

Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok untuk Produksi Bioetanol dengan Proses Hidrolisis Asam Klorida

Mukasi Wahyu Kurniawati¹, Zeni Ulma², Prayuda Alfian Arya Pratama³

¹Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

^{2,3}Politeknik Negeri Jember

Email: mukasi@akprind.ac.id

ABSTRACT

To reduce the environmental impact of petroleum-based materials, alternative materials such as bioethanol are used, although in small quantities. The second generation bioethanol is produced from biomass originating from hemicellulose-producing bacteria and bound by lignin, namely Kepok banana peel waste. The aim of this research is to find out whether Kepok banana peel waste can be an alternative raw material for making bioethanol using the hydrochloric acid hydrolysis method, which is a good method for the process of making bioethanol from banana peel waste. The process in this research uses two stages, namely the pretreatment stage and the hydrolysis process stage. Lignin is dried through a chemical delignification process, namely by soaking banana peel shells in 10% NaOH solution with a mass ratio of 1:6 (w/v) for 12 hours. After the raw materials are delignified, their contents are tested using the Chesson Datta method. The 10% NaOH delignification method was able to reduce lignin levels in Kepok bananas (36.6%), hemicellulose (11.1%), and cellulose levels (62.8%). The fermentation process uses a starter made from bread yeast with a concentration of 1.4%, urea nutrition with a concentration of 1%, and NPK nutritional variations of 0.6%, 0.8% and 1.0% for three days. The substrate has a volume of 150 ml and is then allowed to ferment until it is no longer thick. The best Kepok banana peel bioethanol (6.5%) in a volume of 17ml comes from NPK (0.8%), the final result is that Kepok banana peel waste can be an alternative to bioethanol.

Keywords: Bioethanol, banana peel waste, fermentation.

INTISARI

Untuk mengurangi dampak lingkungan berbahan dasar minyak bumi maka digunakan bahan alternatif seperti bioethanol, meskipun dalam jumlah sedikit. Bioetanol generasi kedua tersebut dihasilkan dari biomassa yang berasal dari bakteri penghasil hemiselulosa dan oleh lignin akan diikat yaitu limbah kulit pisang kepok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui limbah kulit pisang kepok dapat menjadi bahan baku alternatif pembuatan bioethanol dengan metode hidrolisa asam klorida merupakan metode yang bagus untuk proses pembuatan bioethanol dari limbah kulit pisang ini. Proses pada penelitian ini menggunakan dua tahapan yaitu tahap *pretreatment* dan tahapan proses hidrolisa. Lignin dikeringkan melalui proses delignifikasi secara kimia, yaitu dengan merendam kepung pisang kulit dalam larutan NaOH 10% dengan perbandingan massa 1:6 (b/v) selama 12 jam. Setelah bahan baku didelignifikasi, diuji kandungannya dengan metode Chesson Datta. Metode delignifikasi NaOH 10% mampu menurunkan kadar lignin pada pisang kepok (36,6%), hemiselulosa (11,1%), dan kadar selulosa (62,8%). Proses fermentasi menggunakan starter berbahan dasar ragi roti dengan konsentrasi 1,4%, nutrisi urea dengan konsentrasi 1%, dan variasi nutrisi NPK 0,6%, 0,8%, dan 1,0% selama tiga hari. Substrat bervolume 150 ml kemudian dibiarkan terfermentasi hingga tidak kental lagi. Bioetanol kulit pisang Kepok (6,5%) terbaik dalam volume 17ml berasal dari NPK (0,8%), hasil akhir didapatkan limbah kulit pisang kepok dapat menjadi alternatif bioethanol.

Kata kunci: Bioetanol, limbah kulit pisang, fermentasi.

PENDAHULUAN

Mengingat kuantitas dan kualitas energi yang dikonsumsi dalam kehidupan modern mempunyai dampak yang signifikan terhadap kesejahteraan manusia, maka permasalahan cadangan energi di masa depan menjadi tantangan besar bagi semua bangsa. Cadangan energi memiliki peran penting dalam mendorong pertumbuhan, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Bahan bakar minyak (BBM), yang digunakan untuk keperluan manufaktur, transportasi, produksi listrik, dan keperluan lainnya, merupakan salah satu energi utama yang dimanfaatkan umat manusia. Namun peningkatan penggunaan energi tidak sebanding dengan penurunan cadangan minyak. Sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan

Energi Nasional, setidaknya 23% energi harus berasal dari sumber baru dan terbarukan pada tahun 2025.

