

Sintesis Nitroselulosa dari Serat Daun Nanas sebagai Sumber α -Selulosa untuk Bahan Baku Pembuatan Propelan

Cory Dian Alfarisi^a, Padil^{b*}, Yelmida A^a, Nurfatihayati^a

^aProgram Studi D-III Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

^bProgram Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28291, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Received : 06-03-2025

Accepted : 29-08-2025

Published : 15-11-2025

KEYWORDS

Fiber

Cellulose

Nitrocellulose

Nitrogen Content

*correspondence author:

Email: padil@lecturer.unri.ac.id



ABSTRACT

Nitrocellulose is an important compound in the chemical industry, which has various crucial applications, such as the main ingredient for making quality paint, ink, and coating formulations in the printing process, as well as a propellant (explosive). Nitrocellulose as a raw propellant material is currently very popular. In this research, pineapple leaf waste has been processed as a raw material for making nitrocellulose through a nitration process. The research aims to determine the effect of the nitration process's length and the nitrating acid's composition on nitrocellulose's nitrogen content. Before the nitration process, an initial process is carried out, namely pre-treatment of pineapple fiber to obtain fiber with a cellulose purity of >92%. In the nitration process, the ratio of titrating acid ($H_2SO_4:HNO_3$) used is 1:3, 1:2, 2:1, 7:3, and 3:1 with a nitration time of 30, 60, 90, and 120 minutes. The results obtained in this research were that the pre-treatment process was able to increase the purity of cellulose in pineapple fiber by up to 93%. Then the 2:1 titrating acid formulation ($H_2SO_4:HNO_3$) is the best acid ratio formulation. Meanwhile, the optimum time for nitration is 60 minutes, with a nitrogen content in nitrocellulose of 12.73%. Fourier Transform Infrared (FTIR) analysis shows that there has been an exchange of hydroxyl groups in nitrocellulose with nitro groups, which is indicated by the presence of a peak indicating the nitro group. Apart from that, the burning test also showed that nitrocellulose can be burned faster than cellulose.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Kampar Provinsi Riau merupakan salah satu sentra utama penanaman nanas di Indonesia. Data pada tahun 2021 menunjukkan bahwa Kecamatan Tambang di Kabupaten Kampar memiliki produksi nanas tertinggi, mencapai 65.587,5 ton (Irani dkk, 2021). Produksi nanas yang berlimpah menjadikannya komoditas hortikultura unggulan di Indonesia. Berdasarkan Angka Tetap (ATAP) tahun 2015 produksi nanas mencapai 1,73 juta ton per tahun dan menghasilkan limbah daun nanas sebanyak tiga kalinya (Setiadi dkk, 2017). Selama ini para petani hanya menjadikan daun nanas sebagai pakan ternak ataupun hanya menjadi limbah yang terbuang begitu saja. Padahal kandungan yang terdapat pada daun nanas dapat dimanfaatkan menjadi produk dengan nilai jual tinggi. Serat daun nanas memiliki kekuatan tarik tinggi, dan potensi untuk nitroselulosa berkualitas tinggi. Daun nanas memiliki potensi sebagai sumber selulosa yang berlimpah (Kassim dkk, 2019).

Selulosa pada daun nanas dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan nitroselulosa. Nitroselulosa dengan rumus molekul $(C_6H_7O_2(ONO_2)_3)_n$ merupakan senyawa yang mudah terbakar apabila diberikan panas (Pramundita dkk, 2012). Penggunaan nitroselulosa didasarkan pada sifat dasar dari nitroselulosa yang berupa tingkat nitrasi dan kandungan nitrogen di dalamnya. 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 (Gismatulina dkk, 2018).

Pembuatan nitroselulosa sebagai bahan energetik membutuhkan serangkaian tahapan penting, yaitu *pre-treatment* dan nitrasi. Tahap *pre-treatment* bertujuan untuk memperoleh selulosa murni, yang dilakukan melalui proses prehidrolisis, delignifikasi, dan *bleaching* dengan bahan baku yang mengandung selulosa. Selulosa dengan kadar α -selulosa di atas 92% menjadi syarat utama agar dapat digunakan sebagai bahan baku propelan dan bahan peledak berkualitas tinggi. Pada tahapan proses nitrasi dilakukan dengan merendam selulosa dalam larutan penitrasi serta tahapan pencucian untuk menghilangkan sisa bahan kimia, serta penstabilan untuk memastikan keamanan produk akhir. Proses-proses ini memastikan nitroselulosa yang dihasilkan memiliki kualitas tinggi dan stabilitas yang sesuai untuk digunakan dalam aplikasi energetik seperti propelan dan bahan peledak (Purnawan, 2010).

