

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN MATERIAL AWAL NITROSELULOSA SEBAGAI ISIAN PROPELAN BERBASIS LIMBAH KELAPA SAWIT

Development of Technology and Raw Material of Nitrocellulose as Propellant Substance Based on Palm Oil Wastes

Ersha Mayori ¹, Asma Nadia ², Sunardi ^{3*}, Romie Oktovianus Bura ¹

¹Universitas Pertahanan, Kawasan IPSC, Bogor, Indonesia

²Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani Km 36.5, Banjarbaru, Indonesia

³Pusat Penelitian Sumber Daya Lahan Basah untuk Lingkungan yang Berkelanjutan, Fakultas MIPA Universitas
Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani Km 36.5, Banjarbaru, Indonesia

*Penulis koresponden: ershamayori888@gmail.com, sunardi@ulm.ac.id

Abstract

Development of national defense industry in Indonesia is very important to supply the requirements of the means of defense and the independence of country in the field of defense. One indicator of self-reliance in defense technology is the procurement of propellant. Nitrocellulose is one of the main component for propellant production. Synthesis nitrocellulose from cellulose which can be found in plants are environmentally friendly. The general aim of this article is to review about development of nitrocellulose, includes materials, methods, and advantages, mainly to support self defense industry and to achieve synthesis polymer as renewable energy from natural resources in South Kalimantan which is palm oil fronds.

Keywords: palm oil waste, self defense industri, propellant, nitrocellulose, renewable energy

1. PENDAHULUAN

Undang-Undang No. 16 Tahun 2012 menyatakan industri pertahanan merupakan industri nasional yang terdiri atas badan usaha milik negara dan badan usaha milik swasta baik secara sendiri maupun berkelompok yang ditetapkan oleh pemerintah untuk sebagian atau seluruhnya menghasilkan alat peralatan pertahanan dan keamanan, jasa pemeliharaan untuk memenuhi kepentingan strategis di bidang pertahanan dan keamanan yang berlokasi di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia. Industri pertahanan diberi tanggung jawab membangun kemampuan dalam menghasilkan Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan bagi Negara Indonesia (Pemerintah RI 2015). Pengembangan dan penelitian harus selalu dilakukan untuk mencapai kemandirian dalam industri dan pengembangan alat utama sistem persenjataan (alutsista) dalam menghadapi ancaman dari luar negeri maupun dalam negeri.

Industri pertahanan diharapkan mampu mengembangkan dan mencapai kemandirian dari 7 program nasional prioritas kemandirian dalam alutsista, salah satunya adalah pengembangan industri propelan. Tujuan mengenai upaya ini telah ditetapkan oleh pemerintah melalui Tim Komite Kebijakan Industri Pertahanan (Pemerintah RI

2012). Namun sampai saat ini kebutuhan propelan untuk mendukung pertahanan dan keamanan Indonesia masih mengandalkan impor. Salah satu bahan baku dalam pembuatan propelan atau bahan peledak adalah polimer yang dapat diproduksi dari bahan baku utama selulosa baik sintesis maupun polimer alami (Loekman 2006).

Polimer alami ramah lingkungan dapat diperoleh dari bahan baku yang mudah diperbarui dan ketersediaannya melimpah dan dapat digunakan dalam industri bahan bakar bersifat energetik. Material yang dapat diperbarui dan ketersediaannya melimpah untuk industri menjadi salah satu keutamaan dalam beberapa dekade terakhir dengan penggunaan hasil tanaman dan sisa pertanian. Hal ini merupakan salah satu upaya untuk menggantikan penggunaan bahan-bahan kimia di berbagai bidang dengan sifat polimer alami yang *biodegradable* (Gismatulina *et al.* 2017). Polimer alami energetik digunakan sebagai pengikat untuk melekatkan partikel padat satu sama lain dalam formulasi bahan bakar dan oksidator suatu propelan. Material polimer energetik juga digunakan sebagai bagian dari bahan bakar ketika partikel kristalin memiliki jumlah oksidator yang tinggi. Salah satu polimer alami yang memiliki daya energetik yaitu nitrocellulosa karena tingginya kandungan nitrogen di dalamnya (Shamsipur *et al.* 2012).

