
KILANG BIOMASSA DARI LIMBAH PERTANIAN DAN PERKEBUNAN UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

**Muhammad Shalahuddin Rahmansyah¹, Sukma Hadi Anugerah², Lely
Mardiyanti³**

¹Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Industri Turen, Jalan Salah II, Turen

²Jurusan Teknik Kimia, Sekolah Tinggi Teknik Industri Turen, Jalan Salah II, Turen

³Jurusan Biologi, Universitas Negeri Malang, Jalan Semarang 5, Malang

Email: lelymardiyantibio@gmail.com

ABSTRAK

Kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan adalah strategi baru masa depan untuk mewujudkan sustainabilitas, tetapi sebagian besar masih dalam tahap konseptual. Kilang biomassa akan memungkinkan masyarakat untuk mengubah limbah pertanian dan perkebunan mereka menjadi energi baru terbarukan bernilai tambah, senyawa biokimia, dan pupuk. Beberapa konsep kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan telah dikembangkan, tetapi hanya sedikit yang telah direalisasikan secara komersial karena terhambat oleh biaya dan sedikit kepercayaan pada teknologi baru, hasil dan keuntungan yang diharapkan, dan keandalan pengoperasian. Oleh karena itu, dalam publikasi ini dipaparkan konsep kilang biomassa secara umum, jbaran limbah pertanian dan perkebunan di Indonesia yang potensial digunakan sebagai bahan baku kilang biomassa beserta tahapan pembuatannya, prospek masa depan produk-produk yang dihasilkan, dan hasil analisis mengenai tantangan-tantangan yang akan dihadapi pada pengembangan yang lebih lanjut.

Kata kunci: Kilang biomassa, Limbah Pertanian dan Perkebunan, Lignoselulosa

ABSTRACT

The agricultural and plantation waste biorefinery is the new strategy of the future to realize sustainability, but most are still in the conceptual stage. The biorefinery will allow communities to convert their agricultural and plantation waste into new value-added renewable energy, biochemical compounds, and fertilizers. Several biorefinery concepts of agricultural and plantation waste have been developed, but few have been commercially realized due to cost constraints and little reliance on new technologies, expected results, and profits, and reliability of operations. Therefore, this publication presented the concept of biorefinery in general, agricultural and plantation waste in Indonesia that has the potential to be used as raw materials for biorefinery and their manufacturing stages, the prospects of the products produced, and the results of the analysis on the challenges that will be faced in further development.

Keywords: Biorefinery, Agricultural and plantation waste, Lignocellulose

PENDAHULUAN

Tantangan besar yang dihadapi dunia di abad 21 yaitu pembangunan dunia ke arah sustainability, termasuk di Indonesia (Fauzi & Oxtavianus, 2014). Beberapa dari banyaknya target dalam pembangunan sustainability di Indonesia yakni (1) pada tahun 2030, mencapai manajemen berkelanjutan dan penggunaan yang efisien dari sumber daya alam; (2) pada tahun 2020, meraih manajemen ramah lingkungan dari bahan kimia dan limbah lainnya sepanjang siklus hidupnya, sesuai dengan kerangka kerja internasional yang telah disepakati, dan secara signifikan mengurangi pelepasan bahan-bahan tersebut ke udara, air dan tanah dalam rangka meminimalisir dampak buruk bahan tersebut terhadap kesehatan manusia dan lingkungan; (3) pada tahun 2030, secara substansial mengurangi produksi limbah melalui tindakan pencegahan, pengurangan, daur ulang dan penggunaan kembali; (4) mendukung negara-negara berkembang untuk menguatkan kapasitas ilmiah dan teknologi agar dapat bergerak menuju pola-pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan (Kementrian PPN, 2020).

Untuk dapat sepenuhnya memanfaatkan potensi sumber daya hayati ini, dan melindungi lahan subur untuk produksi pangan, penggunaan limbah sebagai bahan baku untuk produksi energi dan senyawa kimia harus diintensifkan. Sama seperti sumber daya fosil yang diubah menjadi energi dan senyawa kimia di kilang, Sumber daya hayati dapat diubah menjadi senyawa yang berguna sebagai kilang biomassa (Naik et al., 2010). Kilang biomassa merupakan fasilitas yang menggabungkan berbagai perlengkapan dan proses untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar, energi, pangan dan bahan kimia dengan nilai tambah (*valueadded chemicals*) (Cherubini, 2010).

Kilang biomassa generasi pertama menggunakan tanaman umum sebagai bahan baku (Cherubini, 2010), yang biasa digunakan adalah sugu (Nurdyastuti, 2004), jagung, tebu (Goldemberg, 2014), kentang, sorgum, ubi jalar, dan ubi kayu (Agustian, 2015). Bahan-bahan tersebut merupakan komoditas utama untuk industri dan bahan pangan manusia. Produksi kilang biomassa generasi pertama secara besar-besaran dalam jangka waktu lama, akan menimbulkan persaingan bahan pangan,

papan, dan industri (Song et al., 2013), persaingan lahan pertanian dan sumber air tawar (Boedoyo, 2015), serta dapat memunculkan masalah etika dan kemanusiaan (Ra, C. H., Kim, M. J., Jeong, G. T., & Kim, 2016; Wiratmaja et al., 2011).

Keterbatasan kilang biomassa generasi pertama mengarah pada urgensi pengembangan kilang biomassa generasi kedua yang menggunakan sampah dan limbah pertanian dan perkebunan sebagai bahan bakunya. dalam hal ini termasuk bahan lignoselulosa, pupuk hijau dan sisa pertanian lainnya (misalnya, brangkas jagung) (Cherubini, 2010; Mohr & Raman, 2013; Naik et al., 2010; Xuan et al., 2015). Kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan akan menjadi fokus utama dari konseptual ini. Tujuan utama dari konseptual ini adalah untuk memberikan gambaran kepada pembaca tentang model kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan yang sudah ada, serta menilai properti dan jangkauannya.

