

KONVERSI NILAI KEKERASAN ANTARA DUROMETER ANALOG DAN DIGITAL DALAM RANGKA MENINGKATKAN KUALITAS BINDER PROPELAN

Afni Restasari, Wahyuningsih Titik Suryandari, Mad Saleh, Katmar, Priyanto
Pusat Teknologi Roket, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
afni.restasari@lapan.go.id

Abstrak

Pengukuran peningkatan kekerasan dengan menggunakan durometer pada poliuretan penting untuk dilakukan agar didapatkan komposisi *binder* dengan tingkat polimerisasi terbaik untuk propelan. Durometer digital diketahui lebih akurat daripada durometer *analog* karena hasil pengukurannya dapat terbaca dalam bentuk bilangan desimal, namun tidak dapat digunakan pada kekerasan 0 – 3 shore A. Keutamaan penelitian ini ialah untuk menemukan persamaan linear yang menghubungkan nilai pengukuran kekerasan dari durometer *analog* dan digital serta korelasinya. Bahan uji kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah poliuretan berbahan HTPB (*Hidroxy Terminated Polybutadiene*) dan TDI (*Toluene diisocyanate*). Metode yang digunakan meliputi pengujian homogenitas kekerasan dengan durometer digital, pengujian kekerasan dengan *durometer analog*, penyajian hasil secara grafik, penentuan korelasi dan persamaan linier. Sebanyak 15 sampel diukur kekerasannya untuk menghitung linieritas antara nilai kekerasan yang dihasilkan oleh durometer *analog* dan digital. Hasil penelitian ini ialah diperoleh persamaan linier $y = 1,007x + 0,078$ dengan tingkat korelasi yang sangat kuat dan koefisien korelasi 0,9995 antara nilai kekerasan yang dihasilkan dari pengukuran dengan menggunakan durometer *analog* dan digital pada range 12 – 54,2 shore A.

Kata Kunci: Kekerasan, Durometer, *Poliuretan*.

Abstract

Testing of the increasing hardness by using durometer on polyurethane is important to do in order to get the binder's composition that has best polymerization degree for the propellant. Digital durometer is more accurate than analog durometer because its result can be read in decimal, but it can not be used on hardness 0 – 3 shore A. Therefore, this study aimed to discover the linear equation that correlating the hardness values that are tested by using analog and digital durometers as well as its correlation. Materials used in this study were polyurethanes that were made of HTPB (Hidroxy Terminated Polybutadiene) and TDI (Toluene diisocyanate) Methods of this study included testing hardness homogeneity by using digital durometer, testing hardness by using analog durometer, representating data graphically, determinating correlation and linear equation. Hardness of fifteen samples were testing to calculate linearity between hardness values that were measured by using analog and digital durometers. The conclusion of this study is the discovery of linear equation of $y = 1,007x + 0.078$ with a very strong level of correlation and correlation coefficient 0.9995 between hardness values that are resulted by the measurements using analog and digital durometer on range 12 – 54.2 shore A.

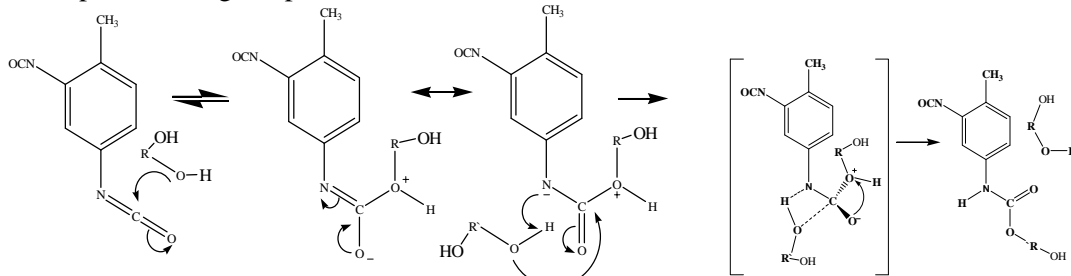
Keywords: Hardness, Durometer, Polyurethanes.