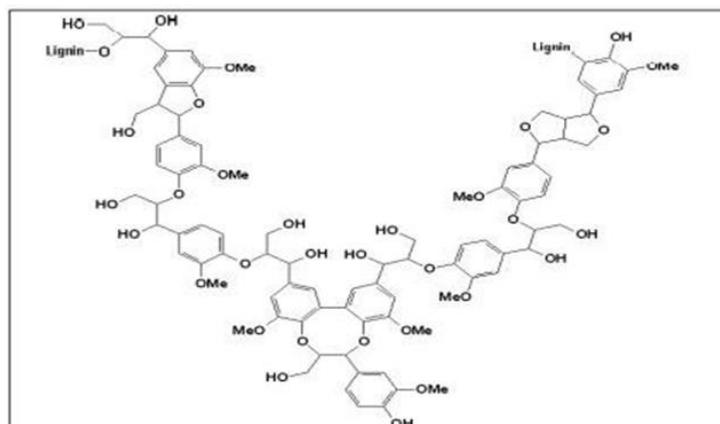
Saat ini sedang banyak dilakukan upaya untuk menghasilkan sumber energi alternatif, seperti bioetanol, untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Bahan bakar alternatif yang dibuat dengan metode industri disebut bioetanol. Jika dibandingkan dengan bensin, bioetanol generasi kedua mampu memangkas emisi CO₂ hingga 90% (Aiman, 2014). Bahan baku bioetanol generasi kedua merupakan bahan lignoselulosa yang mudah didapat, belum dimanfaatkan secara luas, dan tidak menghambat ketersediaan pangan. Kulit pisang kepok merupakan salah satu jenis bahan lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan. Tergantung pada bahan bakunya, ada dua cara untuk memproduksi etanol: secara petrokimia, dengan menghidrasi etena, dan secara biologis, dengan memfermentasi gula dengan ragi atau mikroorganisme lainnya; proses ini disebut sebagai reaksi biokimia (Gozan, 2014). Untuk membedakannya dari etanol yang diperoleh melalui proses sintetik, etanol yang dihasilkan dari proses biologis ini disebut sebagai bioetanol. Bahan yang mengandung pati, serat, dan gula semuanya dapat dengan mudah diubah menjadi bioetanol. Sifat fisika-kimia etanol ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Etanol

Sifat Fisika dan Sifat Kimia	Nilai
Berat Molekul	46,1 gr/mol
Titik Lebur	-114,1°C
Titik Didih	78,32°C
Densitas	0,7983 gr/ml
Viskositas 20°C	1,17 cP
Panas Penguapan	893,31 J/g
Panas Pembakaran pada 25°C, J.g	29676,6
Panas Jenis	2,42
Nilai oktan	106-111
Berwujud	Cair
Dicampur dengan Natrium	Bereaksi
Kelarutan dalam H ₂ O	Larut sempurna
Bisa terbakar	ya

Sumber: Jhonprimen (2012)

Iklim tropis yang ideal negara Indonesia sangat memungkinkan tanaman pisang tumbuh subur. Badan Pusat Statistik (BPS) memproyeksikan Indonesia akan memproduksi 8,74 juta ton pisang pada tahun 2021, dengan Jawa Timur menyumbang sebagian besar dari jumlah tersebut yaitu 2,04 juta ton. Salah satu daerah penghasil pisang terbesar adalah Kabupaten Jember dengan produksi 1.837.151 ton pada tahun 2020. Sepertiga dari seluruh produksi pisang dunia 612.383 ton per tahun berasal dari limbah kulit pisang. Kulit pisang kepok yang sering dibuang begitu saja dapat membahayakan lingkungan karena mencemari permukaan tanah dan meningkatkan keasaman tanah. 18,5% kulit pisang kepok mengandung pati (Herliati dkk, 2018). Pengolahan biomassa lignoselulosa biasanya dimulai dengan pretreatment, atau pengurangan awal kandungan lignin. Lignin akan hancur pada saat proses delignifikasi sehingga memudahkan selulosa diubah menjadi glukosa (Prametha dkk, 2013). Meskipun kurang ideal untuk memecah hemiselulosa dan selulosa, pretreatment basa lebih berhasil dalam menurunkan lignin. Kandungan lignin biomassa akan mempengaruhi seberapa efektif pendekatan ini (Hidayat, 2013). Setelah selulosa, lignin merupakan bahan terbarukan kedua yang ditemukan di alam dan merupakan polimer aromatik yang paling umum. Lignin secara historis dipandang sebagai limbah bernilai rendah atau produk sampingan yang sebagian besar digunakan sebagai bahan bakar. Hal ini juga berlaku ketika mengubah biomassa yang bersifat lignoselulosa menjadi etanol (Cotana et al., 2014). Lignin dibuat dalam jumlah besar selama pembuatan bioetanol. Polimer kompleks yang mengandung gugus metoksi dan fenil-propena membentuk lignin. Lignin menimbulkan hambatan dalam proses hidrolisis ketika mengubah biomassa menjadi bioetanol (Gozan, 2014), oleh karena itu perlu dilakukan pretreatment sebelum proses hidrolisis dimulai. Etanol kemudian dapat diproduksi dengan memfermentasi monosakarida yang dihasilkan (Zhao, 2020). Berikut adalah gambar yang menunjukkan struktur *Lignoselulosa*.