Struktur konseptual ini adalah sebagai berikut: bagian 2 memperkenalkan konsep kilang biomassa secara keseluruhan untuk memberi gambaran umum tentang teknologi dan praktik yang ada kepada pembaca. Pada bagian 3 menyajikan jbaran limbah pertanian dan perkebunan di Indonesia yang potensial digunakan sebagai bahan baku kilang biomassa. Bagian 4 memaparkan proses pembuatan kilang biomassa dari bahan lignoselulosa yang ada pada limbah pertanian dan perkebunan, mulai dari pemberian perlakuan awal hingga promrosesan hilir. Kemudian bagian 5 menyajikan prospek masa depan produk-produk yang dihasilkan dari kilang biomassa menggunakan bahan baku limbah pertanian dan perkebunan. Dan akhirnya, di bagian 6 menjelaskan hasil analisis mengenai tantangan dalam pengembangan kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan.

KONSEP KILANG BIOMASSA

Di antara beberapa definisi kilang biomassa, yang paling lengkap baru-baru ini dilakukan oleh *IEA Bioenergy Task 42* yang menjelaskan bahwa kilang biomassa adalah pemrosesan biomassa yang berkelanjutan menjadi spektrum produk dan energi yang dapat dipasarkan (Feed & Materials, 2007). Konsep kilang biomassa (Tabel-1) mencakup

berbagai teknologi yang mampu memisahkan sumber daya biomassa (kayu, rumput, jagung, dan lainnya) ke dalam bahan penyusunnya (karbohidrat, protein, trigliserida, dan lainnya) yang dapat diubah menjadi produk bernilai tambah, energi baru terbarukan, dan bahan kimia (Cherubini, 2010; De Buck et al., 2020; Xuan et al., 2015). Dengan kata lain, kilang biomassa merupakan fasilitas (atau jaringan fasilitas) yang mengintegrasikan proses dan peralatan konversi biomassa untuk menghasilkan bahan bakar nabati transportasi, tenaga listrik, dan bahan kimia dari biomassa.

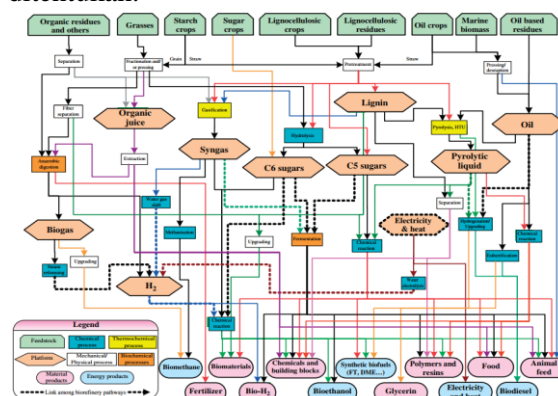
Tabel -1: Ringkasan karakteristik konsep kilang biomassa (Xuan et al., 2015)

Konsep	Jenis Bahan Baku
Kilang biomassa hijau	Biomassa basah, rerumputan dan tanaman pertanian dan perkebunan hijau (misalnya semanggi)
Kilang biomassa seluruh tanaman pertanian	Seluruh tanaman pertanian dan perkebunan, seperti itu sebagai gandum hitam, gandum, dan jagung (termasuk jerami)
Kilang biomassa berbahan ligoselulosa	Biomassa dengan banyak kandungan lignoselulosa, misalnya jerami, sekam, buluh, kayu
Kilang biomassa dengan konsep dua platform	Semua jenis biomassa dengan kombinasi platform gula (biokimia konversi) dan platform syngas (konversi termokimia)
Kilang biomassa termal dan kimiawi	Semua jenis biomassa dengan konversi termokimia: torrefaction, pirolisis, gasifikasi, HTU, pemisahan produk, sintesis katalitik
Kilang biomassa Laut	Menggunakan bahan baku biomassa akuatik seperti mikroalga dan makroalga (rumput laut)

Penggunaan pendekatan berwawasan pembangunan sustainabilitas berfokus pada konversi bertahap dari sebagian besar ekonomi/industri global menjadi masyarakat berbasis hayati berkelanjutan yang memiliki bioenergi, bahan bakar nabati, dan produk berbasis hayati sebagai pilar utama dan kilang biomassa sebagai basis. Penggantian minyak dengan biomassa seperti itu akan membutuhkan beberapa terobosan perubahan dalam produksi barang dan jasa saat ini (Cherubini, 2010; Kamm & Gruber, 2006).

Produksi energi baru terbarukan transportasi yang efisien dipandang sebagai salah satu faktor pendorong utama untuk pengembangan kilang biomassa di masa depan (European Commission, 2006). Faktanya, sektor transportasi terus berkembang dan permintaan bahan bakar terbarukan, yang hanya dapat disediakan dari biomassa, berkembang sesuai dengan itu. Akibatnya, tantangan utama pengembangan kilang biomassa tampaknya adalah produksi energi baru terbarukan transportasi yang efisien dan hemat biaya (Cherubini, 2010).

Produk berbasis biomassa utama saat ini diperoleh dari konversi biomassa menjadi produk dasar seperti pati, minyak, dan selulosa. Selain itu, bahan kimia seperti asam laktat dan asam amino diproduksi dan digunakan dalam industri makanan. Produk berbasis biomassa lain yang sudah tersedia secara komersial termasuk perekat, senyawa pembersih, deterjen, cairan dielektrik, pewarna, cairan hidrolik, tinta, pelumas, bahan pengemas, cat dan pelapis, kertas dan papan kotak, pengisi plastik, polimer, pelarut, dan penyerap (Cherubini, 2010). Gambaran umum tentang platform, produk, bahan baku, dan proses konversi kilang biomassa diberikan pada Gambar-1. Sistem ini diharapkan terus berkembang saat teknologi baru dikembangkan dan platform tambahan ditentukan.



