

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kelapa Sawit

Indonesia merupakan negara yang kaya akan hasil perkebunannya. Salah satu perkebunan yang terdapat di Indonesia adalah kelapa sawit. Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit terluas kedua setelah Malaysia . Berdasarkan Direktorat Jendral Perkebunan luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia hingga tahun 2010 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas area perkebunan kelapa sawit

TAHUN	LUAS AREAL (Ha)			Jumlah
	Perkebunan Rakyat	Perkebunan Negara	Perkebunan swasta	
2001	1,561,031	609,947	2,542,457	4,713,435
2002	1,808,424	631,566	2,627,068	5,067,058
2003	1,854,394	662,803	2,766,360	5,283,557
2004	2,220,338	605,865	2,458,520	5,284,723
2005	2,356,895	529,854	2,567,068	5,453,817
2006	2,549,572	687,428	3,357,914	6,594,914
2007	2,752,172	606,248	3,408,416	6,766,836
2008	2,881,898	602,963	3,878,986	7,363,847
2009*)	3,013,973	608,580	3,885,470	7,508,023
2010**)	3,314,663	616,575	3,893,385	7,824,623

(Dirjen Perkebunan, 2011)

Sekitar 440.312 Ha di provinsi Lampung merupakan lahan kering yang sebagian besar dimanfaatkan untuk usaha tani perkebunan seperti lada, kopi, kakao, karet dan kelapa sawit. Pada tahun 2006 luas areal tanaman kelapa sawit sekitar 75.150 Ha, tersebar di Kabupaten Tulang Bawang, Lampung. Penyebaran perkebunan kelapa sawit di Lampung disajikan pada Gambar 1. Pengembangan produksi kelapa sawit diarahkan pada perluasan areal pertanaman, rehabilitasi dan intensifikasi. Usaha tani kelapa sawit di Lampung dilakukan oleh perusahaan perkebunan

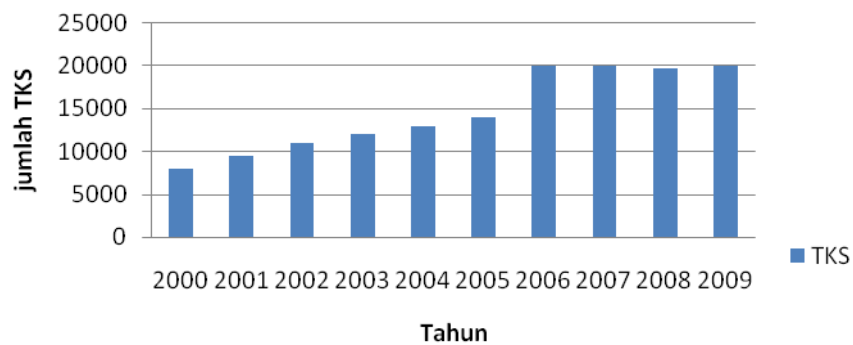


Gambar 1. Peta penyebaran lahan kelapa sawit di Lampung (Dirjen Perkebunan, 2012)

Semakin meluasnya perkebunan kelapa sawit mengharuskan dibangunnya pabrik-pabrik kelapa sawit di daerah yang berdekatan dengan perkebunan kelapa sawit. Dengan adanya pabrik-pabrik ini, menyebabkan banyaknya limbah yang dihasilkan dari proses produksi yang dijalankan di pabrik-pabrik tersebut. Aktivitas produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan limbah dalam volume sangat besar. Limbah yang dihasilkan dapat berupa padatan maupun cair. Salah satu dari limbah padat yang terbentuk adalah tandan kelapa sawit (TKS), dimana dari satu ton tandan buah segar akan dihasilkan minyak

sawit kasar sebanyak 0,21 ton (21 %) , minyak inti sawit sebanyak 0,05 ton (5%) dan sisanya merupakan limbah dalam bentuk tandan kosong sebanyak 0,23 ton (23%), serat dan cangkang biji yang masing – masing, 0,135 ton (13,5%) dan 0,055 ton (5,5%) (Darnoko, 1992).

