K. (2018). *Pemanfaatan Limbah Koran Sebagai Alternatif Bahan Baku Nitroselulosa Untuk Pengembangan Kemandirian Industri Propelan di Indonesia*. Bogor: Universitas Pertahanan.

Nikje, Mir Mohammad A. Dan Maryam G. N., (2014). Cloiste 15 Ao Nanoclay as an Effective PTC for the Epoxidation of Hydroxyl Terminated Polybutadiene (HTPB). *Polimeros*, Vol. 24, No. 5, 536-540.

Rosita, G. (2011). Pengaruh Jumlah Katalisator, Waktu Reaksi dan Waktu Alir Gas Bitadien Terhadap Pembentukan Hydroxyl Terminated Polybutadien (HTPB). *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, Vol. 6, No. 2, 71-76.

Sofyan, B. T. (2018). *Policy for Capability Development of Smokeless Powder Propellant in Indonesia*. Ditjen Pothan.

Whitmore, Stephen A. (2011). Analytical and Experimental Comparison of HTPB and ABS as Hybrid Rocket Fuels. *47th AIAA/ASME/SAE/ASEE*

Joint Propulsion Conference & Exhibit. San Diego.

Wibowo, H. B. (2018). Current Solid Propellant Research and Development in Indonesia and Its Future Direction. *Journal of Physics : Conf. Series 1130, 6th International Seminar of Aerospace Science and Technology*, 1-11.