Gambar -1: Gambaran Umum Tentang Platform, Produk, Bahan Baku, dan Proses Konversi Kilang Biomassa (Axelsson et al., 2012; Hackl & Harvey, 2010; Xuan et al., 2015)

POTENSI LIMBAH PERTANIAN DAN PERKEBUNAN SEBAGAI BAHAN BAKU KILANG BIOMASSA

Limbah biomassa dapat diperoleh dari berbagai sumber dan industri. Sebagian besar komponen aliran limbah pertanian dan

perkebunan dapat dibagi menjadi lignoselulosa (misalnya, brangkas jagung) atau biomassa hijau (misalnya, semak dan rerumputan lain serta tanaman herba) (De Buck et al., 2020). Industri pertanian dan perkebunan adalah sumber utama lain dari aliran limbah biomassa, seperti sisa/sampah biji-bijian dan ampas dari tempat pembuatan minuman, ampas tebu dan tetes tebu dari industri gula, dll. (Fava et al., 2015; Veal et al., 2018).

Tabel -2: Sumber lignoselulosa dari limbah pertanian dan perkebunan di Indonesia (Abdullah, 2006; Dani & Wibawa, 2018)

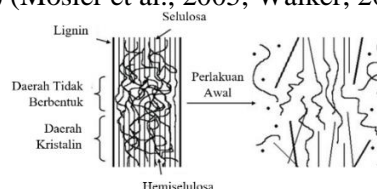
Limbah	Daerah Penghasil Utama	Pemanfaatan Lokal
Limbah kayu karet	Sumatera, Kalimantan, dan Jawa	Hanya digunakan sebagai kayu bakar untuk pembuatan batu bata dan genteng
Ampas tebu	Jawa, Sumatera, dan Kalimantan selatan (0,4 ton batang tebu dan 9,6 ton daun tebu per tahunnya)	Pakan Ternak
Jerami dan sekam padi	Jawa, Sumatra, Sulawesi, Kalimantan, dan Bali/ Nusa Tenggara (\pm 14,5 juta ton jerami dan 51 juta ton sekam padi per tahunnya)	Jerami dan sekam padi sering dibakar secara tidak terkendali, namun di beberapa daerah ada yang menggunakannya untuk pakan atau bahan baku industri kertas
Limbah kelapa dan sawit	Sumatera, Jawa, dan Sulawesi (0,4 juta ton batok kelapa; 0,7 ton serabut kelapa; 3,4 juta ton tumpukan buah sawit kosong; 3,6 juta ton serat sawit; dan 1,2 juta ton kulit biji sawit per tahunnya)	Biasanya batok dan serabut kelapa dibiarkan begitu saja di lahan perkebunan. Namun ada juga yang memanfaatkannya untuk kayu bakar dan untuk produksi arang.
Limbah rumput laut	Riau, Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi dan Maluku (limbah padat dan cair sebanyak 60.000 ton per tahunnya)	Limbah dimanfaatkan sebagai pupuk cair. Limbah padat hanya dibuang begitu saja.

Biomassa limbah pertanian dan perkebunan yang digunakan adalah yang banyak kandungan lignoselulosa (Tabel-2). Penggunaan biomassa lignoselulosa dapat mengurangi persaingan memperebutkan lahan subur, karena dapat ditanam di lahan yang tidak cocok untuk tanaman pertanian dan perkebunan. Selain itu, dibandingkan dengan tanaman konvensional yang dapat berkontribusi hanya dengan sebagian kecil dari biomassa tegakan di atas, kilang biomassa berdasarkan bahan baku lignoselulosa dapat mengandalkan hasil biomassa per hektar yang lebih besar, karena seluruh tanaman tersedia sebagai bahan baku (Kamm & Gruber, 2006; Katzen & Schell, 2008).

PEMBUATAN KILANG BIOMASSA DARI LIMBAH PERTANIAN DAN PERKEBUNAN

Pemberian Perlakuan Awal

Perlakuan awal berfungsi memisahkan selulosa dan hemiselulosa dari lignin dengan cara memecah atau melarutkan lignin (*delignifikasi*). Perlakuan awal juga digunakan untuk mempersiapkan bahan dengan memecah struktur padat (kristalin) selulosa (Liu & Eden, 2014), seperti yang diilustrasikan dalam Gambar-2. Perlakuan awal akan menghasilkan gas, padatan (lignin, selulosa, hemiselulosa, residu), dan cairan (oligosakarida, zat-zat *soiven*) (Mosier et al., 2005; Walker, 2010).



Gambar -2: Ilustrasi Perlakuan Awal untuk Memisahkan Lignin dan Memecah Struktur Kristalin Selulosa (Mosier et al., 2005)

Kriteria perlakuan awal yang efektif yaitu dapat menghancurkan penghalang fisik pada *matriks* dinding sel, dan mengurai *polimer* gula menjadi *monomer* gula (Fang et al., 2010; Rinaldi & Schüth, 2009). Perlakuan awal yang efektif setidaknya dapat mempertahankan gula pentosa, mengurangi jumlah reduksi dan *inhibitor* hasil dari *delignifikasi*, meminimalisir penggunaan energi, serta menggunakan alat dan bahan yang terjangkau (Walker, 2010; Zheng et al., 2009).