Beberapa penelitian tentang pretreatment selulosa serta proses nitrasi nitroselulosa telah dilakukan. Mulyadi dkk, (2017) melakukan nitrasi dari selulosa yang didapat dari serabut kelapa. Untuk mendapatkan selulosa dilakukan *pre-treatment* yang terdiri dari proses prehidrolisis, delignifikasi, dan *bleaching* dan didapatkan selulosa sebesar 92.5%. Selanjutnya dilakukan nitrasi dengan asam pereaksi sebanyak 100 mL yang terdiri dari campuran H_2SO_4 95% dan HNO_3 65% dengan perbandingan 1:4 dan suhu didalam labu diatur antara 5-15°C. Kemudian 5 g sampel dimasukkan ke dalam campuran asam tersebut. Proses nitrasi dilakukan selama waktu yang telah divariasikan (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit). Dari variasi tersebut didapatkan waktu optimum untuk proses nitrasi yakni 90 menit dengan yield 96% dan kadar N sebesar 6.65%. Setelah didapatkan waktu optimum, proses nitrasi dilanjutkan dengan variasi rasio asam penitrasi (1:2, 1:3, 1:4, 2:1, 7:3, dan 3:1), dan dengan menjaga parameter lainnya tetap. Kadar nitrogen tertinggi pada rasio asam penitrasi 7:3 sebesar 10,85%. Penelitian ini untuk mensintesis nitroselulosa yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan propelan. Selain itu juga untuk melihat pengaruh lama proses nitrasi dan komposisi asam penitrasi terhadap kandungan nitrogen pada nitroselulosa.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu reaktor nitrasi, pengaduk, kondensor, desikator, kertas saring *whatman*, termometer, *soxhlet*, satu set alat destilasi, dan labu *kjeldahl*. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu daun nanas yang diperoleh dari kabupaten Kampar Provinsi Riau, *aquadest*, NaOH 17,5%, H_2O_2 3%, HNO_3 68%-v, H_2SO_4 95%, Na_2CO_3 10%, dan etanol.

2.2 Prosedur Penelitian

Tahap-tahap dalam penelitian ini terdiri dari *pre-treatment* serat daun nanas, proses nitrasi, analisa kadar selulosa, Analisa kadar nitrogen dan analisis spektrofotometer *Fourier Transform Infrared*, serta dilanjutkan pengujian nitroselulosa yang dihasilkan.

2.2.1 *Pre-treatment* Serat Daun Nanas

Serat daun nanas yang telah kering dan dihaluskan, selanjutnya diberi perlakuan *pre-treatment*. Tahapan pertama yakni dilakukan proses prehidrolisis dengan cara memasak sampel dengan menggunakan *aquades*. Rasio bahan terhadap *aquades* adalah 1:6. Prehidrolisis

dilakukan selama 2 jam pada temperatur 100 °C. Setelah sampel dihidrolisis sampel dibilas menggunakan aquadest. Selanjutnya dilakukan proses delignifikasi dengan menggunakan larutan NaOH 17,5% dengan rasio bahan terhadap larutan NaOH adalah 1:8. Delignifikasi dilakukan selama 4 jam pada temperatur 100 °C. Sampel yang telah didelignifikasi disaring dan dibilas hingga bersih menggunakan *aquadest*. Tahapan terakhir dari proses *pre-treatment* adalah *bleaching* dengan menggunakan H₂O₂ 3% pada suhu 70 °C selama 1 jam. Rasio bahan terhadap larutan adalah 1:10. Sampel yang telah *dibleaching* selanjutnya dibilas dengan *aquades* hingga pH netral (Farhanudin & Kusmartono, 2020). Lalu sampel dikeringkan pada suhu ruang selama 5 hari.

2.2.2 Proses Nitirasi

Sampel yang telah kering selanjutnya dinitrasi dengan menggunakan asam penitrasi HNO₃ 68% dan H₂SO₄ 95%. Larutan penitrasi disiapkan terlebih dahulu dengan menjaga temperatur larutan tetap konstan pada suhu 5-15 °C dengan menggunakan *thermostatic bath*. Selanjutnya sebanyak 5 g sampel dimasukkan ke dalam labu reaktor yang dilengkapi motor pengaduk, kondensor, dan termometer. Larutan penitrasi dimasukkan secara sedikit demi sedikit sebanyak 100 mL (Seta dkk, 2019). Kondisi nitirasi dijaga pada temperatur 5-15 °C dengan kecepatan pengadukan 200 rpm (Setiadi dkk, 2017). Kemudian nitroselulosa yang dihasilkan dibilas dengan menggunakan *aquades* dan natrium bikarbonat 10%. Lalu sampel dibilas kembali dengan menggunakan *aquades* hingga pH netral. Selanjutnya sampel disimpan dengan cara direndam dalam etanol dan menggunakan botol berwarna gelap. Hasil yang diperoleh akan dikarakterisasi dapat langsung dikeringkan pada suhu udara 20-25 °C.