1. PENDAHULUAN

LAPAN telah lama mengembangkan propelan padat komposit sebagai bahan bakar roket. Kelebihan propelan komposit meliputi biaya proses dalam motor besar yang relatif rendah, *impuls* spesifik yang lebih tinggi, memungkinkan sistem *case-bonded* dan laju bakar tidak dipengaruhi oleh akselerasi yang tinggi. Propelan ini termasuk dalam propelan heterogen yang membutuhkan polimer sebagai pengikat seluruh bahan penyusun propelan yang dapat meliputi Aluminium sebagai bahan bakar logam dan *Ammonium* perklorat sebagai oksidator. Polimer yang dipilih adalah poliuretan yang terbuat dari HTPB (*Hidroxy Terminated Polybutadiene*) dan TDI (*Toluene diisocyanate*)[1].

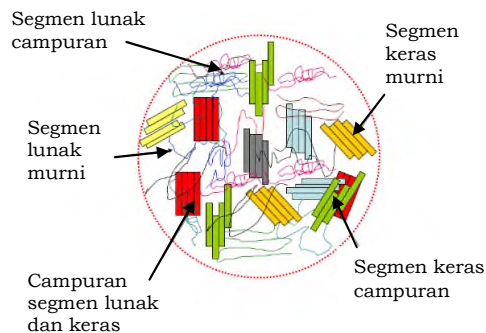
Poliuretan digunakan sebagai *binder* karena jaringan poliuretan memberikan matriks yang baik untuk oksidator anorganik, bahan bakar metal dan bahan lain yang terdispersi dalam propelan padat[2][3]. Selain itu *poliuretan* juga memiliki stabilitas terhadap hidrolitik yang baik, penyerapan terhadap air yang rendah, fleksibilitas pada temperatur rendah yang baik, kecocokan yang tinggi dengan pengisi dan extender, fleksibilitas yang baik terhadap formulasi dan *poliuretan* berbasis HTPB memiliki kemampuan mengabsorpsi guncangan (*shock*) sehingga menurunkan sensitifitas dan kerentanan dari material peledak[2][4][5][6]. HTPB penyusun poliuretan memiliki kemampuan mengadsorpsi padatan hingga 86 – 88% tanpa kehilangan kemudahannya untuk diproses sehingga menghasilkan sifat mekanik yang baik[2][4] serta memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga meningkatkan impuls spesifik motor roket[2][4][5].

Poliuretan yang digunakan sebagai binder propelan adalah polimer yang mengandung ikatan uretan (-NHCOO-) dan dihasilkan dari reaksi kopolimerisasi gugus hidroksil (OH) dari HTPB dengan gugus isosianat (NCO) dari TDI[7], seperti Gambar 1-1. Mekanisme tersebut diawali oleh penyerangan elektron dari gugus hidroksil ke atom karbon pada gugus isosianat dan menghasilkan uretan dengan tiga gugus aktif yaitu isosianat dari TDI, uretan dan hidroksil dari HTPB yang masih bisa bereaksi lagi[8][9]. Komposisi HTPB : TDI dalam poliuretan diketahui mempengaruhi sifat mekanik, sifat fisik dan kimia poliuretan dalam hal perpanjangan rantai ini[10]. Jumlah HTPB yang berlebih akan memberikan struktur ikatan linier. Sebaliknya, jumlah TDI yang berlebih akan membentuk ikatan silang yang banyak sehingga struktur kopolimer sangat rapat[9].



Gambar 1-1. Reaksi pembentukan poliuretan[8][11]

Material poliuretan tersusun dari segmen lunak dan segmen keras. Segmen keras terdiri dari gugus uretan. Sementara segmen lunak terdiri dari polibutadiena yang berasal dari HTPB. Segmen keras berkontribusi dalam sifat plastis poliuretan seperti kekuatan tarik, kekuatan sobek, ketahanan terhadap bahan kimia dan performa dalam temperatur tinggi. Sedangkan, segmen lunak berkontribusi dalam sifat elastomerik poliuretan yang berupa kekerasan, ketahanan terhadap ketegangan dan kompresi, fleksibilitas dan performa pada temperatur rendah. Lima morfologi yang potensial pada poliuretan adalah segmen keras murni, segmen lunak murni, campuran segmen lunak, campuran segmen keras dan campuran antara segmen keras dan lunak. Morfologi ini dapat dilihat pada Gambar 1-2.