Gambar 1. Struktur *Lignoselulosa* (Walker, 2010)

Kulit pisang mengandung karbohidrat (pati) dan air sebagai komponen utamanya. Kulit pisang berpotensi digunakan untuk memproduksi bioetanol melalui proses fermentasi dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*. Potensi kulit pisang sebagai bahan baku bioetanol sangat besar karena tingginya kandungan karbohidrat (pati). Rincian komposisi kimia dari kulit pisang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia dari Kulit Pisang

Komponen	Gram
Air	50.31
Protein	7.36
Pati	18.4
Lemak	1.84
Selulosa	1.84
Polisakarida non selulosa dapat larut	4.29
Polisakarida non selulosa tak dapat larut	0.61
Lignin	1.23
Fiber (serat)	6.75

Sumber: Kundarto (2004)

Dengan menambahkan air, polisakarida dapat dihidrolisis untuk menghasilkan gula sederhana. Karena bahan-bahannya lebih murah dan prosedurnya dapat diselesaikan dengan cepat, metode hidrolisis asam sering digunakan. Karena HCl tidak mendegradasi selulosa seperti H₂SO₄, maka hasil hidrolisis dengan penambahan HCl menghasilkan glukosa dalam jumlah lebih besar (Habibah dkk, 2016). Hasilnya, proses hidrolisis dipercepat dengan menggunakan larutan asam sebagai katalis. Fermentasi terjadi berikutnya ketika hidrolisis selesai. Ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*) digunakan dalam proses fermentasi. Ini menghasilkan enzim zimase dan invertase, yang memungkinkannya mengubah gula menjadi etanol. Ragi roti tidak beracun, stabil, dan mudah didapat. Karbohidrat, nitrogen, dan fosfat merupakan nutrisi yang dibutuhkan *Saccharomyces cerevisiae*. Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* sangat bergantung pada kandungan mineral nutrisi NPK, yaitu fosfor, nitrogen, dan kalium (Nasution et al., 2016). Kulit pisang telah dimanfaatkan dalam sejumlah penelitian sebelumnya untuk menghasilkan bioetanol. Herliati (2018) menggunakan kulit pisang kepek yang difermentasi dengan ragi roti setelah dihidrolisis selama satu jam dengan HCl 3%. Variasi fermentasi dilakukan pada pH 4 dan 5 selama 2, 4, 6, dan 8 hari, dengan suhu antara 30°C dan 40°C. Setiawati (2013) menggunakan ragi tape dan ragi roti yang dikombinasikan dengan kulit pisang yang dipotong kecil-kecil dan air suling dengan perbandingan 1:1. PH berkisar antara 2 hingga 6, jumlah ragi yang digunakan adalah 1% hingga 5%, dan masa fermentasi bervariasi, mulai dari 1 hingga 5 hari. Menambahkan 3% ragi roti, menjaga pH pada 4, dan memfermentasi campuran selama dua hari memberikan hasil terbaik, menghasilkan 9,85% bioetanol. Penelitian dilakukan oleh Darmodjo (2020) dengan menggunakan fermentasi selama 72 jam dan konsentrasi HCl yang berbeda yaitu 0,5M, 0,75M, dan 1M. Fermentasi selama tiga hari pada HCl 1M memberikan hasil yang paling baik. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah kulit pisang kepek dapat