Perlakuan awal dapat dilakukan secara fisik, kimiawi, fisik-kimiawi, dan biologis. Perlakuan awal fisik yang dapat dilakukan meliputi penghancuran secara mekanik melalui menggiling, memotong, dan mencincang; serta pemberian kejutan dari luar seperti radiasi sinar *gamma*, gelombang mikro, dan *ultrasonic* (Budarin et al., 2011; Kumar et al., 2009; Nitayavardhana et al., 2010; Petrova & Ivanova, 2017; Wongjewboot et al., 2010; Zheng et al., 2009). Perlakuan awal kimiawi meliputi pemberian larutan alkali atau basa seperti ammonium hidroksida, KOH, NaOH, dan potasium; pemberian asam pekat pada suhu rendah dan asam encer pada suhu tinggi; serta pemberian gas, agen oksidasi, dan ekstraksi *solven* lignin (Brodeur et al., 2011; Kumar et al., 2009; Miranda et al., 2012; Processes & Ethanol, 2007; Sun & Cheng, 2002; Taherzadeh & Karimi, 2008; Zheng et al., 2009). Perlakuan awal fisik-kimiawi dapat dilakukan dengan *Ammonia fiber explosion* (AFEX), *hidrotermal*, ledakan, pirolisis, tekanan, uap air bertekanan tinggi (Cara et al., 2008; Kumar et al., 2009; Taherzadeh & Karimi, 2008). Sedangkan perlakuan awal biologis dapat memanfaatkan *actinomycetes*, enzim, dan fungi (Hahn-Hägerdal et al., 2006; Kumar et al., 2009; Taherzadeh & Karimi, 2008).

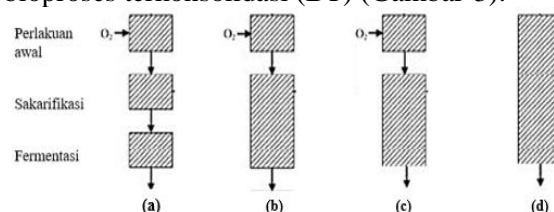
Sakarifikasi dan Fermentasi

Sakarifikasi merupakan proses penguraian karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana (Karimi & Taherzadeh, 2007). Sakarifikasi dapat dilakukan secara kimiawi dengan pemberian asam dan sulfur (Zheng et al., 2009). Sakarifikasi juga dapat dilakukan secara enzimatik dengan pemberian enzim *selulase*, *selobiase*, atau *hemiselulase* (Mosier et al., 2005; Yanagisawa et al., 2011).

Proses fermentasi dilakukan oleh mikroba dalam keadaan *anaerob* atau tanpa O₂. Mikroba memanfaatkan glukosa, xilosa, mannanosa, galaktosa, dan arabinosa dari hasil sakarifikasi untuk proses metabolisme yang akan menghasilkan produk sekunder (Kang & Lee, 2015). Fermentasi akan efektif dan efisien jika menggunakan mikroba yang sesuai (Chen et al., 2015). Mikroba yang biasanya digunakan untuk proses sakarifikasi dan fermentasi dalam kilang biomassa yaitu mikroba yang memiliki *piruvatdekarboksilase* (PDC) dan

alkoholdehidrogenase (ADH) (Kang & Lee, 2015).

Terdapat berbagai macam metode sakarifikasi dan fermentasi yang dapat dilakukan, yaitu sakarifikasi dan fermentasi secara terpisah (SFT), sakarifikasi dan fermentasi secara simultan (SFS), sakarifikasi dan kofermentasi secara simultan (SKS), serta bioproses terkonsolidasi (BT) (Gambar-3).



Gambar -3: Perbandingan proses perlakuan awal, sakarifikasi, dan fermentasi pada metode (a) SFT, (b) SFS, (c) SKS, dan (d) BT (Zheng et al., 2009)

Proses sakarifikasi dan fermentasi pada metode SFT dilakukan secara terpisah dengan kondisi yang berbeda (Idi & Mohamad, 2011; Li et al., 2014; Zheng et al., 2009). Sebaliknya, proses sakarifikasi dan fermentasi pada metode SFS dilakukan secara bersamaan/simultan dengan kondisi suhu ~38°C (antara suhu optimal sakarifikasi 45–50°C dan fermentasi 30°C) (Jung et al., 2013; Karimi & Taherzadeh, 2007; Yukyeong et al., 2012; Zheng et al., 2009). Sedangkan proses metode SKS menyerupai metode SFS namun menggunakan satu *strain* mikroba unggul dari hasil rekayasa genetik yang dapat mengkonversi heksosa dan pentosa sekaligus (Idi & Mohamad, 2011; Zheng et al., 2009). Dan metode BT lebih terintegrasi karena proses perlakuan awal, sakarifikasi dan fermentasi dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan asosiasi mikroba hasil rekayasa genetik dalam satu unit (Walker, 2010; Zheng et al., 2009).

Setiap metode sakarifikasi dan fermentasi memiliki kelebihan dan kelemahan. Metode SFT hanya membutuhkan unit kerja sederhana namun menghasilkan *inhibitor selulase* (Idi & Mohamad, 2011; Li et al., 2014; Zheng et al., 2009). Metode SFS memiliki keunggulan yakni penggunaan energi efisien, rendah kontaminasi, dan dapat mengatasi *inhibitor selulase*, namun membutuhkan lebih dari satu *strain* mikroba untuk mengkonversi heksosa dan pentosa menjadi etanol secara bersamaan (Jung et al., 2013; Karimi & Taherzadeh, 2007; Yukyeong et al., 2012;

Zheng et al., 2009). Metode SKS hadir untuk menyempurnakan kekurangan dari metode SFS karena dapat membuat proses fermentasi gula heksosa dan gula pentosa lebih efisien, namun lebih lama, mahal, dan sulit karena melibatkan rekayasa genetika pada mikroba yang akan digunakan (Idi & Mohamad, 2011; Zheng et al., 2009). Metode BT sebagai pengembangan lebih lanjut dari metode SKS dengan menjadikan proses perlakuan awal, sakarifikasi, dan fermentasi lebih efisien dalam satu unit, namun memiliki kekurangan seperti pada metode SKS (Walker, 2010; Zheng et al., 2009).