Gambar 1-2. Morfologi segmen lunak dan keras dalam poliuretan[2][12]

Salah satu sifat fisik poliuretan yang penting untuk diuji adalah kekerasan yang merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi permanen ketika kontak atau ditembus oleh bahan yang lebih keras. Karakteristik kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh komposisi bahan[13]. Pada polimer seperti poliuretan, kekerasan dipengaruhi oleh berat molekul, jumlah ikatan silang dan komposisi atom[14], sehingga pengukuran kekerasan selama proses pematangan (curing) poliuretan dapat digunakan sebagai panduan untuk mengetahui jumlah ikatan silang sebagai hasil dari polimerisasi[9]. Hal – hal tersebut penting untuk diketahui terutama dalam penentuan komposisi HTPB dan TDI yang terbaik untuk binder propelan.

Selain untuk mengetahui perkembangan derajat polimerisasi, pengukuran kekerasan juga penting untuk dilakukan karena berhubungan dengan karakteristik bahan yang lain seperti kuat tarik, *yield strength*, *yield stress*, *fatigue limit*, modulus young, kandungan kelembaban, distribusi regangan residu dan ketangguhan terhadap patah [2][13][15][16][17][18][19][20]. Selain itu pengukuran kekerasan memiliki keunggulan yaitu metode yang sederhana, mudah dan relatif tidak merusak sampel. Alat pengukur kekerasan dinamakan durometer[13].

Durometer yg digunakan untuk mengukur kekerasan poliuretan adalah Durometer shore A dengan spesifikasi meliputi gaya pegas sebesar 8,050 N, gaya pada tekanan kontak sebesar 9,81 N, indenter berbentuk kerucut terpotong (*truncated cone*) dengan sudut kerucut sebesar 350, dan *range* pengukuran maksimal 90 shore A. Durometer ini digunakan untuk sampel dengan tebal minimal 6 mm dan luas 3 cm². Jarak antar titik pengukuran minimal 5 mm dan jarak dari tepi minimal 1,2 cm. Durometer shore A tersedia dalam dua jenis, yaitu *analog* dan digital, seperti terlihat pada Gambar 1-3. Perbedaan penting dari dua jenis durometer tersebut adalah cara pembacaan nilai kekerasan. Durometer *analog* dibaca secara manual dengan angka pada durometer tidak menunjukkan bilangan desimal. Sedangkan, pada durometer digital nilai kekerasan tampil secara otomatis di layar dengan satu angka di belakang koma[13].



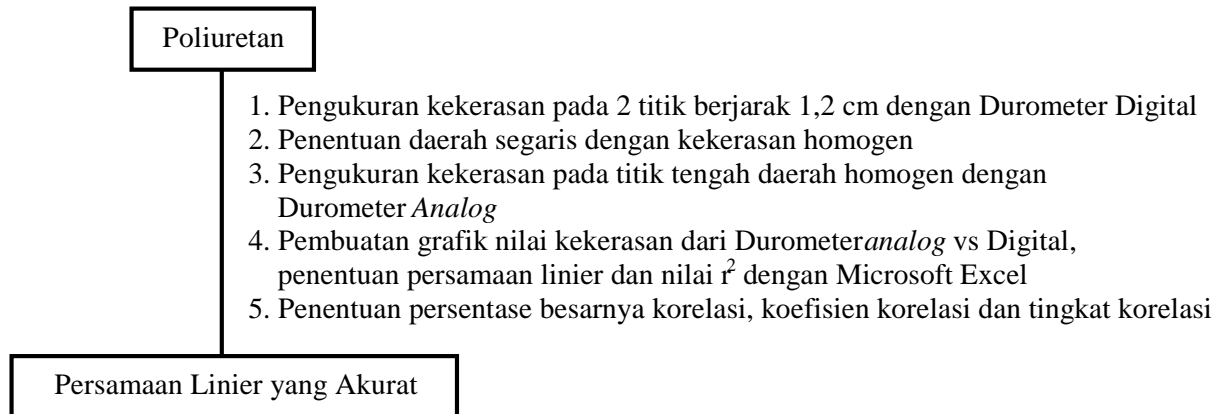
Gambar 1-3. Kiri : Durometer Analog, Kanan : Durometer Digital[13]