Berdasarkan data Dirjenbun, potensi limbah TKS sangat besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik jumlah TKS tahun 2000-2009

Tandan kelapa sawit merupakan limbah utama berligniselulosa yang belum termanfaatkan secara optimal dari industri pengolahan kelapa sawit. Selama ini pengolahan TKS oleh PKS masih sangat terbatas yaitu dibakar dalam *incinerator*, ditimbun (*open dumping*), dijadikan mulsa di perkebunan kelapa sawit, atau diolah menjadi kompos. Padahal tandan kelapa sawit berpotensi untuk dikembangkan menjadi barang yang lebih berguna, salah satunya menjadi bahan baku furfural. Hal ini TKS banyak mengandung hemiselulos yang dapat dihirolisis menjadi pentosan kemudian didehidrasi menjadi furfural. Adapun komposisi TKS disajikan pada Tabel 2.

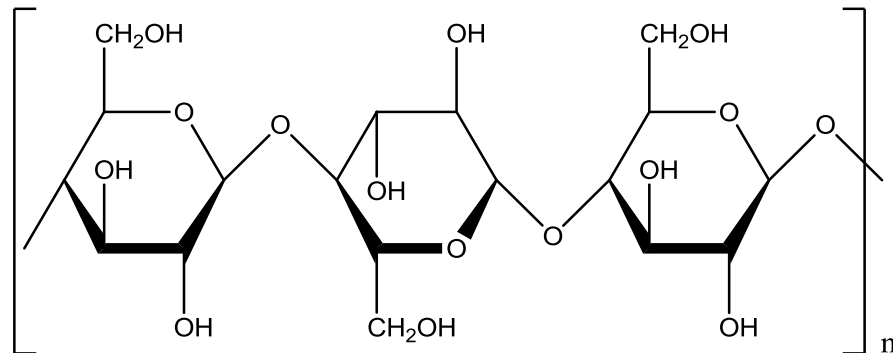
Tabel 2. Komposisi tandan kosong sawit (TKS)

Komposisi TKS	Dasar Kering (%)		
	Aryafatta (2008)	Hermiati, dkk (2010)	<i>Dian Anggraini dan Han Roliadi, 2011</i>
Selulosa	45,95	41,30 – 46,50	43-44
Hemiselulosa	22,84	25,30 – 33,80	34
Lignin	16,49	27,60 – 32,50	17-20
Abu	1,23	-	0,7-4,0
N	0,53	-	-
Minyak	2,41	-	-

B. Selulosa

Selulosa adalah polimer tak bercabang dari glukosa yang dihubungkan melalui ikatan beta 1,4 atau 1,4- β -glukosida. Selulosa merupakan jenis polisakarida yang paling melimpah pada hampir setiap struktur tanaman. Kandungan selulosa kayu berkisar 48 – 50%, pada bagas berkisar antara 50 – 55% dan pada tandan kelapa sawit sekitar 45%. Selulosa dapat dihidrolisis dengan asam kuat maupun dengan enzim selulosa. Selain itu juga bisa dihidrolisis oleh mikroba seperti bakteri dan kapang. Hidrolisis sempurna akan menghasilkan glukosa dan hidrolisis tidak sempurna menghasilkan disakarida berupa selobiosa (Winarno, 1980). Hasil hidrolisis ini dapat dikonversi menghasilkan etanol dan asam asetat. Selulosa adalah salah satu komponen utama dari ligniselulosa yang terdiri dari unit monomer D-glukosa yang terikat pada ikatan

1,4-glikosidik (Anindyawati,2009). Adapun struktur selulosa disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur senyawa selulosa

Sumber utama selulosa ialah kayu, umumnya kayu mengandung sekitar 50% selulosa, bersama dengan penyusun lainnya, seperti lignin. Pemisahan selulosa dari kayu melibatkan pencernaan kayu dengan larutan belerang dioksida dan hidrogen sulfit (bisulfit) dalam air pada proses sulfit, atau larutan natrium Hidroksida dan natrium sulfida dalam air pada proses sulfat (proses Kraft). Pada kedua proses ini lignin dilarutkan sehingga diperoleh selulosa. Sumber lain selulosa ialah kapas yang hampir seluruhnya memang selulosa. Ekstraksi dilakukan dengan mereaksikannya dengan larutan natrium hidroksida di bawah tekanan, yang kemudian dilanjutkan dengan pengelantangan dengan gas klor atau kalsium hipoklorit (Cowd, 1991).