Selulosa murni adalah bahan baku dalam proses industri pembuatan nitroselulosa dan dapat diperoleh dari berbagai sumberdaya di lingkungan. Salah satu sumberdaya alami yang digunakan yaitu kapas, namun proses pembuatannya memerlukan biaya tinggi (Adekunle 2010). Selain itu, dalam pemurniannya terdapat dua langkah penting yaitu delignifikasi menggunakan basa dan pencucian dengan NaCl_2 . Penggunaan NaCl_2 ini dapat menyebabkan terbentuknya organoklorin yang bersifat toksik dan berbahaya pada limbah larutannya yang dapat menimbulkan efek negatif ketika dibuang lingkungan (Riberiro *et al.* 2013). Beberapa sumberdaya alami yang telah digunakan dalam pembuatan nitroselulosa: serbuk gergaji (Adekunle 2010), bacterial selulosa (Sun *et al.* 2010), rumput alfa (Trache *et al.* 2016), rumput non kayu (Gismatulina *et al.* 2017), serabut kelapa (Mulyadi *et al.* 2017), dan kayu akasia (Khai *et al.* 2017). Selain itu, pelepah kelapa sawit memiliki potensi relatif besar sebagai bahan baku dalam proses produksi selulosa. Selulosa yang diperoleh kemudian dimodifikasi menjadi nitroselulosa (Putri *et al.* 2013). Pembuatan polimer nitroselulosa yang berasal dari pelepah kelapa sawit diharapkan mampu untuk menghasilkan pemanfaatan secara optimal sumberdaya alam sehingga dapat mendukung upaya dalam sistem pertahanan negara. Review ini akan dibahas mengenai metode dan teknologi yang digunakan dalam proses pembuatan nitroselulosa dalam industri propelan dengan menggunakan bahan baku polimer alami.

2. DAYA ENERGETIK NITROSELULOSA

Nitroselulosa merupakan material energetik yang memiliki kandungan nitrogen tinggi dan digunakan sebagai bahan baku propelan. Karakteristik propelan yang baik diharapkan memiliki daya simpan untuk waktu yang lama, tidak membutuhkan sumber pengapian pada saat pemakaian, serta memiliki daya dorong spesifik yang lebih tinggi untuk menghasilkan kinerja yang optimal (Aritonang *et al.*, 2018). Nitroselulosa yang memiliki kandungan nitrogen lebih dari 13% bersifat mudah terbakar ketika kering dan dapat meledak ketika bertemu dengan panas dan guncangan. Hal ini mengharuskan kondisi penyimpanan dalam keadaan lembab atau basah didalam pelarut organik yang sesuai (Adekunle, 2010).

Nitroselulosa merupakan polimer industrial yang diproduksi melalui nitrasasi gugus hidroksil dari selulosa. Penggunaan nitroselulosa didasarkan pada sifat dasar dari nitroselulosa yang berupa tingkat nitrasasi dan kandungan nitrogen didalamnya.

Nitroselulosa dengan kandungan nitrogen yang rendah (<12,2%) digunakan sebagai kosmetik, tinta printer, cat, dan *lacquers*. Nitroselulosa dengan kandungan nitrogen yang tinggi (>12,2%) dapat digunakan sebagai bahan energetik dalam senjata dan propelan roket (Saunders & Taylor, 1990). Nitroselulosa dapat dicampur dengan bahan kimia lainnya agar dihasilkan bubuk yang dapat menghasilkan daya energetik, pembakarandengan kecepatan yang diinginkan (Adekunle 2010).

Kemampuan kinetika sangat penting untuk menentukan mekanisme reaksi serta mengetahui daya energetik dari suatu nitroselulosa. Berdasarkan daya energetik menunjukkan beberapa syarat dalam kinerja dan keamanan dalam pembuatan, penanganan, penyimpanan, serta penggunaannya (Pourmortazavi *et al.* 2009). Suhu pembakaran rendah, kepadatan rendah, pelumasan rendah, kerapuhan tinggi, kerapuhan pada suhu rendah, serta sensitivitas terhadap kejutan telah membatasi penggunaan nitroselulosa dalam aplikasi tertentu salah satunya propelan. Untuk mengatasi kekurangan ini, berbagai upaya telah dilakukan dalam mengembangkan bahan-bahan energetik untuk dapat meningkatkan performa dari nitroselulosa yang dihasilkan (Trache *et al.* 2016). Pendekatan pertama yang digunakan dengan memperkenalkan bahan kima bersifat energetik (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik nitroselulosa