Pemrosesan Hilir

Pemrosesan hilir dilakukan sebagai langkah terakhir pada produk sekunder yang dihasilkan oleh mikroba selama proses fermentasi. Beberapa pemrosesan hilir yang dapat dilakukan yakni pengeringan, penghalusan, serta penyaringan dan teknologi membran (De Buck et al., 2020). Proses pengeringan dapat dilakukan dengan model penyemprotan tiga dimensi (Mezhericher et al., 2012) dan model pengeringan vakum yang dapat diterapkan pada bahan kayu keras (Redman et al., 2017). Proses penghalusan dapat dilakukan dengan model penggilingan waterjet abrasif (Auroux & Groza, 2017) dan model penggilingan rol jerami (Mateos-Salvador et al., 2011). Proses penyaringan dan teknologi membran dapat dilakukan dengan model pemblokiran untuk filtrasi membran (Tien et al., 2014), model fluks pervaporasi semi empiris (Ashraf et al., 2017), review pervaporasi untuk pemulihan produk (Vane, 2005), pemisahan membran biomassa hasil konversi enzim (Morthensen et al., 2018), serta pemulihan produk fenolik pekat melalui proses membran (Díaz-Reinoso et al., 2017).

PROSPEK MASA DEPAN PRODUK KILANG BIOMASSA DARI LIMBAH PERTANIAN DAN PERKEBUNAN

Beberapa produk yang dapat dihasilkan dari kilang biomassa limbah pertanian dan perkebunan, dalam hal ini lignoselulosa, yakni produk biokimia, biopestisida, biopromoter (Tengerdy & Szakacs, 2003), komponen bioaktif (Rodríguez et al., 2008), pakan ternak, resin, pupuk (Forster-Carneiro et al., 2013), bioetanol (Laopaiboon et al., 2009; Watkins, 2001), dan asam-asam organik (seperti asam laktat, suksinat, dan turunan gula lainnya) (Muruke et al., 2006).

Bioetanol dapat dijadikan sebagai bahan bakar ramah lingkungan, sedangkan asam laktat dapat menjadi bahan pembuatan plastik ramah lingkungan yang mudah terurai (Ogino et al., 2017). Bioetanol sebagai alternatif energi terbarukan memiliki predikat *clean energy*. Bioetanol mengandung 35% O₂ dan memiliki angka *oktan* yang relatif tinggi sekitar 112,5–114, sehingga hasil pembakarannya stabil yakni berupa CO₂ dan H₂O (Deenanath et al., 2012; Szulczyk et al., 2010). Pembakaran bioetanol dapat menurunkan 12% gas rumah kaca. Banyak negara-negara di dunia mulai menambahkan 5–10% v/v bioetanol dalam gasolin atau bensin untuk mengurangi ketergantungan pada petroleum dan meminimalisir dampak emisi gas CO yang beracun. Penambahan 3% bioetanol ke dalam bensin dapat menurunkan emisi CO menjadi 1,3% (Hill et al., 2006).

TANTANGAN DALAM PEGEMBANGAN KILANG BIOMASSA DARI LIMBAH PERTANIAN DAN PERKEBUNAN

Beragam analisa tantangan dalam pengembangan kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan di berbagai aspek dijabarkan dalam **Tabel-3**.

Tabel -3: Tantangan dalam pengembangan kilang biomassa dari limbah pertanian dan perkebunan

Aspek	Tantangan
Teknis	Hasil bahan baku dan komposisi biomassa: melibatkan genom tanaman, program pemuliaan dan rekayasa kimia dari sifat-sifat yang diinginkan.
	Teknologi canggih untuk pemanfaatan lignin: mengubah hetero-polimer fenolik pada lignin menjadi produk yang memiliki nilai tambah.
	Enzim yang efisien: kebutuhan untuk mengembangkan enzim yang lebih efisien dan efektif, terutama untuk konversi bahan lignoselulosa dari limbah pertanian dan perkebunan.
	Pabrik sel mikroba: kebutuhan untuk mengembangkan pabrik sel mikroba yang menghasilkan produk yang diinginkan dengan hasil tinggi dan produktivitas tinggi.
	Pengolahan dan logistik: mencakup pengembangan teknik pengangkutan bahan baku dengan biaya rendah, menetapkan teknik pengawetan untuk mengontrol modifikasi fisik dan kimiawi biomassa selama pemrosesan pra-konversi dan pengaturan jaringan

Aspek	Tantangan
	distribusi produk berbasis nabati yang dapat menggunakan infrastruktur yang ada.
Komersial dan Strategi	Masalah dengan integrasi ke dalam rantai nilai yang ada
	Perbedaan pendanaan
	Ketidakpastian pada bidang baru yang tidak konvensional.
	Ketidakmampuan untuk mendapatkan harga premium untuk produk berbasis nabati
Sustainabilitas	Motivasi untuk beralih ke produksi produk berbasis nabati
	Adanya perubahan tata guna lahan dan pengaruhnya terhadap emisi, ketahanan pangan, penurunan keanekaragaman hayati, dan kemungkinan perubahan dalam stok karbon di lahan tersebut

Untuk mengatasi tantangan ini, berbagai pemangku kepentingan perlu memainkan peran berbeda dalam proses industrialisasi sistem kilang biomassa. Pemerintah yang tertarik untuk mendukung kilang biomassa untuk perlindungan lingkungan dan ketahanan energi harus melakukan investasi yang signifikan dalam penelitian dan pengembangannya, rantai pasokan, infrastruktur distribusi, dan kapasitas konversi, sembari mengatur dengan hati-hati proses implementasi untuk memastikan keamanan pangan dan menghindari perubahan penggunaan lahan.