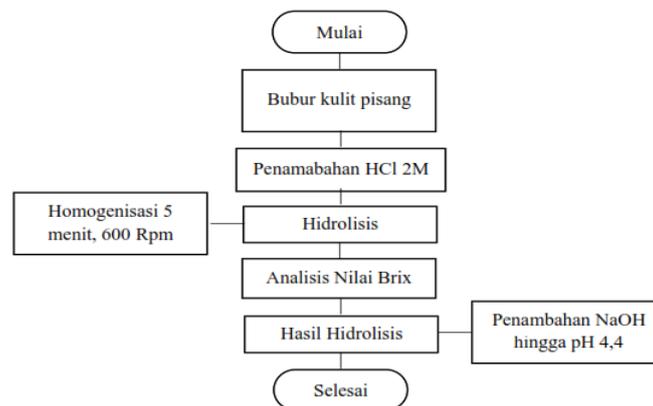
menjadi bahan baku alternatif pembuatan bioethanol dan metode hidrolisa asam klorida merupakan metode yang bagus untuk proses pembuatan bioethanol dari limbah kulit pisang.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif untuk menentukan variasi penambahan NPK yang optimal dari bahan baku kulit pisang Kepok selama proses fermentasi. Variabel bebas yang digunakan meliputi variasi komposisi NPK (0,6%, 0,8%, 1%), waktu fermentasi selama 3 hari dengan variabel terikatnya yaitu kadar bioethanol yang dihasilkan. Proses pembuatan bioethanol generasi kedua ini dari limbah kulit pisang kepok terdiri dari 2 proses, dimulai dari persiapan bahan baku, uji kandungan lignoselulosa di dalam bahan baku, *pretreatment* basa dilakukan setelah uji kandungan lignoselulosa. Pada penelitian ini yang utama adalah tahapan hidrolisa asam klorida dengan fermentasi menggunakan NPK dan dilanjutkan proses distilasi.

Tahap awal yaitu persiapan bahan baku yaitu kulit pisang kepok yang dicuci bersih kemudian dipotong kecil – kecil, setelah itu kulit pisang dijemur dibawah sinar matahari selama 3 hari hingga kering. Kemudian kulit pisang kering digrinder halus sampai menjadi tepung dan disaring menggunakan saringan 60 mesh dan uji karakteristik bahan baku menggunakan metode Chesson. Proses *pretreatment* atau dinamakan delignifikasi menggunakan basa yaitu NaOH 10% berdasarkan penelitian terbaik dari Gaddafi et al (2016). Siapkan erlenmeyer 500ml kemudian timbang tepung kulit pisang kepok, dan ditambahkan larutan NaOH 10% dengan perbandingan (1:6 b/v). Dari penelitian sukowati (2014), larutan diaduk dengan kecepatan 250 rpm selama 3 menit menggunakan magnetic stirrer lalu didiamkan selama 12 jam. Selanjutnya residu kulit pisang kepok dibilas dan dicuci menggunakan aquades sampai pH 7 dan disaring kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C hingga berat konstan. Analisa karakterisasi bahan kembali.

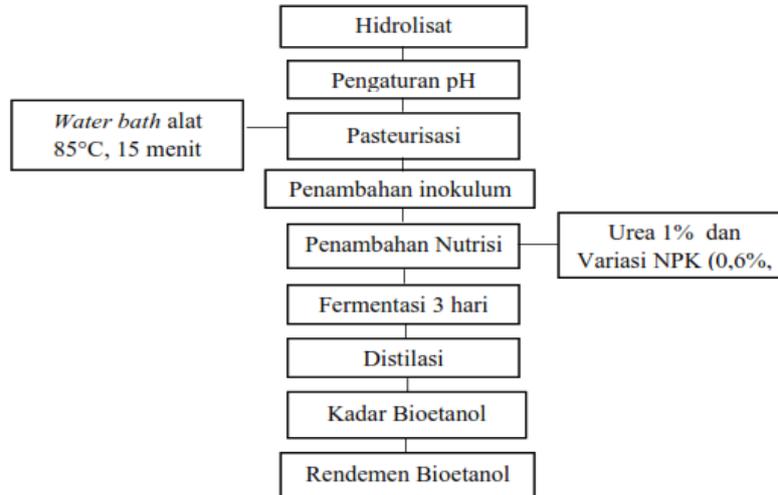
Proses utama yaitu proses hidrolisis asam klorida, tepung kulit pisang kepok hasil delignifikasi ditambahkan HCl dengan konsentrasi 2M dengan perbandingan (1:10 b/v). Kemudian substrat ditambahkan HCl diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5 menit dengan kecepatan 600 rpm, setelah proses menghomogenkan selesai dilanjutkan memanaskan sampel pada suhu 121 °C selama 60 menit menggunakan *autoclave*. Hidrolisat hasil pemanasan kemudian didinginkan dan dilakukan pengujian pH menggunakan pH universal, hidrolisat semula kondisinya asam dengan penambahan NaOH hingga pH menjadi 4,4. Berikut terdapat diagram alir proses hidrolisis yang terjadi pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Hidrolisis