Binder	Karakteristik produk	Sumber
Nitroselulosa - Asam glisidil	1-azido-2-hidroksipropil eter selulosa yang memiliki sensitifitas gesekan yang lebih rendah, suhu dan panas denotasi yang besar, dan memiliki kestabilan suhu yang lebih baik sehingga tepat untuk dijadikan material energetik.	Yang <i>et al.</i> 2011
Nitroselulosa - azidodeoxy selulosa nitrat	Azidodeoksi selulosa nitrat (ACN) memiliki kandungan nitrogen yang lebih tinggi, kestabilan suhu, dan volume gas hasil pembakaran yang lebih tinggi.	Shamsipur <i>et al.</i> 2012, Pourmortazavi <i>et al.</i> , 2015.
Nitroselulosa - tetrazol	1-Nitroselulosa-2-(1H-tetrazol-1-yl) asetat (NCTA), Butilnitraminoselulosa (BNAC) dan Metilnitraminoselulosa (MNAC) yang dihasilkan memiliki kandungan nitrogen yang tinggi, karakteristik suhu yang lebih stabil, dan daya energetik yang lebih tinggi.	Betzler <i>et al.</i> , 2011
Nitroselulosa - RDX	RDX-Nitroselulosa yang memiliki kestabilan suhu lebih baik.	Shi <i>et al.</i> , 2016.

Selain dengan menambahkan bahan kimia lainnya ke dalam nitroselulosa, peningkatan performa dari nitroselulosa juga dapat dilakukan dengan merubah struktur nitroselulosa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Trache *et al.* (2016) nitroselulosa diubah menjadi mikrokristalin diperoleh hasil bahwa kandungan nitrogen di dalamnya meningkat. Selain itu, peningkatan kristalinitas dari nitroselulosa menghasilkan kestabilan suhu yang meningkat kemudian dapat menghantarkan pelepasan dari gas yang diperlukan. Kestabilan suhu yang dimiliki oleh nitroselulosa mikrokristalin juga dapat menghasilkan keamanan dalam proses penyimpanan.

Penelitian yang dilakukan Manning *et al.* (2014) menggunakan nitroselulosa asetat sebagai binder dalam propelan. Nitroselulosa asetat yang digunakan diharapkan mampu meningkatkan daya energetik dari propelan. Berdasarkan uji yang telah dilakukan, nitroselulosa asetat yang digunakan memberikan performa balistik lebih efisien dibandingkan propelan tanpa penambahan nitroselulosa asetat. Propelan yang digunakan juga tidak menghasilkan residu setelah pembakaran.

3. NITRASI DALAM PEMBUATAN NITROSELULOSA

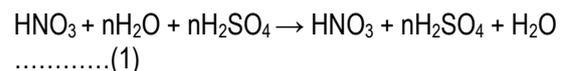
Nitroselulosa sebagai bahan baku propelan dapat dihasilkan dari proses reaksi nitrasi selulosa menggunakan larutan campuran asam. Reaksi nitrasi pertama kali dilakukan oleh seorang ahli kimia dan apoteker bernama Braconnot pada tahun 1832, yang membuat bahan bakar padat melalui perlakuan terhadap kapas atau pulp kayu (selulosa mentah) dengan konsentrasi asam nitrat 85% v/v. Metode yang digunakan oleh Braconnot menghasilkan substansi heterogen dan tidak stabil yang disebut *xyloidine*. Produk ini kemudian dikarakterisasi dan menunjukkan kandungan nitroselulosa yang rendah dengan kadar nitrogen sebesar 4-5% dari keseluruhan komponen. Penemuan ini membuat Braconnot sebagai pelopor nitroselulosa. Kemudian seorang ahli kimia Jerman-Swiss yang bernama C.F. Schonbein menghasilkan nitroselulosa dengan sifatnya yang stabil. C.F.Schonbein melakukan reaksi antara kapas dengan campuran asam nitrat dan asam sulfat. Hasil ini kemudian dipatenkan dan menjadi metode yang digunakan dalam meregenerasi nitroselulosa secara komersial (de La Ossa *et al.* 2009).