KESIMPULAN

Kilang biomassa menggabungkan berbagai perlengkapan dan proses untuk mengubah biomassa menjadi produk biokimia, biopestisida, biopromoter, komponen bioaktif, pakan ternak, resin, pupuk, bioetanol (energi baru terbarukan), dan asam-asam organik. Proses pembuatan kilang biomassa dimulai dari pemberian perlakuan awal, sakarifikasi dan fermentasi, kemudian dilanjutkan dengan pemrosesan hilir. Kilang biomassa merupakan pengembangan teknologi baru untuk menciptakan proses, produk, dan kemampuan baru dalam mencapai sustainabilitas dari perspektif ekonomi, lingkungan, dan sosial. Saat mengembangkan kilang biomassa di masa depan, penting bahwa metode dan teknik yang digunakan meminimalkan dampak terhadap lingkungan dan produk akhir benar-benar hijau dan berkelanjutan. Penggunaan bahan baku yang berkelanjutan tidak cukup untuk memastikan masa depan yang sejahtera bagi

generasi selanjutnya; perlindungan lingkungan dengan menggunakan metodologi yang lebih hijau juga diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K. (2006). Biomass Energy Potentials And Utilization In Indonesia. *Laboratory of Energy and Agricultural Electrification, Department of Agricultural Engineering, IPB and Indonesian Renewable Energy Society [IRES], Bogor.*, (October), 1–12.
- Agustian, A. (2015). Pengembangan Bioenergi di Sektor Pertanian: Potensi dan Kendala Pengembangan Bioenergi Berbahan Baku Ubi Kayu. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 13(1), 19–38.
<http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/akp/article/view/4220>
- Ashraf, M. T., Schmidt, J. E., Kujawa, J., Kujawski, W., & Arafat, H. A. (2017). One-dimensional modeling of pervaporation systems using a semi-empirical flux model. *Separation and Purification Technology*, 174, 502–512.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.10.043>
- Auroux, D., & Groza, V. (2017). Optimal parameters identification and sensitivity study for abrasive waterjet milling model. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 25(11), 1560–1576.
<https://doi.org/10.1080/17415977.2016.1273916>
- Axelsson, L., Franzén, M., Ostwald, M., Berndes, G., Lakshmi, G., & Ravindranath, N. H. (2012). Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers' experiences. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(3), 246–256.
<https://doi.org/10.1002/bbb>
- Badger, P. C. (2002). *Ethanol From Cellulose: A General Review*. 17–21.
- Boedoyo, M. S. (2015). *Prospek Pemanfaatan Bioethanol Sebagai Pengganti BBM di Indonesia* (Issue September 2014).
https://www.researchgate.net/profile/M_Boedoyo/publication/276412634_Prospek_Pemanfaatan_Bioethanol_Sebagai_Pengganti_BBM_di_Indonesia/links/557a8e0f08ae75363757086f/Prospek-Pemanfaatan-Bioethanol-Sebagai-Pengganti-BBM-di-Indonesia.pdf
- Brodeur, G., Yau, E., Badal, K., Collier, J., Ramachandran, K. B., & Ramakrishnan, S. (2011). Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass: A Review. *Enzyme Research*, 2011(March), 1–17.
<https://doi.org/10.4061/2011/787532>
- Budarin, V. L., Zhao, Y., Gronnow, M. J., Shuttleworth, P. S., Breeden, S. W., MacQuarrie, D. J., & Clark, J. H. (2011). Microwave-mediated pyrolysis of macroalgae. *Green Chemistry*, 13(9), 2330–2333.