2.2.3 Analisis Kadar Selulosa

Analisis terhadap kemurnian selulosa- α dilakukan dengan menggunakan metode Chesson-Datta. Metode ini adalah analisis gravimetri setiap komponen setelah dihidrolisis atau dilarutkan. Tahapan langkahnya adalah: pertama, 1 g sampel direfluks selama 2 jam dengan 150 ml H₂O pada suhu 100 °C. Lalu residu dikeringkan dan dihitung % *hot water-soluble* yang didapat. Selanjutnya residu sampel yang telah dikeringkan di-*reflux* selama 2 jam dengan 150 mL 0,5 M H₂SO₄ pada suhu 100 °C. Lalu sampel dibilas dengan menggunakan *aquades* dan dikeringkan. Residu yang tersisa dihitung untuk mendapatkan % hemiselulosa pada sampel. Residu sampel yang telah dikeringkan selanjutnya direndam dengan 10 mL larutan H₂SO₄ pada suhu kamar selama 4 jam. Kemudian diencerkan menjadi 0,5 M H₂SO₄, dan di-*reflux* pada suhu 100 °C selama dua jam. Residu yang tersisa dikeringkan dan dihitung untuk mendapatkan % selulosa pada sampel. Sisa residu kemudian diabukan dengan *furnace* pada suhu 575±25 °C hingga beratnya konstan dan dihitung untuk mendapatkan % lignin dan abu (Isroi, 2008).

Perhitungan kandungan komponen lignoselulosa adalah sebagai berikut:

$$\text{Hot Water Soluble (HWS) (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Hemiselulosa (\%)} = \frac{B-C}{A} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{C-D}{A} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{D-E}{A} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

- A : ODW awal sampel biomassa lignoselulosa
- B : ODW residu sampel direfluk dengan air panas
- C : ODW residu sampel setelah direfluk dengan 0,5 M H₂SO₄
- D: ODW residu sampel setelah diperlakukan dengan 72%-v H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4%-V H₂SO₄
- E : ODW residu hasil pengabuan.

2.2.4 Analisis Kadar Nitrogen

Untuk mendapatkan persentase kadar nitrogen yang terkandung di dalam sampel dilakukan uji kadar nitrogen dengan menggunakan metode Kjeldahl. Sampel sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl. Lalu ditambahkan 0,5 g campuran selenium dan 10 mL H₂SO₄. Larutan diaduk dan dipanaskan hingga warna larutan jernih. Larutan hasil destruksi diencerkan dengan *aquades* hingga volumenya 25 mL lalu ditambahkan larutan NaOH 40% sebanyak 20 mL. Destilat ditampung dengan erlenmeyer berisikan 20 mL H₂BO₄ 4% dan beberapa tetes indikator *methyl red* dan indikator BCG masing-masing 3 tetes. Destilat dititrasi dengan H₂SO₄ 0,02 N dan dihentikan jika terjadi perubahan warna dari biru menjadi merah muda. Ditentukan volume H₂SO₄ yang terpakai, untuk blanko digunakan *aquades*. Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan persentase kadar nitrogen yang terdapat pada sampel.

$$\text{Persentase kadar N} = \frac{(\text{ts}-\text{tb}) \times \text{Normalitas H}_2\text{SO}_4 \times \text{fk } 100\%}{\text{massa sampel}} \quad (5)$$

Keterangan: ts = volume titrasi sampel
tb = volume titrasi blanko
fk = faktor koreksi kadar air

2.2.5 Analisis Spektrofotometer *Fourier IR Transform Infrared*

Keberhasilan dari proses nitrasi dapat ditunjukkan dengan banyaknya reaksi substitusi gugus Hidroksil (-OH) dengan gugus Nitro (-NO₂). Gugus Hidroksil memiliki panjang gelombang antara 3200-3600 cm⁻¹, sedangkan gugus Nitro memiliki panjang gelombang antara 1260-1390 cm⁻¹ dan 1560-1660 cm⁻¹ (Hartaya, 2010). Kadar nitrogen dapat diestimasi berdasarkan jumlah pertukaran gugus -OH dengan gugus -NO₂, dimana selulosa dengan 3 gugus -OH akan diganti dengan 3 gugus -NO₂ melalui proses nitrasi. Jika terjadi penggantian satu gugus, dua gugus, dan tiga gugus, maka besar estimasi kadar nitrogen berturut-turut adalah ± 7,3%, ± 12,73%, dan ± 16,86% (Hartaya, 2010).

2.2.6 Pengujian Nitroselulosa (Uji Nyala)

Pengujian nyala nitroselulosa juga dilakukan untuk mengamati laju bakar dari nitroselulosa yang dihasilkan. Laju bakar selulosa yang tidak memiliki gugus nitro akan sangat lambat dan menghasilkan arang sebagai sisa pembakaran. Sedangkan jika memiliki gugus nitroselulosa akan memiliki laju bakar yang cepat dan habis terbakar tanpa menghasilkan arang (Setiadi dkk, 2018). Dalam hal ini, akan diuji nyala dari bahan yang dihasilkan dan mengandung nitroselulosa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh *Pre-treatment* Terhadap Kandungan Selulosa pada Serat

Analisa kandungan lignoselulosa pada sampel sebelum dan sesudah *pre-treatment* dianalisa dengan metode Chesson-Datta. Hasil dari analisis kandungan lignoselulosa pada serat nanas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan lignoselulosa serat daun nanas

Kandungan Senyawa	Sebelum <i>Pre-treatment</i>	Setelah <i>Pre-treatment</i>
Hemiselulosa	34%	1%
α -Selulosa	40%	93%
Lignin	17%	6%
<i>Hot Water Soluble</i>	9%	-