Nitroselulosa yang diperoleh dari metode terdahulu menghasilkan substansi tidak stabil sehingga memerlukan proses netralisasi untuk menstabilkannya. Proses netralisasi didasarkan pada jumlah pencucian menggunakan air pada suhu

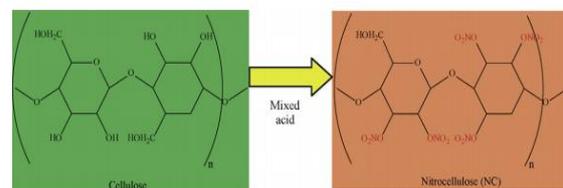
ruangan dan pada 100 °C dan diikuti dengan pencucian berdasarkan pengaturan pH larutan. Asam sulfat yang terjerat pada jaringan nitroselulosa akan dilepaskan melalui perusakan jaringan-jaringan dalam sebuah penggilingan sepanjang 0,2-0,5 mm. Akhirnya, pencucian dengan air pada perbandingan nitroselulosa 1:10 air dengan suhu 140 °C dibawah tekanan 3-4 atm dilakukan. Sehingga, untuk memperoleh produk yang stabil memerlukan proses yang panjang, mahal, dan kompleks (de la Ossa *et al.*, 2009).

Gismatulina *et al.* (2017) melakukan penelitian dengan mensintesis nitroselulosa dari bahan alami yang ramah lingkungan dan ketersediaannya melimpah. Material awal yang digunakan yaitu rumput *Miscanthus*. Nitroselulosa disintesis menggunakan larutan penitrasi asam sulfat. Kandungan nitrogen yang dihasilkan hanya sebesar 11,85%. Hasil ini memberikan indikasi bahwa selulosa yang di sintesis dengan menggunakan larutan penitrasi hanya asam sulfat belum memberikan kualitas tinggi terhadap nitroselulosa yang dihasilkan.

Selain itu, penggunaan hanya asam nitrat pada saat nitrasi berlangsung memberikan dampak *gelatinization* pada permukaan jaringan selama bertemu dengan asam dan menghasilkan tingkat nitrasi yang rendah. Penggunaan campuran asam sulfat dan asam nitrat dipercaya bahwa asam sulfat bertindak sebagai agen *dehydrating*. Ketika rasio molar dari asam sulfat seimbang dengan asam nitrat, maka reaksi yang terjadi yaitu:



Berdasarkan reaksi diatas, dapat dilihat bahwa reaksi nitrasi sangat didukung oleh kehadiran asam nitrat dan asam sulfat (Saunders & Taylor, 1990).



Gambar 1. Perubahan struktur selulosa menjadi nitroselulosa (Manning *et al.*, 2014).

Nitrasi adalah reaksi yang *irreversible* yang tergantung dari keasaman medium yang digunakan. Campuran asam nitrat dan asam sulfat lebih disukai untuk digunakan karena menghasilkan keasaman yang sesuai atau yang diinginkan reaksi untuk menghasilkan nitroselulosa. Campuran asam ini

juga digunakan air sebagai bahan campurannya. Agen penitrasi ini membuat reaksi esterifikasi berlangsung dari gugus hidroksi yang ada dimonomer glikosidik yang dihubungkan oleh oksigen pada posisi 1 dan 4. Asam nitrat sendiri hanya mengandung sedikit ion nitronium ($^+NO_2$) elektrofil. Namun dengan penambahan H_2SO_4 dihasilkan $^+NO_2$ yang lebih tinggi (Adekunle, 2010).

Adekunle (2010) dalam penelitiannya menghasilkan bahwa nitroselulosa dapat dihasilkan dari jerami menggunakan perlakuan kimia. Kondisi nitrasi optimum meliputi rasio campuran asam penitrasi, komposisi asam penitrasi, kekuatan asam, dan waktu nitrasi diamati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NO_2 dapat ditingkatkan menggunakan penambahan asam posfat ke dalam asam nitrat karena tingkat nitrasi yang diperoleh lebih tinggi daripada penambahan asam sulfat dan AC_2O . Hal ini menunjukkan bahwa variasi dari faktor larutan penitrasi dapat dengan mudah menggeser kondisi kesetimbangan reaksi sehingga berpengaruh terhadap tingkat nitrasi dan karakteristik produk yang dihasilkan.