Dalam hal pembacaan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan durometer digital lebih akurat daripada durometer *analog*. Namun dalam hal pembacaan prepolimer poliuretan yang belum atau baru saja matang, penggunaan durometer digital menemui masalah. Prepolimer yang baru saja matang memiliki kekerasan yang sangat kecil. Pada pembacaan dengan durometer *analog* terhadap prepolimer tersebut, nilai kekerasan yang terukur antara 0 – 3 shore A. Sementara, durometer digital tidak dapat membaca nilai kekerasan tersebut. Untuk mengatasi permasalahan ini diperlukan persamaan linier yang menghubungkan nilai kekerasan yang dihasilkan oleh durometer *analog* dan digital.

Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini ialah untuk menemukan persamaan linear yang menghubungkan nilai kekerasan dari durometer *analog* dan digital. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menemukan korelasi antara nilai kekerasan dari dua jenis durometer tersebut. Hal ini untuk mendukung layak tidaknya persamaan linier tersebut untuk diaplikasikan. Manfaat dari penelitian ini adalah pengukuran kekerasan pada *prepolimer* poliuretan menjadi lebih akurat sehingga komposisi *binder* yang terbaik untuk propelan dapat lebih berkualitas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan sebagai sampel dari penelitian ini adalah poliuretan yang terbuat dari HTPB 2011 dan TDI 2011 yang telah matang serta poliuretan berbahan HTPB 2014 dan TDI 2013 yang dalam proses pematangan. Rasio massa HTPB 2011 : TDI 2011 pada sampel meliputi 10 : 1, 11 : 1, 12 : 1 dan 14 : 1 yang merupakan hasil penelitian dari Luthfia Hajar Abdillah 21. Sedangkan rasio massa HTPB 2014 : TDI 2013 yang digunakan 15 : 1. Alur kerja pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2-1. Perhitungan persentase besarnya korelasi dan koefisien korelasi ditentukan berturut – turut dengan Persamaan 1 dan 2. Sementara, penentuan tingkat korelasi berdasarkan Tabel 2-1.



Gambar 2-1. Alur Kerja Penelitian

$$\% r^2 = r^2 \times 100 [22] \quad (1)$$

$$r = (r^2)^{1/2} [22] \quad (2)$$

Tabel 2-1. Tingkatan Korelasi

Nilai r	Tingkatan
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat [22]

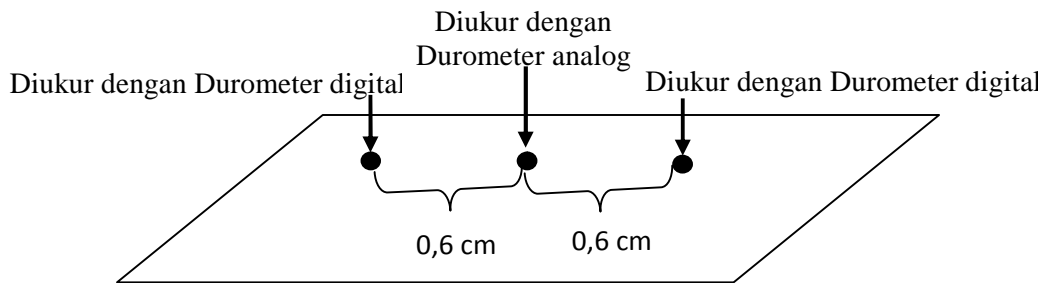
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekerasan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi permanen ketika kontak atau ditembus oleh bahan yang lebih keras[13]. Kekerasan propelan sangat dipengaruhi oleh kekerasan poliuretan sebagai *binder*-nya[1][2][4]. Dalam penentuan rasio massa HTPB : TDI yang terbaik untuk digunakan sebagai *binder* propelan, pengukuran kekerasan penting untuk dilakukan selama proses pematangan (*curing*) poliuretan yang dihasilkan. Dalam pengukuran kekerasan tersebut digunakan durometer yang tersedia dalam dua jenis, yaitu durometer *analog* dan durometer digital. Durometer digital lebih akurat daripada durometer *analog* karena memunculkan satu angka di belakang koma secara otomatis pada nilai kekerasan[13]. Namun pada poliuretan dengan nilai kekerasan yang sangat rendah (0 – 3 shore A), durometer ini tidak dapat membaca nilai kekerasan yang dapat dibaca oleh durometer *analog*. Oleh karena itu, pengambilan sampel kekerasan dengan nilai beragam diperlukan untuk dapat dibuat persamaan linier yang menghubungkan nilai kekerasan durometer digital dan *analog*.