Dari Tabel 1 dapat dilihat kadar hemiselulosa menurun dari 34% ke 1%. Begitu pula dengan kadar lignin yang mengalami penurunan. Kadar lignin sebelum dilakukannya *pre-treatment* adalah 17%, namun setelah dilakukannya *pre-treatment* kadar lignin turun menjadi 6%. Penurunan hemiselulosa dan lignin serta hilangnya kadar pengotor dikarenakan adanya proses hidrolisis, delignifikasi, dan juga *bleaching*. Penurunan kadar hemiselulosa dan lignin akan mengakibatkan meningkatnya kemurnian selulosa pada sampel. Pada penelitian ini, setelah dilakukannya proses *pre-treatment* kemurnian selulosa meningkat dari 40% ke 93%. Hal ini menandakan bahwa proses *pre-treatment* yang terdiri dari prehidrolisis, delignifikasi, dan *bleaching* mempengaruhi kemurnian selulosa. Metode ini mampu meningkatkan kemurnian selulosa, sehingga selulosa layak digunakan untuk bahan dasar nitroselulosa.

Pada proses prehidrolisis, sampel dimasak dengan menggunakan *aquades*. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan bahan-bahan yang mudah larut (ekstraktif) (Widodo, 2013). Selain itu, prehidrolisis dengan *aquades* atau asam lunak bertujuan untuk mempercepat penghilangan pentosan (hemiselulosa) dalam bahan baku pada waktu pemanasan (*cooking*) (Syahputra, 2011). Menurut Sari (2014), salah satu tujuan dari prehidrolisis adalah untuk melemahkan ikatan antara lignin dan hemiselulosa. Hemiselulosa mengikat lembaran selulosa membentuk mikrofibril yang meningkatkan stabilitas dinding sel.

Selain hemiselulosa, komponen utama lignoselulosa yang juga larut di dalam alkali adalah lignin. Pada penelitian ini, sampel yang telah melewati proses prehidrolisis selanjutnya didelignifikasi dengan menggunakan NaOH 17,5%. Proses delignifikasi bertujuan untuk meningkatkan kemurnian kandungan α -selulosa dan menurunkan kandungan hemiselulosa dan lignin yang terdapat dalam serat daun nanas. Pada proses delignifikasi menggunakan NaOH, ion hidroksida (OH^-) dari NaOH akan memutus ikatan-ikatan dari struktur lignin, sedangkan natrium (Na^+) akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Garam natrium fenolat ini bersifat mudah larut. Lignin yang terlarut ditandai dengan warna hitam pada larutan yang disebut lindi hitam (*black liquor*) (Safaria dkk, 2013).

Proses *pre-treatment* yang terakhir adalah *bleaching*. Tujuan dari dilakukannya *bleaching* selain untuk meningkatkan derajat putih serta menjaga kestabilannya, adalah untuk memperoleh kandungan selulosa yang tinggi. Sebenarnya selulosa merupakan senyawa yang tidak berwarna, namun proses *bleaching* dilakukan untuk menghilangkan warna-warna

komponen lain (Fuadi dkk, 2008). Proses *bleaching* dilakukan untuk mendegradasi sisa lignin dari proses delignifikasi yang masih terdapat dalam sampel.

3.2. Hasil Uji Kadar Nitrogen

Dari hasil uji bakar yang telah dilakukan, diambil beberapa sampel untuk diuji kadar nitrogen. Sampel diambil dari kualitas pembakaran sampel yang baik, sedang, dan rendah. Hasil dari uji kadar nitrogen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji kadar nitrogen

No.	Formula (H ₂ SO ₄ :HNO ₃)	Waktu (menit)			
		30	60	90	120
1.	1:2	8,6%	7,66%	13,01%	12,34%
2.	2:1	11,56%	12,73%	12,96%	12,28%
3.	7:3	10,65%	9,73%	12,24%	11,45%
4.	3:1	9,45%	10,12%	11,89%	11,01%

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa sampel dengan formula asam penitrasi 2:1 dengan waktu nitration 90 menit, adalah sampel dengan kadar nitrogen tertinggi yakni 12,96%. Lalu sampel dengan formula 2:1 dengan waktu nitration 60 menit juga memiliki kadar nitrogen yang tinggi yakni 12,73%. Sampel dengan formula 7:3 dan waktu nitration 90 menit juga memiliki kadar nitrogen yang tinggi yakni 12,24%. Namun nitroselulosa yang bisa digunakan sebagai bahan peledak dan bahan pembuatan propelan adalah nitroselulosa yang memiliki kadar nitrogen yang lebih besar dari 12,5% (Ossa, 2012). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa rasio asam penitrasi 2:1 dan waktu 60 menit merupakan kondisi optimum dalam reaksi nitration. Hal ini ditinjau dari segi optimasi waktu yang digunakan, efektifitas, serta biaya selama proses nitration berlangsung walaupun formula 1:2 dengan waktu 90 memiliki nilai tertinggi, Hal ini karena waktu yang digunakan jauh lebih banyak dengan efektifitas yang sama.