- <https://doi.org/10.1039/c1gc15560a>
Bura, R., Mansfield, S. D., Saddler, J. N., & Bothast, R. J. (2002). SO₂-Catalyzed Steam Explosion of Corn Fiber for Ethanol Production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 98(1–9), 59–60. <https://doi.org/10.1385/ABAB:98-100:1-9:59>
- Cara, C., Ruiz, E., Ballesteros, M., Manzanares, P., Negro, M. J., & Castro, E. (2008). Production of fuel ethanol from steam-explosion pretreated olive tree pruning. *Fuel*, 87(6), 692–700. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.008>
- Chang, V. S. & Holtzapple, M. T. (2000). Affecting Biomass Enzymatic Reactivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84(1–9), 5–37. <https://doi.org/10.1385/ABAB:84-86:1-9:5>
- Chen, J., Bai, J., Li, H., Chang, C., & Fang, S. (2015). Prospects for Bioethanol Production from Macroalgae. *Trends in Renewable Energy*, 1(3), 185–197. <https://doi.org/10.17737/tre.2015.1.3.0016>
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51(7), 1412–1421. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.01.015>
- Dani, S., & Wibawa, A. (2018). Challenges and policy for biomass energy in Indonesia. *International Journal of Business, Economics, and Law*, 15(5), 41–47.
- De Buck, V., Polanska, M., & Van Impe, J. (2020). Modeling Biowaste Biorefineries: A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(February). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00011>
- Deenanath, E. D., Iyuke, S., & Rumbold, K. (2012). The Bioethanol Industry in Sub-Saharan Africa: History, Challenges, and The Bioethanol Industry in Sub-Saharan Africa: History, Challenges, and Prospects. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012(March), 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/416491>
- Díaz-Reinoso, B., Moure, A., González, J., & Domínguez, H. (2017). A membrane process for the recovery of a concentrated phenolic product from white vinasses. *Chemical Engineering Journal*, 327, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.088>
- European Commission. (2006). Biofuels in the European Union A vision for 2030 and beyond. In the *final report of the Biofuels Research Advisory Council*.
- Fang, X., Shen, Y., Zhao, J., Bao, X., & Qu, Y. (2010). Bioresource Technology Status and prospect of lignocellulosic bioethanol production in China. *Bioresource Technology*, 101(13), 4814–4819. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.050>
- Fauzi, A., & Oxtavianus, A. (2014). The Measurement of Sustainable Development in Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan*, 15(1), 68. <https://doi.org/10.23917/jep.v15i1.124>
- Fava, F., Totaro, G., Diels, L., Reis, M., Duarte, J., Carioca, O. B., Poggi-Varaldo, H. M., & Ferreira, B. S. (2015). Biowaste biorefinery in Europe: Opportunities and research & development needs. *New Biotechnology*, 32(1), 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2013.11.003>
- Feed, F., & Materials, B. C. (2007). IEA Bioenergy 29th update. *Biomass and Bioenergy*, 31(8), I–VII. [https://doi.org/10.1016/s0961-9534\(07\)00106-7](https://doi.org/10.1016/s0961-9534(07)00106-7)
- Forster-Carneiro, T., Berni, M. D., Dorileo, I. L., & Rostagno, M. A. (2013). Biorefinery study of availability of agriculture residues and wastes for integrated biorefineries in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 77, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.007>
- Goldemberg, J. (2014). *Ethanol for a Sustainable Energy Future*. November. <https://doi.org/10.1126/science.1137013>
- Hackl, R., & Harvey, S. (2010). *Opportunities for process integrated biorefinery concepts in the chemical cluster in Stenungsund*. 1–74.
- Hahn-Hägerdal, B., Galbe, M., Gorwa-Grauslund, M. F., Lidén, G., & Zacchi, G. (2006). Bioethanol - the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends in Biotechnology*, 24(12), 549–556. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2006.10.004>
- Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D. (2006). *Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels*. August. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604600103>
- Idi, A., & Mohamad, S. E. (2011). Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business Bioethanol From Second Generation Feedstock (Lignocellulose Biomass). *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, 3(8), 919–935. <http://www.journal-archives-13.webs.com/919-935.pdf>
- Jung, K. A., Lim, S. R., Kim, Y., & Park, J. M. (2013). Potentials of macroalgae as feedstocks for biorefinery. *Bioresource Technology*, 135(1), 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.025>
- Kamm, B., & Gruber, P. R. (2006). *Handbook of Fuels Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy* Bailey’s Industrial Oil and Fat

- Products Oil Refineries in the 21st Century. In *Biorefineries – Industrial Processes and Products* (Vol. 1).
- Kang, A., & Lee, T. S. (2015). Converting Sugars to Biofuels: Ethanol and Beyond. *Bioengineering*, 2(4), 184–203. <https://doi.org/10.3390/bioengineering2040184>
- Karimi, K., & Taherzadeh, M. J. (2007). Enzyme Based Hydrolysis Processes for Ethanol From Lignocellulosic Materials: a Review. In *BioResources* (Vol. 2, Issue 4). http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_2_4_707_738_Taherzadeh_Karimi_EnzymeBased_Hydrol_Ethanol_Review/81
- Katzen, R., & Schell, D. J. (2008). Lignocellulosic Feedstock Biorefinery: History and Plant Development for Biomass Hydrolysis. *Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions*, 1, 129–138. <https://doi.org/10.1002/9783527619849.ch6>
- Kementrian PPN, B. (2020). PEDOMAN TEKNIS PENYUSUNAN RENCANA AKSI TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN (TPB)/ SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGs). *PEDOMAN TEKNIS PENYUSUNAN RENCANA AKSI - EDISI II TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN/ SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (TPB/SDGs)*, 53(9), 21–25. <http://www.elsevier.com/locate/scp>
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(8), 3713–3729. <https://doi.org/10.1021/ie801542g>
- Laopaiboon, L., Nuanpeng, S., Srinophakun, P., Klanrit, P., & Laopaiboon, P. (2009). Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: Effects of carbon and nitrogen supplementations. *Bioresource Technology*, 100(18), 4176–4182. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.046>
- Li, K., Liu, S., & Liu, X. (2014). An overview of algae bioethanol production. *International Journal of Energy Research*, 38(8), 965–977. <https://doi.org/10.1002/er.3164>
- Liu, Z., & Eden, M. (2014). Biorefinery Principles, Analysis, and Design. *Sustainable Bioenergy Production*, April, 447–476. <https://doi.org/10.1201/b16764-27>
- Mateos-Salvador, F., Sadhukhan, J., & Campbell, G. M. (2011). The normalized Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. *Powder Technology*, 208(1), 144–157. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.12.013>
- Mezhericher, M., Levy, A., & Borde, I. (2012). Three-Dimensional Spray-Drying Model Based on Comprehensive Formulation of Drying Kinetics. *Drying Technology*, 30(11–12), 1256–1273. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.686136>
- Miranda, J. R., Passarinho, P. C., & Gouveia, L. (2012). Bioresource Technology Pre-treatment optimization of *Scenedesmus obliquus* microalga for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 104(1), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.059>
- Mohr, A., & Raman, S. (2013). Lessons from first-generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second-generation biofuels. *Energy Policy*, 63, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.033>
- Morthensen, S. T., Zeuner, B., Meyer, A. S., Jørgensen, H., & Pinelo, M. (2018). Membrane separation of enzyme-converted biomass compounds: Recovery of xylose and production of gluconic acid as a value-added product. *Separation and Purification Technology*, 194, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.031>
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96(6), 673–686. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>
- Muruke, M. H. S., Hosea, K. M., Pallangyo, A., & Heijthuisen, J. H. F. G. (2006). Production of lactic acid from waste sisal stems using a *Lactobacillus* isolate. *Discovery and Innovation*, 18(1), 5–10. <https://doi.org/10.4314/dai.v18i1.15719>
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). *Production of first and second-generation biofuels: A comprehensive review*. 14, 578–597. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- Nitayavardhana, S., Shrestha, P., Rasmussen, M. L., Lamsal, B. P., van Leeuwen, J. (Hans), & Khanal, S. K. (2010). Ultrasound improved ethanol fermentation from cassava chips in cassava-based ethanol plants. *Bioresource Technology*, 101(8), 2741–2747. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.075>
- Nurdyastuti, I. (2004). *Teknologi Proses Produksi Bio-Ethanol. Prospek Pengembangan Bio-Fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*. http://www.geocities.ws/markal_bppt/publish/biofbm/biindy.pdf
- Ogino, C., Kahar, P., Prasetya, B., & Kondo, A. (2017). *Bio-refinery Strategy for Fuel Production in Indonesia About Kobe and our University*. 8, 1–29.
- Petrova, P., & Ivanova, V. (2017). *Perspectives for*