Penelitian Sun *et al.* (2010) melakukan sintesis nitroselulosa menggunakan efek rasio dari H_2SO_4 dan HNO_3 , waktu dan temperatur reaksi. Menggunakan bakterial selulosa yang berjenis *Acetobacter xylinum* berdasarkan perlakuan basa untuk melarutkan pengotor organik. Efisiensi maksimum dari campuran larutan penitrasi diperoleh sebesar 3:1. Temperatur reaksi yang diatur berkisar antara 20 °C hingga 40 °C tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jalannya reaksi, akan tetapi ketika temperatur dinaikkan dapat menghasilkan degradasi terhadap bakterial yang digunakan. Fenomena ini juga terjadi ketika diberikan pengaturan terhadap waktu reaksi yang digunakan.

Manning *et al.* (2014) menggunakan nitroselulosa sebagai pengisi dalam amunisi dengan mengubah strukturnya menjadi nitroselulosa asetat. Nitroselulosa yang sudah diperoleh sebelumnya direaksikan dengan asetat anhidrat sehingga diperoleh nitroselulosa asetat. Selain itu Trache *et al.* (2016) juga melakukan penelitian untuk membuat nitroselulosa menjadi mikrokristalin dan diperoleh hasil bahwa kandungan nitrogen didalamnya meningkat. Peningkatan kandungan nitrogen yang ada didalam mikrokristalin nitroselulosa ini menimbulkan proses nitrasi yang meningkat. Bahan baku awal dalam pembuatan mikrokristalin nitroselulosa ini yaitu rumput alfa yang merupakan serat non-kayu, namun didalam struktur dinding sel nya sama seperti kayu dengan pengisi yang kaku yaitu selulosa, lignin, dan hemiselulosa.

4. POTENSI PELEPAH KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU NITROSELULOSA

Pelepah kelapa sawit memiliki kandungan utama yaitu lignin, hemiselulosa, dan selulosa yang saling berikatan membentuk satu kesatuan yang utuh. Masing-masing komponen tersebut dapat digunakan sebagai bahan baku kimia untuk menghasilkan turunannya. Proses isolasi nitroselulosa dari pelepah kelapa sawit yang dapat dilakukan yaitu secara kimia, fisika, maupun biologi (Asma *et al.*, 2017). Perlakuan secara kimia dilakukan dengan memberikan perlakuan kepada material awal menggunakan bahan kimia untuk menghilangkan pengotor seperti lignin dan hemiselulosa. Proses lain yang dapat dilakukan yaitu dengan perlakuan biologi menggunakan enzim. Namun penggunaan proses biologi sendiri belum menghasilkan penghilangan pengotor secara sempurna. Berdasarkan penelitian Nordin *et al.* (2017), gabungan antara proses kimia dan fisika dapat dilakukan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan TEM, jaringan selulosa dapat dipisahkan dari lignin dan hemiselulosa dan membentuk lembaran jaringan tersendiri.

Putri *et al.* (2013) melakukan analisis terhadap komposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang ada di dalam pelepah kelapa sawit menggunakan metode fisika yaitu hidrolisis, diperoleh hasil bahwa pelepah kelapa sawit memiliki konsentrasi selulosa tertinggi yaitu sebesar 35,88%. Kemudian setelah dihidrolisis dan dilakukan pemurnian menggunakan enzim *xylanase*, persentase selulosa yang terdapat di dalam pelepah kelapa sawit meningkat berturut-turut menjadi 86,48% dan 97,48%. Sehingga selulosa yang ada di dalam pelepah kelapa sawit tersebut berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam proses nitroselulosa. Harianto *et al.* (2017) dalam penelitiannya juga memperoleh kadar selulosa yang tinggi yaitu sebesar 96,25% dengan melakukan pemurnian lebih lanjut terhadap selulosa menggunakan enzim *xylanase*.

Ismi *et al.* (2017) melakukan analisa terhadap bahan baku sawit melalui pembentukan nitroselulosa menggunakan reaksi nitrasi. Reaksi nitrasi yang dilakukan menggunakan asam sulfat dan asam nitrat dengan perbandingan rasio volume yang berbeda serta perbedaan suhu reaksi. Produk reaksi didapatkan kadar selulosa setelah proses hidrolisis dan delignifikasi pada pelepah kelapa sawit sebesar 49% dan kadar nitrogen setelah nitrasi hanya sebesar 0,266%. Hal ini memperlihatkan bahwa dengan perlakuan lebih lanjut terhadap pelepah kelapa sawit dapat

menghasilkan selulosa dengan persentase kemurnian yang lebih tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku nitroselulosa (Putri *et al.* 2013).