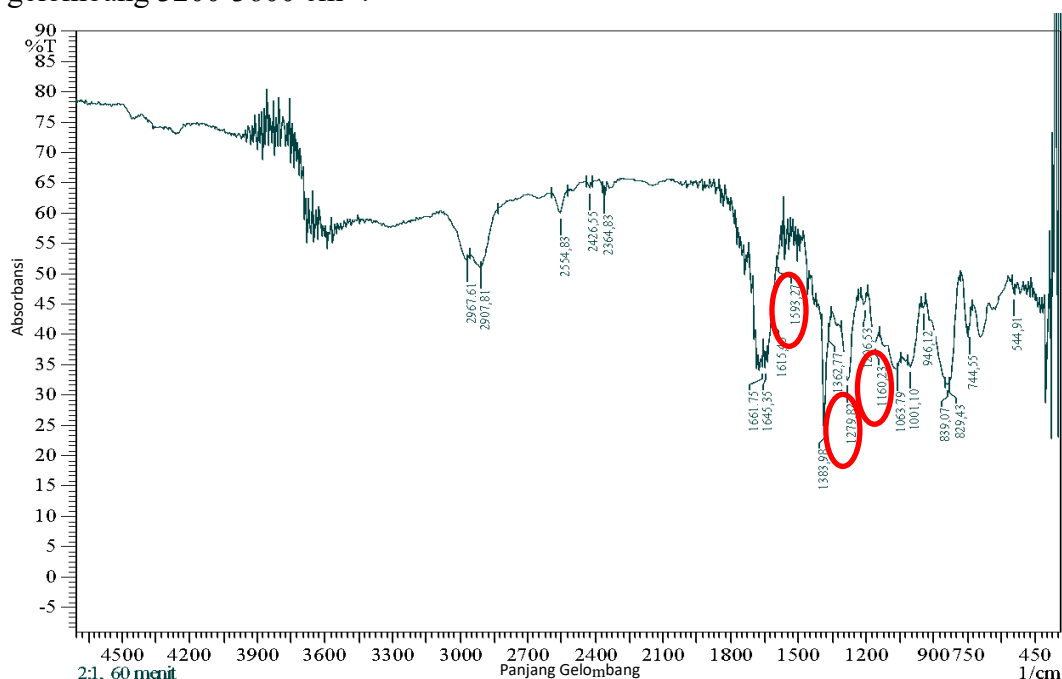
Kadar nitrogen yang tinggi dicapai dengan rasio asam penitrasi yang tepat dan waktu reaksi yang optimum. Rasio asam penitrasi adalah perbandingan antara asam sulfat dan asam nitrat yang merupakan reagen dalam reaksi nitration. Dalam reaksi nitration, apabila hanya menggunakan asam nitrat saja akan menghasilkan nitroselulosa yang tidak stabil, kadar nitrogen yang rendah, dan heterogen (Saunders & Taylor, 1990). Menurut Mayori dkk (2019), penggunaan asam nitrat saja pada proses nitration akan memberikan dampak *gelatinization* pada permukaan jaringan dan menghasilkan tingkat nitration yang rendah. Campuran asam nitrat dan asam sulfat lebih disukai untuk digunakan karena menghasilkan keasaman yang sesuai untuk menghasilkan nitroselulosa. Campuran asam ini juga menggunakan air sebagai bahan campurannya. Asam nitrat sendiri hanya mengandung sedikit ion natrium (⁺NO₂) elektrofili. Namun dengan penambahan H₂SO₄ dihasilkan ⁺NO₂ yang lebih tinggi (Adekunle, 2010).

Pada penelitian ini rasio asam penitrasi yang terbaik adalah 2:1 (asam sulfat:asam nitrat). Pada reaksi nitration, asam sulfat bertindak sebagai katalis dan zat penghidrasi yang menarik molekul air yang dihasilkan pada saat proses nitration. Pada saat jumlah asam sulfat kecil, maka akan semakin banyak air yang dihasilkan tidak terikat, sehingga akan menghambat substitusi gugus OH oleh gugus NO₂. Sebaliknya, jika jumlah asam sulfat semakin besar, maka asam sulfat yang berfungsi sebagai katalis dapat menurunkan energi aktivasi yang secara langsung dapat mempercepat laju reaksi, sehingga dihasilkan nitroselulosa dengan kadar nitrogen yang

tinggi. Namun jika asam sulfat terlalu berlebih, maka akan mendestruksi selulosa sehingga jumlah selulosa yang bereaksi akan berkurang (Fani, 2013). Hal ini dapat dilihat pada tabel 3. dimana pada waktu 90 menit, kadar nitrogen berkurang dari 12,96% pada 2:1 ke 12,24% pada 7:3.