Dalam memenuhi kebutuhan terhadap berbagai nilai kekerasan tersebut, maka penelitian ini menggunakan sampel poliuretan yang sudah matang dan yang dalam proses pematangan. Kekerasan sampel yang masih dalam proses pematangan lebih rendah daripada poliuretan yang sudah matang karena ikatan silangnya masih sedikit. Pada poliuretan yang sudah matang penelitian ini menggunakan poliuretan dengan kandungan HTPB : TDI berbagai rasio agar diperoleh nilai kekerasan yang lebih beragam. Hal ini karena kekerasan sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan[9][10][14].

Langkah awal dari penelitian ini ialah menentukan daerah berbentuk garis yang memiliki kekerasan homogen karena sulit menemukan poliuretan yang memiliki kekerasan homogen pada daerah dengan luasan yang lebih besar. Kesulitan ini dapat disebabkan karena poliuretan terdiri dari segmen lunak dan keras. Morfologi poliuretan dari perpaduan kedua segmen tersebut melingkupi 5 kemungkinan yaitu segmen keras murni, segmen lunak murni, campuran segmen lunak, campuran segmen keras dan campuran antara segmen keras dan lunak[12].

Pada penentuan homogenitas kekerasan, dua buah titik dengan jarak 1,2 cm diukur kekerasannya dengan durometer digital yang lebih akurat dari durometer *analog*. Pengambilan jarak 1,2 cm karena jarak minimal dua titik untuk diuji kekerasan adalah 6 mm atau 0,6 cm[13]. Kemudian, setelah ditemukan dua titik dengan kekerasan yang sama maka titik tengah garis tersebut diukur kekerasannya dengan durometer *analog*. Ilustrasi pengukuran ini dapat dilihat pada Gambar 3-1. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3-1.

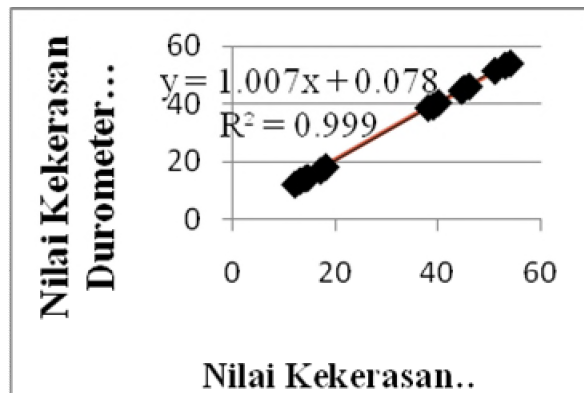


Gambar 3-1. Ilustrasi pengukuran untuk penentuan garis dengan kekerasan homogeny

Tabel 3-1. Data Kekerasan Berbagai Sampel

No	Jenis Sampel	Kekerasan dengan Durometer <i>Analog</i>	Kekerasan dengan Durometer Digital
1	HTPB 2014 : TDI 2013 15 : 1	12	12,2
2	HTPB 2011 : TDI 2011 10 : 1	13	13,4
3	HTPB 2011 : TDI 2011 10 : 1	14	14,2
4	HTPB 2011 : TDI 2011 10 : 1	14,5	14,5
5	HTPB 2011 : TDI 2011 11 : 1	17	16,9
6	HTPB 2011 : TDI 2011 11 : 1	18	18,2
7	HTPB 2011 : TDI 2011 12 : 1	38	38,8
8	HTPB 2011 : TDI 2011 12 : 1	39	39,3
9	HTPB 2011 : TDI 2011 12 : 1	40	40,6
10	HTPB 2011 : TDI 2011 14 : 1	44,5	44,7
11	HTPB 2011 : TDI 2011 14 : 1	45	45,5
12	HTPB 2011 : TDI 2011 14 : 1	46	46,2
13	HTPB 2011 : TDI 2011 15 : 1	51	51,6
14	HTPB 2011 : TDI 2011 15 : 1	53	53,5
15	HTPB 2011 : TDI 2011 15 : 1	54	54,2