Indonesia memiliki kelapa sawit sebagai komoditi yang paling mendominasi luas areal perkebunan. Publikasi Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian menunjukkan bahwa luas lahan sawit di Indonesia mencapai 12,3 juta hectare. Luas tersebut mengalami pertumbuhan tiap tahun dan mencapai rata-rata 6,02%/tahun selama periode 2000-2017 (Kementerian Pertanian, 2018).



Gambar 2. Pertumbuhan lahan sawit di Indonesia (Kementerian Pertanian, 2018)

Luas kebun kelapa sawit yang semakin meningkat akan menyebabkan peningkatan jumlah limbah padat yang dihasilkan salah satunya seperti pelepah kelapa sawit yang dihasilkan dari tanaman kelapa sawit mulai dari pra panen hingga proses pemanenan, dalam satu pohon kelapa sawit dihasilkan sebanyak 22 hingga 26 pelepah setiap tahunnya (Arpinaini *et al.*, 2017). Oleh karena itu, limbah padat kelapa sawit khususnya pelepah kelapa sawit perlu dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan produk yang lebih bermanfaat seperti penggunaan pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku dalam reaksi nitrasasi pembentukan nitroselulosa (Ismi *et al.*, 2017).

5. SIMPULAN

Upaya dalam mencapai kemandirian industri di bidang pertahanan dapat dilakukan dengan melakukan pengembangan terhadap salah satu dari 7 program nasional prioritas kemandirian dalam alutsista dimana salah satunya yaitu propelan. Pengembangan material dan metode dalam pembuatan nitroselulosa yang merupakan bahan baku dalam pembuatan propelan selalu dilakukan agar diperoleh kandungan nitrogen dalam

nitroselulosa dengan konsentrasi tinggi. Berdasarkan kandungan kimia yang ada di dalam pelepah kelapa sawit yaitu selulosa dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan nitroselulosa. Penggunaan pelepah kelapa sawit diharapkan dapat meningkatkan penggunaan secara optimal terhadap sumberdaya alam yang ada di Kalimantan Selatan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adekunle IM. 2010. Production of cellulose nitrate polymer from sawdust. *E-Journal of Chemistry* 7 (3): 709-716.
- Aritonang S, Sasongko, Adi N, Arifin A, Setiawan HB, Imastuti, *et al.* (2018). Industri dan material engine propulsi roket. *Jurnal Teknologi Daya Gerak* 1(1): 1-15.
- Arpinaini, Sumpono, Yahya R. 2017. Studi komponen kimia pelepah sawit varietas tenera dan pengembangannya sebagai modul pembelajaran kimia. *Jurnal Pendidikan Sains Universitas Bengkulu* 1(1): 1-11.
- Betzler F, Klapotke TM, Sproll, Stefan. 2011. Energetic nitrogen-rich polymers based on cellulose. *Central European Journal of Energetic Materials* 8(3): 157-171.
- de la Ossa MA, Garcia-Ruiz C, Torr M. 2002. Nitrocellulose in propellants: characteristics and thermal properties. *Advances in Materials Science Research* 7: 201-220.
- Gismatulina YA, Budaeva VV, Sakovich VG. 2017. Nitrocellulose synthesis from miscanthus cellulose. *Propellants Explosives Pyrotechnics* 42: 1-6.
- Harianto F, Padil, Yelmida. 2017. Pembuatan nitroselulosa dari selulosa-a pelepah sawit hasil pemurnian dengan enzim xylanase (Variasi konsentrasi asamnitrat dan rasio asam penitrasi). *Repository Universitas Riau*.
- Harpendi R, Padil P, Yelmida Y. 2014. Proses Pemurnian selulosa pelepah sawit sebagai bahan baku nitroselulosa dengan variasi pH dan konsentrasi H₂O₂. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik UnRi* 1(1).
- Ismi N, Sari IS, Marwan, Riza M. 2017. Pembuatan nitroselulosa dengan memanfaatkan pelepah kelapa sawit melalui reaksi nitrasasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Rekayasa Ke-4*. Aceh: Politeknik Aceh Selatan.
- Khai DM, Nhan PD, Hoanh TD. 2017. Synthesis and characteristics of the nitrate celluloses from acacia cellulose. *The 5th Academic Conference on Natural Science for Young Scientists*. Master and PhD.Students from Asean Countries.
- Loekman S. 2006. Nitroselulosa dari kulit batang pisang. *Jurnal LAPAN* 103-110.
- Manning T, Wyckoff J, Adam C, Rozumov E, Klingaman K, Panchal V, *et al.* 2014. Formulation development and characterization of cellulose acetate nitrate