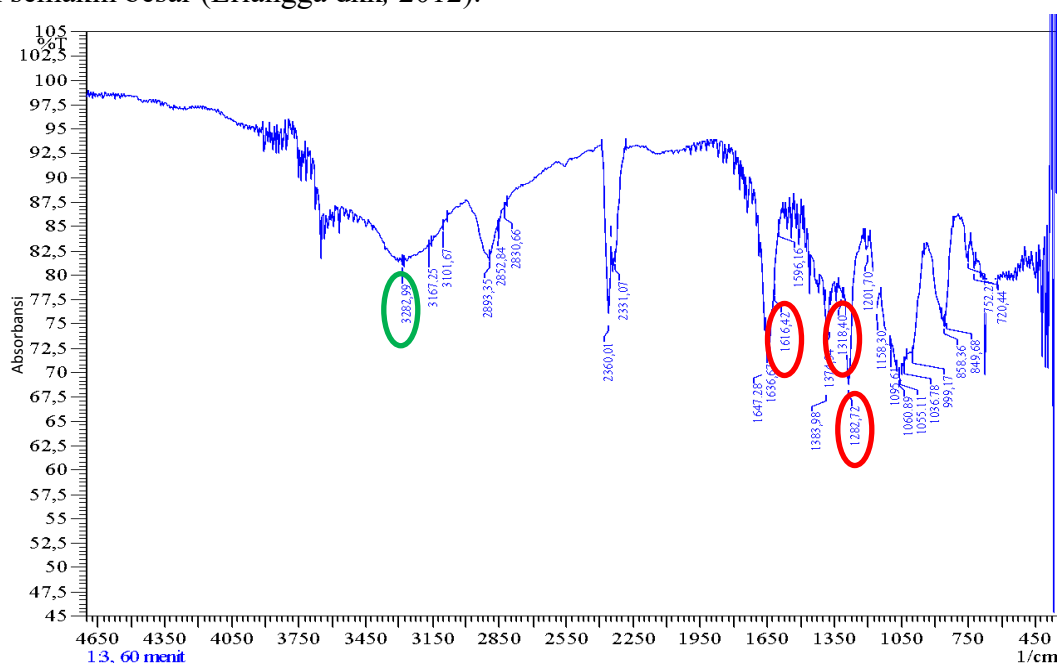
Pada penelitian ini didapatkan waktu optimum nitrasi yakni pada waktu 60 menit dengan rasio 2:1. Pada waktu 60 menit, sampel sudah mencapai syarat untuk dijadikan bahan baku propelan, yakni mengandung nitrogen lebih besar dari 12,5%. Namun nitroselulosa dengan kandungan nitrogen tertinggi terdapat pada nitroselulosa dengan waktu nitrasi 90 menit. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin besar kadar nitrogen pada nitroselulosa. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu reaksi, maka akan semakin banyak gugus yang tersubstitusi (Erlangga dkk, 2012). Hal ini sejalan dengan penelitian Putri dkk (2021) Semakin banyak gugus hidroksil yang tersubstitusi, maka nilai *yield* nitroselulosa akan semakin besar. Akan tetapi, nitrasi merupakan reaksi yang reversible sehingga waktu nitrasi yang terlalu lama akan menyebabkan hidrolisis nitroselulosa, dimana produk akan kembali lagi menjadi reaktan (Rahman, 2011) sehingga diperlukannya waktu optimum untuk proses nitrasi. Pada penelitian ini terjadi penurunan kualitas pada sampel dengan rasio 2:1 di waktu 120 menit yakni ketika dilakukan uji bakar pada sampel, maka sampel menyisakan abu. Hal ini membuktikan bahwa reaksi nitrasi memiliki waktu yang optimum untuk menghasilkan nitroselulosa dengan kadar nitrogen tertinggi.

Selanjutnya untuk melihat keberhasilan pertukaran gugus -OH oleh -NO₂ maka dilakukan uji FTIR. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa adanya serapan -NO₂ dengan panjang gelombang 1279, 1383, dan 1593 cm⁻¹. Dengan adanya serapan -NO₂ pada hasil FTIR, maka hal tersebut menandakan bahwa telah terjadi substitusi dan sampel memiliki kadar nitrogen yang menjadikannya sebagai nitroselulosa, hal ini terlihat dari lingkaran merah yang ada pada Gambar 1. Pada gambar juga tidak terlihat adanya serapan gugus hidroksil (-OH) yang berada pada gelombang 3200-3600 cm⁻¹.



Gambar 1. Spektrum FTIR pada nitroselulosa (rasio penitrasi 2:1, 60 menit)

Lalu dilakukan pula pengujian FTIR pada sampel dengan kadar nitrogen yang rendah yakni pada sampel 1:3, 60 menit. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa masih terdapat serapan -NO_2 pada hasil FTIR walaupun hasil uji bakar sampel menunjukkan hasil yang kurang baik yakni masih terdapat abu yang menandakan pembakaran tidak sempurna. Hal ini menandakan masih terjadinya substitusi gugus -OH oleh -NO_2 (terlihat pada lingkaran merah yang terdapat pada Gambar 2) dan diperkirakan adanya kadar nitrogen dalam sampel walaupun kecil. Pada Gambar 2 terlihat juga adanya serapan gugus hidroksil (-OH) yang berada pada gelombang $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$. Besar kandungan nitrogen ditunjukkan oleh tingkat kecuraman puncak, yang dinyatakan dalam %Transmitan. Transmitan merupakan fraksi daya cahaya yang diteruskan dengan daya cahaya yang masuk. Jadi semakin rendah transmitan, maka kandungan nitrogen akan semakin besar (Erlangga dkk, 2012).