Proses inokulasi dilakukan dalam *beaker glass* dengan memasukkan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* ke dalam media awal yang berasal dari hidrolisat sebanyak kurang lebih 15 ml (10% volume fermentasi). Selanjutnya unsur hara tersebut direduksi menjadi urea dan NPK minimal 0,01 gram. Sebelum diinokulasi, media dipanaskan hingga suhu 121°C selama 15 menit menggunakan *autoclave*, kemudian didinginkan hingga suhu yang diinginkan. Setelah media diletakkan di permukaan, *Saccharomyces cerevisiae* direduksi menjadi 1,4% (Bestari, 2013) dan diinkubasi selama 24 jam. Proses ini dilakukan dalam inkubator pada suhu sekitar 30°C. Proses pemanasan di atas 100°C bertujuan untuk mensterilkan hidrolisat dengan menggunakan *Water Bath* pada suhu 85°C selama 15 menit. Setelah dihidrolisis, sedimen dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dicampur dengan inokulum. Nutrisinya adalah sebagai berikut: pupuk urea sekitar 1% dan NPK dalam jumlah yang bervariasi (0,6%, 0,8%, 1%). Gambar 3 menunjukkan proses fermentasi yang

dilakukan hingga proses distilasi, dimana proses ini adalah tahap akhir pada penelitian ini. Proses distilasi dilakukan untuk mendapatkan hasil bioethanol yang murni dengan pengujian kadar bioethanol menggunakan alat piknometer dan neraca analitik. Tahap selanjutnya adalah prosedur analisis, pada penelitian ini ada 3 pengujian yaitu analisis nilai brix, kadar etanol menggunakan piknometer dan rendemen bioethanol



Gambar 3. Diagram Alir Proses Fermentasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan bioethanol selulosa generasi kedua dengan bahan baku kulit pisang kepek ini melakukan dua tahap percobaan yaitu tahap pendahuluan yang terdiri dari tiga proses yaitu persiapan bahan baku, kedua tahap pengujian kandungan lignoselulosa dengan metode Chesson 1981 dan ketiga *pretreatment* secara basa dengan NaOH. Tahapan kedua yaitu proses hidrolisis menggunakan katalis asam dengan konsentrasi 2M, proses fermentasi menggunakan nutrisi NPK dengan konsentrasi (0,6%, 0,8%, 1%), kemudian dilanjutkan proses distilasi.

Karakteristik Kulit Pisang Kepok

Menurut Wardhani et al. (2016), reaksi kimia yang terjadi pada buah dan sayuran akibat enzim polifenol oksidase yang menghasilkan pigmen coklat (melanin) disebut sebagai reaksi pencoklatan. Reaksi ini terjadi ketika enzim dan substrat berinteraksi dengan melibatkan oksigen. Proses seperti pengupasan, pengirisan, pembusukan, dan benturan dapat memicu reaksi pencoklatan tersebut. Hal ini menyebabkan kulit pisang berubah warna menjadi kecoklatan, terutama akibat proses pemotongan dan pengeringan di bawah sinar matahari. Gambar 4 menunjukkan kulit pisang yang telah diolah menjadi tepung.

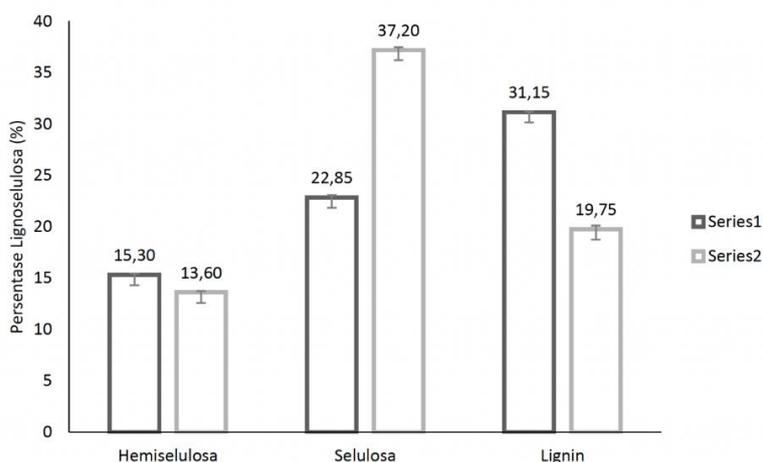


Gambar 4. Tepung Kulit Pisang Kepok Setelah Pemanasan

Delignifikasi Tepung Kulit Psang secara Kimia menggunakan NaOH

Untuk mengetahui kandungan lignoselulosa pada kulit pisang kepek, dilakukan analisis lignin, hemiselulosa, dan selulosa dengan metode Chesson Datta. Pengujian ini dilakukan baik sebelum maupun sesudah proses *pretreatment*. *Pretreatment* merupakan langkah awal dalam mengubah lignoselulosa menjadi bioethanol. Tujuan utama delignifikasi adalah untuk mengurangi senyawa