- based propellants for improved insensitive munitions properties. *Defence Technology* 10: 92-100.
- Mulyadi Y, Setiadi, Kusmartono B. 2017. optimasi proses nitrasi pada pembuatan nitroselulosa dengan memanfaatkan limbah serabut kelapa sebagai bahan baku dalam upaya mewujudkan sumber energi bersih dan terbarukan (variabel waktu nitrasi dan rasio asam penitrasi). *Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017"*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Yogyakarta.
- Nadia A, Fauziah A, Mayori E, Sunardi. 2017. Potensi limbah lignoselulosa kelapa sawit di Kalimantan Selatan untuk produksi bioetanol dan xylitol. *Quantum Jurnal Inovasi Pendidikan Sains* 8(2): 41-51.
- Nordin NA, Sulaiman O, Hashim R, Kassim MH. 2017. Oil palm frond waste for the production of cellulose nanocrystals. *Journal of Physical Science* 28(2): 115-126.
- Peraturan Menteri RI Nomor 23 Tahun 2015 tentang Buku Putih Pertahanan.
- Pourmortazavi SM, Hosseini SG, Nasrabadi MR, Hajimirsadeghi SS, Momenian H. 2009. Effect of Nitrate content on thermal decomposition of nitrocellulose. *Journal of Hazardous Materials* 162: 1141-1144.
- Pourmortazavi SM, Sadri M, Nasrabadi MR, Shamsipur M, Jabbarzade Y, Khalaki MS, et al. 2015. Thermal decomposition kinetics of electrospun azidodeoxy cellulose nitrate and polyurethane nanofibers. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry* 119: 281-290.
- Putri MF, Sari DP, Caesari A, Miranda G. Biobleaching pelepah sawit sebagai bahan baku pembuatan nitroselulosa menggunakan enzim xylanase. *PKM-P dalam Prosiding Elektronik (e-proceedings)* (p. 2013). PIMNAS.
- Ribeiro EN, Silva FT, Paiva TC. 2013. Ecotoxicological evaluation of waste water from nitrocellulose production. *Journal of Environmental Science and Health* 48: 197-204.
- Saunders CW, Taylor LT. 1990. A review of the synthesis, chemistry and analysis of nitrocellulose. *Journal of Energetic Materials* 8(3): 149-203.
- Shamsipur M, Pourmortazavi SM, Hajimirsadeghi SS, & Atifeh SM. 2012. Effect of functional group on thermal stability of cellulose derivative energetic polymers. *Fuels* 95: 394-399.
- Shi X, Wang J, Li X. 2016. Preparation and properties of RDX-Nitrocellulose microspheres. *Central European Journal of Energetic Materials* 13(4): 871-881.
- Sun DP, Ma B, Zhu CL, Liu CS, Yang JZ. 2010. Novel nitrocellulose made from bacterial cellulose. *Journal of Energetic Materials* 28: 85-97.
- Trache D, Khimeche K, Mezroua A, Benziane M. 2016. Physicochemical properties of microcrystalline nitrocellulose from alfa grass fibres and its thermal stability. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry* 124(3): 1485-1496.
- Undang-undang Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan. Jakarta.
- Yang FF, Shao Z, Li Z, Wang FJ, Zhang Y. 2011. A novel cellulose-based azide energetic material: 1-azido-2-hydroxypropyl cellulose ether. *Journal of Energetic Material* 29: 241-260.
- Kementerian Pertanian. 2012. *Dimoratorium, Berapa Luas Lahan Perkebunan Kelapa Sawit?*. Diakses: 1 November 2012. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/09/21/dimoratorium-berapa-luas-lahan-perkebunan-kelapa-sawit>.