Gambar 2. Spektrum FTIR pada nitroselulosa (rasio penitrasi 1:3, 60 menit)

3.3. Hasil Uji Nyala Nitroselulosa

Uji nyala dikarakterisasi berdasarkan nyala api, sisa abu, dan asap dan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Nyala Nitroselulosa

No.	Formula ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{:HNO}_3$)	Nyala Api	Abu	Asap
1.	1:3, 30 menit	Besar, cepat	Banyak	Banyak
2.	1:2, 30 menit	Kecil, lambat	Banyak	Banyak
3.	2:1, 30 menit	Besar, cepat	Tidak ada	Sedikit
4.	7:3, 30 menit	Besar, cepat	Banyak	Banyak
5.	3:1, 30 menit	Besar, cepat	Banyak	Banyak
6.	1:3, 60 menit	Kecil, lambat	Banyak	Banyak
7.	1:2, 60 menit	Kecil, lambat	Banyak	Banyak
8.	2:1, 60 menit	Besar, cepat	Tidak ada	Sedikit
9.	7:3, 60 menit	Besar, cepat	Sedikit	Banyak

No.	Formula (H ₂ SO ₄ :HNO ₃)	Nyala Api	Abu	Asap
10.	3:1, 60 menit	Besar, cepat	Sedikit	Banyak
11.	1:3, 90 menit	Kecil, lambat	Banyak	Banyak
12.	1:2, 90 menit	Besar, lambat	Banyak	Banyak
13.	2:1, 90 menit	Besar, cepat	Tidak ada	Sedikit
14.	7:3, 90 menit	Besar, cepat	Tidak ada	Sedikit
15.	3:1, 90 menit	Besar, lambat	Banyak	Banyak
16.	1:3, 120 menit	Besar, cepat	Banyak	Banyak
17.	1:2, 120 menit	Kecil, lambat	Banyak	Banyak
18.	2:1, 120 menit	Besar, cepat	Sedikit	Sedikit
19.	7:3, 120 menit	Besar, cepat	Sedikit	Sedikit
20.	3:1, 120 menit	Kecil, lambat	Banyak	Banyak

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa jenis nyala, sisa abu, dan asap ketika nitroselulosa dibakar. Untuk nyala yang besar dan cepat, lalu tidak memiliki sisa abu, dan sedikit asap, dikategorikan pada nitroselulosa dengan kualitas baik. Untuk nitroselulosa dengan nyala api yang besar dan cepat namun memiliki sedikit sisa abu, dan sedikit asap, dikategorikan pada nitroselulosa dengan kualitas sedang. Lalu untuk nitroselulosa dengan nyala api yang kecil dan lambat, memiliki banyak sisa abu, dan banyak asap, dikategorikan pada nitroselulosa dengan kualitas rendah.

Untuk nitroselulosa dengan kadar yang baik terdapat pada rasio 2:1 pada waktu 30, 60, dan 90 menit, serta rasio 7:3 pada waktu 90 menit. Ciri-ciri nitroselulosa yang baik adalah menghasilkan nyala api yang tidak meninggalkan sisa abu setelah di bakar, mengeluarkan asap sedikit (*smokeless*) dan terdapat percikan bunga api saat dinyalakan karena terdapat gugus nitro (-NO₂) pada nitroselulosa (Purnawan, 2010). Nyala api yang besar dan cepat dikarenakan telah tergantinya gugus -OH oleh gugus nitro yang mengakibatkan pembakaran berlangsung cepat membentuk seperti ledakan. Nitrogen pada sampel menurunkan energi aktivasi sehingga sampel akan cepat terbakar dan menimbulkan nyala api yang besar. Ledakan atau nyala api yang cepat akan membuat pembakaran *smokeless* atau menghasilkan sedikit asap. Kadar nitrogen yang tinggi juga akan membuat pembakaran sampel sempurna, sehingga tidak akan menyisakan abu dan arang.

Pembakaran yang lambat, nyala api yang kecil, terdapat sisa abu, dan banyak asap dikarenakan pada sampel belum sepenuhnya terjadi pertukaran gugus -OH oleh nitro. Dengan sedikitnya kadar nitrogen pada sampel, maka sampel masih membutuhkan energi aktivasi yang besar untuk melakukan pembakaran. Selain memakan waktu yang lama untuk terbakar sempurna, sampel juga akan menyisakan abu yang banyak.

Pada penelitian ini, salah satu sampel dengan kualitas sedang adalah sampel dengan rasio asam penitrasi 3:1 pada waktu 60 menit dengan pembakaran yang dihasilkan besar, cepat, *smokeless*, namun menyisakan sedikit abu. Untuk sampel dengan kualitas buruk salah satunya adalah sampel dengan rasio asam penitrasi 1:2 pada waktu 60 menit.



Gambar 3. Perbandingan sisa abu pembakaran pada sampel 1:2, 60 menit, 3:1, 60 menit, dan 7:3, 90 menit.