- the Production of Bioethanol from Lignocellulosic Materials*. 2818(November). <https://doi.org/10.1080/13102818.2010.10817894>
- Processes, E. H., & Ethanol, F. O. R. (2007). *Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review* (Vol. 2).
- Ra, C. H., Kim, M. J., Jeong, G. T., & Kim, S. K. (2016). Efficient utilization of *Eucheuma denticulatum* hydrolysates using an activated carbon adsorption process for ethanol production in a 5-L fermentor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 40(3), 373–381. <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1705-7>
- Redman, A. L., Bailleres, H., Perré, P., Carr, E., & Turner, I. (2017). A relevant and robust vacuum-drying model applied to hardwoods. *Wood Science and Technology*, 51(4), 701–719. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0908-7>
- Rinaldi, R., & Schüth, F. (2009). Acid Hydrolysis of Cellulose as the Entry Point into Biorefinery Schemes. *ChemSusChem*, 2(12), 1096–1107. <https://doi.org/10.1002/cssc.200900188>
- Rodríguez, G., Lama, A., Rodríguez, R., Jiménez, A., Guillén, R., & Fernández-Bolaños, J. (2008). Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource Technology*, 99(13), 5261–5269. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.027>
- Song, H., Dotzauer, E., Thorin, E., & Yan, J. (2013). *Techno-economic analysis of an integrated biorefinery system for poly-generation of power, heat, pellet, and bioethanol*. <https://doi.org/10.1002/er>
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review q. *Bioresource Technology*, 83(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Szulczyk, K. R., Mccarl, B. A., & Cornforth, G. (2010). *Market penetration of ethanol*. 14, 394–403. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.007>
- Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(9), 1621–1651. <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>
- Tengerdy, R. P., & Szakacs, G. (2003). Bioconversion of lignocellulose in solid substrate fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13(2–3), 169–179. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00129-8](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00129-8)
- Tien, C., Ramarao, B. V., & Yasarla, R. (2014). A blocking model of membrane filtration. *Chemical Engineering Science*, 111, 421–431. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.01.022>
- Vane, L. M. (2005). A review of pervaporation for product recovery from biomass fermentation processes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80(6), 603–629. <https://doi.org/10.1002/jctb.1265>
- Veal, E. B., Romeo, D., & Thomsen, M. (2018). Biowaste Valorisation in a Future Circular Bioeconomy. *Procedia CIRP*, 69(May), 591–596. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.062>
- Walker, G. M. (2010). *Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol*. bookboon.com. <https://doi.org/10.1007/s10551-016-3169-8>
- WATKINS, K. (2001). Ethanol's Sunny Day. *Chemical & Engineering News*, 79(30), 21. <https://doi.org/10.1021/cen-v079n030.p021>
- Wiratmaja, I. G., Bagus, I. G., Kusuma, W., & Winaya, I. N. S. (2011). Pembuatan Etanol Generasi Kedua Dengan Memanfaatkan Limbah Rumput Laut *Eucheuma Cottonii* Sebagai Bahan Baku. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra*, 5(1), 75–84. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jem/article/view/2353>
- Wongjiewboot, I., Kongsadan, T., & Rice, A. (2010). *Ethanol Production From Rice Straw Using Ultrasonic Pretreatment* (Issue 2010 International Conference on Chemistry and Chemical Engineering (ICCCCE 2010)). <https://doi.org/10.1109/ICCCENG.2010.5560351>
- Xuan, T. D., Sakanishi, K., & Nakagoshi, N. (2015). *Biorefinery: Concepts, Current Status, and Development Trends BIOREFINERY: CONCEPTS, CURRENT STATUS, AND DEVELOPMENT TRENDS. January 2012*.
- Yanagisawa, M., Nakamura, K., Ariga, O., & Nakasaki, K. (2011). Production of high concentrations of bioethanol from seaweeds that contain easily hydrolyzable polysaccharides. *Process Biochemistry*, 46(11), 2111–2116. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.08.001>
- Yukyeong, J. J., Jeong, C. G., & Kim, S. (2012). *Optimization of saccharification and ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from seaweed, Saccharina japonica*. 11–18. <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0611-2>
- Zheng, Y., Pan, Z., & Zhang, R. (2009). Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2(3), 51–68. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2009.03.051-068>