penghambat hidrolisis, seperti lignin, sehingga meningkatkan kandungan total karbohidrat, menurunkan kristalinitas selulosa, dan memperluas area kontak enzim (Zhang et al., 2016). Perbedaan fisik pada kulit pisang kepek sebelum dan setelah delignifikasi tampak jelas. Perlakuan dengan NaOH 10% menunjukkan perubahan visual yang signifikan. Berdasarkan hasil uji kadar lignoselulosa, terjadi penurunan lignin setelah proses delignifikasi menggunakan NaOH 10% atau dari 31,15 persen menjadi 19,75 persen. Kandungan hemiselulosa pada kepek kulit juga mengalami penurunan dari 15,30% sebelum dilakukan perlakuan menjadi 13,6% setelah dilakukan penurunan sebesar 1,7%. Sedangkan setelah delignifikasi, kandungan selulosa meningkat dari 22,85% menjadi 37,20% dengan rendemen sekitar 14,35%. Percepatan ini disebabkan oleh struktur lignin yang menyumbat arteri lurik dan hemisfer. Ion natrium (Na⁺) berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat, sehingga persentase selulosa dalam total komponen kulit pisang meningkat. Ion hidroksida (OH⁻) dari larutan NaOH memecah ikatan struktur dasar lignin. Grafik pada Gambar 4 menggambarkan perubahan kandungan lignoselulosa pada kepek kulit sebelum dan sesudah delignifikasi.



Gambar 5. Kandungan Lignoselulosa pada Kulit Pisang Kepok Sebelum dan Sesudah *Pretreatment*

Menurut Behera dan Ray (2016), komponen utama pisang adalah kandungan ligninnya, yang biasanya berkisar antara 25% hingga 30%, diikuti oleh selulosa (35% hingga 50%) dan hemiselulosa (25% hingga 30%). Namun pada penelitian Darmodjo (2020), delignifikasi kulit pisang kepek menggunakan NaOH menunjukkan kandungan hemiselulosa 0,95 persen, kandungan selulosa 9,74 persen, dan kandungan lignin 3,92 persen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dibandingkan dengan sampel asli lignin, sampel pisang kepek memiliki kandungan lignin yang jauh lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi bahan yang berbeda dan jenis pisang yang berbeda. Pretreatment delignifikasi diperlukan karena pretreatment ini juga memecah monomer jenis tertentu dari hemiselulosa pada bahan baku (Megawati, 2015). Beragam proses dalam penelitian ini terutama untuk memberi lignin dengan baku yang berbeda untuk mendapatkan delignifikasi yang optimal. Menurut Asgher dkk. (2013), delignifikasi dengan NaOH konsentrasi 2,0%, 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10% setara dengan kinerja optimal bila menggunakan NaOH 10%. Rendemen lignin mencapai 9,86% setelah 30 menit pada suhu 121°C dalam autoklaf. Berdasarkan penelitian Gadaffi dkk (2016), pretreatment dengan menggunakan NaOH 10% menghasilkan kadar etanol setinggi 80 ppm.

Tabel 3. kadar Lignoselulosa pada Kulit Pisang Kepok

Bahan Baku	Perlakuan Delignifikasi	Penurunan Hemiselulosa %	Peningkatan Selulosa %	Penurunan Lignin %
Kulit pisang Kepok	NaOH 10%	11,1	62,8	36,6

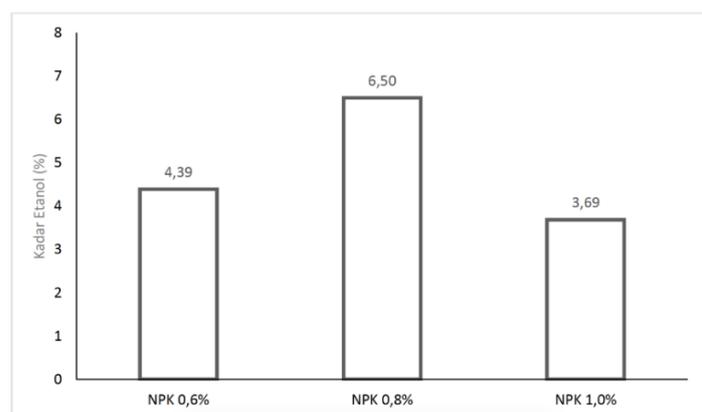
Hidrolisa Substrat Kulit Pisang Kepok

Proses hidrolisis pada penelitian ini menggunakan nama Asam Klorida (HCl) 2M untuk menggambarkan hidrolisis secara asam, menghasilkan nilai brix sekitar 13,5°. Sebagai contoh