Pada Tabel 3-1 terlihat bahwa perbedaan nilai kekerasan yang terukur oleh durometer *analog* dan digital hanya berbeda pada satu angka di belakang koma saja. Hal ini membuktikan bahwa durometer *analog* yang digunakan masih akurat. Selanjutnya, data – data kekerasan yang didapat dari durometer *analog* dan digital kemudian dibuat grafik, ditentukan persamaan linier dan nilai r^2 dengan menggunakan Microsoft Excel. Grafik ini disajikan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2. Grafik nilai kekerasan durometer *analog* vs digital

Gambar 3-2 menunjukkan korelasi antara nilai kekerasan dari durometer *analog* dan digital 99% dengan $r = 0,9995$ dengan tingkat korelasi sangat kuat. Tingkat korelasi yang sangat kuat ini menunjukkan bahwa persamaan linier yang dihasilkan dapat diaplikasikan. Persamaan linier tersebut yaitu $y = 1,007x + 0,078$, dengan y adalah nilai kekerasan dari durometer digital dan x adalah nilai kekerasan dari durometer *analog*. Dengan aplikasi dari persamaan ini, pengukuran kekerasan pada prepolimer poliuretan menjadi lebih akurat karena hasilnya akan mengandung 3 angka di belakang koma sehingga komposisi binder yang terbaik untuk propelan dapat lebih berkualitas.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah diperoleh persamaan linier $y = 1,007x + 0,078$ dengan tingkat korelasi yang sangat kuat dan koefisien korelasi 0,9995 antara nilai kekerasan yang dihasilkan dari pengukuran dengan menggunakan durometer *analog* dan digital pada *range* 12 – 54,2 shore A.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Teknologi Roket Drs.Sutrisno, M.Si, Koordinator Lab.Komposisi Dasar Drs. Kendra Hartaya, M.Si, serta Dra. Geni Rosita yang telah memberikan bimbingan atas tersusunnya karya tulis ilmiah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf Laboratorium Komposisi Dasar atas kerjasama dan terlaksananya penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggungjawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Ramnarace, Jawarhalal, 2015, *Rocket Propellant Technology*. Page Publishing Inc, New York.
- 2) Restasari, A., R. Ardianingsih, dan L. H. Abdillah, 2015, *Pengaruh Massa Hidroxy Terminated Polybutadiene (HTPB) Terhadap Besarnya Pengaruh Vinil Dalam Meningkatkan Laju Kenaikan Viskositas Dan Kekerasan Binder Propelan Padat Komposit (The Effects Of Hidroxy Terminated Polybutadiene (HTPB)'s Mass On The Magnitude Of Vynil's Effects In Increasing Composite Solid Propellant Binder`S Rate Of Increasing Of Viscosity And Hardnes)*, Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 13 no. 1, PP. 61 – 70.
- 3) Mahanta, A. K., M. Goyal, dan D. D. Pathak, 2010, *Rheokinetic Analysis of Hydroxy Terminated Polybutadiene Based Solid Propellant Slurry*, E-Journal of Chemistry, Vol. 7 no. 1, PP. 171 – 179.
- 4) Mahanta, A. K., dan D. D. Pathak, 2012, *HTPB-Polyurethane: A Versatile Fuel Binder for Composite Solid Propellant, Polyurethane*, Dr. Fahmina Zafar (Ed.), ISBN: 978-953-51-0726-2, InTech, DOI: 10.5772/ 47995, PP. 229- 230, tersedia di: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/38599.pdf>, diakses Juli 2015.
- 5) Sadeghi, G. M. M., J. Morshedian, dan M. Barikani, 2006, *The Effect of Solvent on the Microstructure, Nature of Hydroxyl End Groups and Kinetics of Polymerization Reaction in Synthesis of Hydroxyl Terminated Polybutadiene* Reactive and Functional Polymers, Vol. 66, PP. 255 - 266.
- 6) Dey, A., S. Khan, J. Athar, dan S. Chattopadhyay, 2015, *Effect of Microstructure on HTPB Based Polyurethane (HTPB-PU)*, Journal of Materials Science and Engineering B, Vol. 5 (3-4), PP. 145-151.
- 7) Rosita, G., 2012, *Pengaruh Komposisi HTPB-TDI terhadap Propelan Mandiri* Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta.
- 8) Sharmin, E., dan F. Zafar, 2012, *Polyurethane: An Introduction, Polyurethane*, ISBN: 978-953-51-0726-2, InTech, DOI: 10.5772/51663, PP. 5 – 6, 12, tersedia di: http://cdn.intechopen.com/pdfs/38589/InTech-Polyurethane_an_introduction.pdf, diakses Juli 2015.
- 9) Wibowo, H. B., 2015, *Pengaruh Distribusi Fungsionalitas Polimer Terhadap Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis HTPB*. Bunga Rampai Hasil Litbangyasa : Teknologi Pada Pesawat Terbang, Roket dan Satelit. Indonesia Book Project, Jakarta. PP. 283 – 290.
- 10) Rosita, G., 2014, *Pengaruh Perbandingan HTPB Lokal dengan Toluene Diisocyanat dan Persentase Fuel Binder Pada Pembuatan Propelan*. Hasil Penelitian dan Pemikiran Ilmiah tentang Teknologi Pesawat Terbang Tanpa Awak, Roket serta Satelit 2014. Indonesia Book Project, Jakarta. PP. 171 – 180.
- 11) Restasari, A., R. Ardianingsih, dan L. H. Abdillah, 2015, *Effects of Toluene Diisocyanate`s Chemical Structure on Polyurethane`s Viscosity and Mechanical Properties for Propellant* Proceeding ISAST III 2015 International Seminar of Aerospace and Technology, Development of Aeronautics and Space Technology to Support Maritime Application, PP. 59 – 67.
- 12) Lem, K. W., J. R. Haw, S. Curran, S. E. Sund, C. Brumlik, G. S. Song, dan D. S. Lee, 2013, *Effect of Hard Segment Molecular Weight on Dilute Solution Properties of Ether Based Thermoplastic Polyurethanes*, Nanoscience and Nanoengineering, Vol. 1 no. 3. PP. 123-133.