4. KESIMPULAN

Selulosa pada *reject pulp* dapat dinitrasi menjadi nitroselulosa dengan penambahan asam nitrat dan asam sulfat. Rasio asam pentitrasi ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{:HNO}_3$) dan waktu reaksi nitrasi mempengaruhi kadar nitrogen pada nitroselulosa. Kondisi terbaik pembuatan nitroselulosa dari *reject pulp* pada saat reaksi berlangsung selama 1 jam pada rentang temperatur 5-10 °C yang menghasilkan nitroselulosa dengan kadar nitrogen sebesar 12,73%. Hasil analisis menggunakan FTIR menunjukkan telah terbentuknya nitroselulosa yang ditandai dengan munculnya serapan gugus NO_2 .

DAFTAR PUSTAKA

- Adekunle, IM. (2010). Production of Cellulose Nitrate Polymer from Sawdust. *E-Journal of Chemistry*. 7(3), 709-716.
- Erlangga, B. (2012). Pembuatan nitroselulosa dari kapas (*Gossypium Sp*) dan Kapuk (*Ceiba pentandra*) Melalui Reaksi Nitrasi. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Fani, M. R. (2013). Pembuatan Nitroselulosa Sawit dengan Variasi Waktu Nitrasi dan Bahan Baku Terhadap Asam Penitrasi. *Prosiding SNTK TOPI*. Riau.
- Farhanudin, M. F., dan Kusmartono, B. (2020). Pembuatan Nitroselulosa dari Tanaman Lidah Mertua (*Sansevieria*). *Jurnal Inovasi Proses*, 5(1).
- Gismatulina, Y.A., Vera, V.B., dan Gennady, V.S. (2018). Nitrocellulose Synthesis from *Mischanthus Cellulose*. *Propellants Explosives Pyrotechnics*. 43, 96-100.
- Hartaya, K. (2010). Pembuatan Nitroselulosa dari Bahan Selulosa Sebagai Komponen Utama Propelan *Double Base*. Pusat Teknologi Dirgantara Terapan LAPAN, Bogor.
- Irani,A., Susi, E., Yustri, J. 2024. Analisis Keberlanjutan Usaha Tani Nanas di Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*. 10(1), 1550 – 1562
- Isroi. (2008). *Kompos*. Bogor: Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia.
- Kassim, N.A., Mohamed, Ainun Z.M., Edi, S.Z., Sarani, Z., Siti, K.Z.A., dan Hazwani, S.Z. (2019). Isolation and Characterization of Macerated Cellulose from Pineapple Leaf. *BioResource*. 14(1), 1198.
- Mayori, E., Asma, N., Sunardi., Romie, O.B. (2019). Pengembangan Teknologi dan Material Nitroselulosa Sebagai Isian Propelan Berbasis Limbah Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*. 4(2), 317-322.
- Mulyadi, Y., Setiadi., Bambang, K. (2017). Optimasi Proses Nitrasi pada Pembuatan Nitroselulosa dengan Memanfaatkan Limbah Serabut Kelapa sebagai Bahan Baku dalam

- Upaya Mewujudkan Sumber Energi Bersih dan Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional XII. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*.
- Ossa, M. A. F., Torre, M., Garcia-Ruiz, C. 2012. Nitrocellulose in Propellants. *Advance in Materials Science Research*. 7.
- Pramundita, B.E., Ilman, T., dan Pantjawati, P. (2012). Pembuatan Nitroselulosa dari Kapas (*Gossypium Sp.*) dan Kapuk (*Ceiba pentandra*) Melalui Reaksi Nitrasi. *Jurnal Teknik*. 1(1), 41.
- Purnawan. (2010). Optimasi Proses Nitrasi pada Pembuatan Nitro Selulosa dari Serat Limbah Industri Sagu. *Jurnal Rekayasa Proses*. 4(2), 31-33.
- Putri, R N, Junaidi.R, Mustain (2021) Pemanfaatan α - Selulosa Fiber Cake Kelapa Sawit Sebagai Alternatif Bahan Baku Nitroselulosa. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*. 1(9), 351 -359
- Rahman, M.F., Made, J.A., Yudhi, D.K., dan Suratmo. (2011). Pengaruh Waktu Nitrasi dan Penggunaan Gelombang Ultrasonik Terhadap Persentase Mol Nitrogen Dalam Nitroselulose Hasil Sintesis Berbahan Dasar Serat Kapas. *Natural B*. 1(2), 163-164.
- Saunders, C. W, Taylor, L. T. 1990. *Energ Mater*. 8, 149-203.
- Seta, F.T., Susi, S., dan Reynaldo, B. (2019). Karakterisasi Nitroselulosa dari Pulp Larut Bambu Beema dan Bambu Industri. *Jurnal Selulosa*. 9(1), 25-32.
- Setiadi., Mego, P.J., dan Bambang, K. (2018). Pembuatan Nitroselulosa dari Daun Pandan Duri (*Pandanus Tectorius*). *Progres Litbangyasa Roket, Satelit dan Penerbangan 2018*. Teknik Kimia, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND.
- Setiadi., Yuki, M., dan Bambang, K. (2017). Optimasi Pembuatan Nitroselulosa dari Daun Nanas dengan Proses Delignifikasi dalam Upaya Mewujudkan Sumber Energi Bersih dan Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional XII, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta*.