hidrolisis bioetanol berbahan baku kulit nanas, Nulhakim dkk. (2019) melaporkan bahwa dengan perbandingan konsentrasi asam klorida 0.1M, 0,5M, 1M, dan 2M, perlakuan terbaik diperoleh dengan konsentrasi asam sulfat 2M dengan konsentrasi gula 12,6° brix. Berdasarkan temuan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan metodologi yang paling efektif dengan menggunakan konsentrasi asam klorida 2M. Apabila bahan pengikat mempunyai kandungan gula tinggi yang tinggi maka akan memberikan efek negatif terhadap ragi, baik dari segi aktivitas maupun kecepatan fermentasi. Gunakan kadar glukosa 10–18% yang sesuai untuk proses fermentasi. Jika kadar gula konsentrasi konsisten lebih tinggi dari 18%, maka akan menghambat pertumbuhan ragi sehingga mengakibatkan waktu fermentasi menjadi lebih lama. Selain itu, ada beberapa makanan yang tidak layak dikonsumsi; namun, jika terlalu manis, hal ini dapat menyebabkan konsumsi alkohol yang tinggi (Subrimobdi, 2016). Setelah substrat tercampur dengan HCl, substrat dihidrolisis menggunakan autoklaf selama 60 menit pada suhu 121°C. Terakhir, hidrolisat ditambahkan. Pada penelitian ini, hidrolisis memiliki nilai pH yang sangat rendah. Selain itu, menurut Megawati (2015), dalam kondisi tertentu hidrolisat dapat menghasilkan senyawa kimia yang dapat berperan sebagai penahan ragi selama proses fermentasi. Jenis senyawa kimia yang bernilai tinggi antara lain karboksilat, fenol, furan, HMF, dan sebagainya. Kondisi hidrologi asam kuat yang memungkinkan adanya senyawa kimia dengan saringan racun harus dicegah. Penetrasi pH hingga 4,5–5,5 dan proses detoksifikasi bersifat racun akan ditanggulangi dengan senyawa kimia yang bersifat. Pengukuran pH dan proses detoksifikasi dapat dilakukan dengan menambahkan NaOH ke dalam hidrolisat hingga pH antara 4,5 dan 5,5. PH yang digunakan dalam penyelidikan ini adalah 4,4. Hemagglutinin yang telah diekstraksi dengan cara di atas cocok untuk proses fermentasi ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) dan digunakan dalam proses inokulasi.

Hubungan Konsentrasi Nutrisi NPK terhadap Kadar Etanol

Hubungan antara konsentrasi nutrisi NPK dengan variasi 0,6%, 0,8%, dan 1% serta waktu fermentasi selama 3 hari dianalisis berdasarkan produksi bioetanol menggunakan substrat kulit pisang kepek. Sampel kandungan etanol dikumpulkan menggunakan fotometer dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel. Kandungan bioetanol yang dihasilkan selama fermentasi kulit pisang disajikan pada Tabel 4. Penambahan nutrisi merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi proses fermentasi. *Saccharomyces cerevisiae* memerlukan nutrisi untuk tumbuh. Tujuan penambahan nutrisi selama fermentasi adalah untuk meningkatkan perkembangan ragi sehingga jumlah etanol yang dihasilkan dapat ditingkatkan. Pupuk NPK digunakan sebagai sumber fosfor dan kalium. Dalam NPK, kalium berfungsi sebagai kofaktor enzim, sedangkan fosfor mendukung sintesis asam nukleat, ATP, fosfolipid, dan senyawa penting lainnya yang mengandung nutrisi (Junuansyah et al., 2015). Gambar 6 menunjukkan bahwa peningkatan kadar NPK etanol yang diperoleh akan berbeda. Sebaliknya, NPK 0,6% diperoleh sebesar 4,39 persen dari kadar etanol. Selain itu terjadi penurunan NPK sebesar 0,8% sehingga menghasilkan kadar etanol sebesar 6,50 persen. Namun NPK 1,0% kadar etanol yang berhasil dilakukan mengalami penurunan. Penambahan NPK yang berlebihan akan menyebabkan sel *Saccharomyces cerevisiae* membentuk pseudohifa, sehingga terjadi penurunan kadar etanol tersebut. Pseudohifa merupakan proses meiosis yang terjadi sangat cepat, sedangkan pemisahan antara bayi dan dewasa tidak terjadi (Nuraini dkk, 2021). Hal inilah yang menghambat etos kerja saat mengkonversi glukosa menjadi bioetanol. Dapat disimpulkan bahwa keseimbangan hara NPK yang ideal terjadi pada konsentrus 0,8%.