- 13) Herrmann, Konrad, 2011, *Hardness Testing Principles and Applications* ASM International, USA.
- 14) Gilman, J. J., 2009, *Chemistry and Physics of Mechanical Hardness* A John Willey and Sons, New Jersey.
- 15) Gaško, M., dan G. Rosenberg, 2011, *Correlation Between Hardness and Tensile Properties In Ultra-High Strength Dual Phase Steels–Short Communication*, Materials Engineering-Materiálové inžinierstvo. Vol. 18. PP. 155-159.
- 16) Ceschini, A. Morri, A. Morri, G. Pivetti, 2011, *Mater, Des*, Vol 32. PP. 1367 - 1375.
- 17) Pavlina, E. J and C.J. Van Type, 2008, *J. Mater. Eng. Perform*, Vol 17. PP. 6888 - 6893.
- 18) Li, P., X. F. Zhu., G. P. Zhang, J. Tan, W. Wang, B. Wu, 2010, *Philos, Mag*, Vol. 90. PP. 3049 – 3067.
- 19) Zhang, P., S. X. Li, dan Z. F. Zhang, 2011, *General Relationship Between Strength and Hardness* Materials Science and Engineering A, Vol. 529. PP. 62 – 73.
- 20) Zhao, H., D. Allanson, dan X. J. Ren, 2015, *Use of Shore Hardness Tests for In-Process Properties Estimation / Monitoring of Silicone Rubbers. Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, Vol. 3. PP. 142-147
- 21) Abdillah, L. H., 2015, *Penelitian Swelling Prepolimer HTPB-TDI Sebagai Penjajagan Peningkatan Solid Loading Pada Formulasi Propelan*, Teknologi Pesawat Terbang Sebagai Mitra Pengembang Teknologi Roket dan Satelit Nasional, Indonesia Book Project, Jakarta.
- 22) Sugiyono, 2011, *Statistika Untuk Penelitian*, Penerbit Alfabeta, Bandung.