Gambar 6. Hubungan Konsentrasi Nutrisi NPK dengan Kadar Etanol

KESIMPULAN

Proses delignifikasi pada substrat kulit pisang kepok menggunakan larutan NaOH 10% terbukti efektif dalam mengurangi kandungan lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Dalam penelitian ini, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kandungan lignin berkurang sebesar 36,6%, sedangkan hemiselulosa berkurang sebesar 11,1%, dan selulosa mengalami penurunan signifikan hingga 62,8%. Proses delignifikasi ini bertujuan untuk memecah struktur kompleks lignoselulosa, sehingga komponen selulosa lebih mudah diakses untuk tahap selanjutnya, yaitu hidrolisis. Tahap hidrolisis dilakukan menggunakan HCl 2M, yang berperan dalam mengubah selulosa menjadi gula sederhana yang dapat diolah lebih lanjut menjadi bioetanol. Hasilnya, proses ini mampu menghasilkan bioetanol dalam jumlah yang signifikan. Berdasarkan pengujian, kadar bioetanol yang dihasilkan dari substrat kulit pisang kepok mencapai 6,5%. Proses ini menunjukkan potensi besar kulit pisang kepok sebagai bahan baku alternatif untuk produksi bioetanol, yang dapat mendukung pengembangan energi terbarukan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arindhani, S. 2015. *Produksi Bioetanol Menggunakan Ragi Roti Instan Dengan dan Tanpa Pemberian Aerasi pada Media Molases*. Universitas Jember.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. *Produksi Buah-Buahan Menurut Jenis Tanaman Menurut Kabupaten/Kota Di Provinsi Jawa Timur Tahun 2017 2020 update terakhir 2021* (diakses tanggal 3 April 2022)
- Behera, S. S., dan R. C. Ray. 2016. Solid state Fermentation for Production of Microbial Cellulases: Recent Advances and Improvement Strategies. *International Journal of Biological Macromolecules* 86 ,656-669.
- Darmodjo, V. V. 2020. *Produksi Bioetanol Kulit Pisang Kepok (Musa Paradisiaca L.) Dengan Variasi Hidrolisis Asam Dan Lama Fermentasi*. Thesis. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Ferdaus, F., M.O. Wijayanti, E.S Retnonigtyas, dan W. Irawati. 2008. Pengaruh pH, Konsentrasi Substrat, Penambahan Kalsium Karbonat Dan Waktu Fermentasi Terhadap Perolehan Asam Laktat Dari Kulit Pisang. *Widya Teknik*, 7(1), 1-14.
- Danmaliki, G. I., A. M. Muhammad, A. A. Shamsuddeen dan B.J. Usman. 2016. Bioethanol Production From Banana Peels. *IOSR Journal of Environmental Science*, Ver. II, 10(6), 56-62.
- Lestari, M. D., S. Sudarmin dan H. Harjono. 2018. Ekstraksi Selulosa dari Limbah Pengolahan Agar Menggunakan Larutan NaOH sebagai Prekursor Bioetanol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 236-241.
- Mardina, P., A. I. Talalangi, J.F. Sitinjak, A. Nugroho, & Fahrizal, M. R. 2013. Pengaruh Proses Delignifikasi Pada Produksi Glukosa Dari Tongkol Jagung Dengan Hidrolisis Asam Encer. *Jurnal Konversi*, 2(2), 17-23
- Nasution, H. I., R.S Dewi dan P. Hasibuan. 2016. Pembuatan Bioetanol dari Rumput Gajah (Pennisetum purpureum schumach) Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi *saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Pendidikan Kimia*, vol. 8, no. 2, 144-151.
- Nulhakim, L., R.R. Febriana, B. Anggono, H. Lukmana, F. Erviana, A.D. Pratiwi, dan P. N. Azizah. 2019. Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas Oleh *Saccharomycesm Cerevisiae* Terimobilisasi Dalam Butiran Alginat. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 444-448.