Sifat serat selulosa adalah memiliki kekuatan tarik yang tinggi, mampu membentuk jaringan, tidak mudah larut dalam air, alkali dan pelarut organik, relatif tidak berwarna, memiliki kemampuan mengikat yang lebih kuat (Harsini

dan Susilowati, 2010). Selulosa berperan besar dalam memberikan kekuatan tarik sedangkan lignin memberi kekuatan tekan dan mencegah pelipatan mikrofibril. Selulosa dan lignin diikat dengan hemiselulosa. Gugus fungsional dari gugus selulosa adalah gugus hidroksil. Gugus hidroksil selulosa menyebabkan permukaan selulosa menjadi hidrofilik. Struktur rantai selulosa distabilkan oleh ikatan hidrogen yang kuat di sepanjang rantai. Di dalam selulosa alami dari tanaman, rantai selulosa diikat bersama-sama membentuk mikrofibril yang sangat terkristal (*highly cristalline*) dimana setiap rantai selulosa diikat bersama-sama oleh ikatan hidrogen (Dewi, 2011).

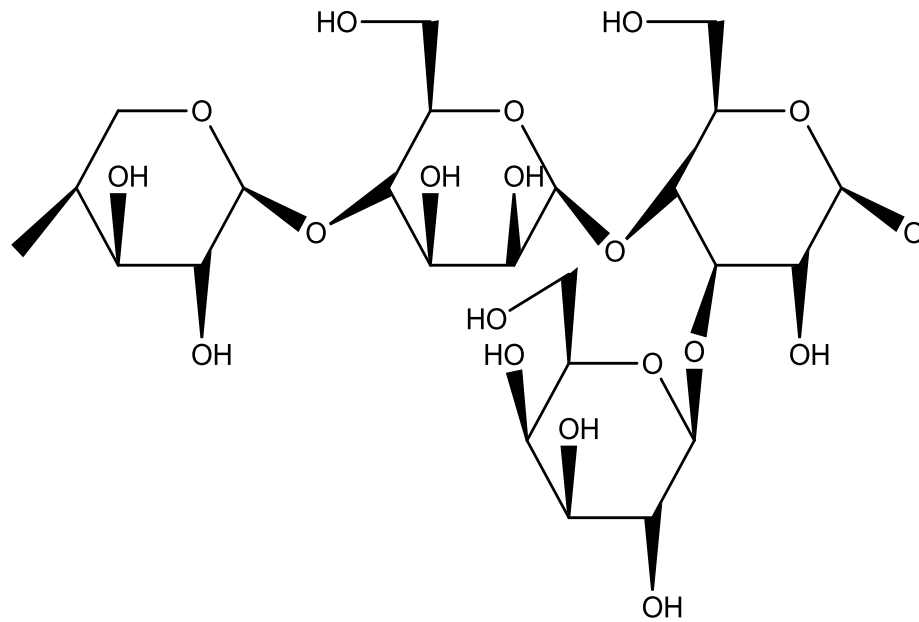
Ditinjau dari strukturnya, dapat saja diharapkan selulosa mempunyai kelarutan yang besar dalam air, karena banyak kandungan gugus hidroksil yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan air (interaksi yang tinggi antara pelarut-terlarut). Akan tetapi kenyataannya tidak demikian, dan selulosa bukan hanya tak larut dalam air tetapi juga dalam pelarut lain. Penyebabnya ialah kekakuan rantai dan tingginya gaya antar-rantai akibat ikatan hidrogen antar gugus hidroksil yang berdekatan. Faktor ini dipandang menjadi penyebab kekristalan yang tinggi dari serat selulosa (Cowd, 1991).

C. Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah polimer polisakarida heterogen tersusun dari pentosan ($C_5H_8O_4$) dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$). Hemiselulosa pada kayu berkisar antara 20-30%. Dilihat dari strukturnya, selulosa dan hemiselulosa mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penjerap, karena gugus OH yang

terikat dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Adanya gugus OH, pada selulosa dan hemiselulosa menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben tersebut. Dengan demikian selulosa dan hemiselulosa lebih kuat menjerap zat yang bersifat polar dari pada zat yang kurang polar (Sukarta, 2008).

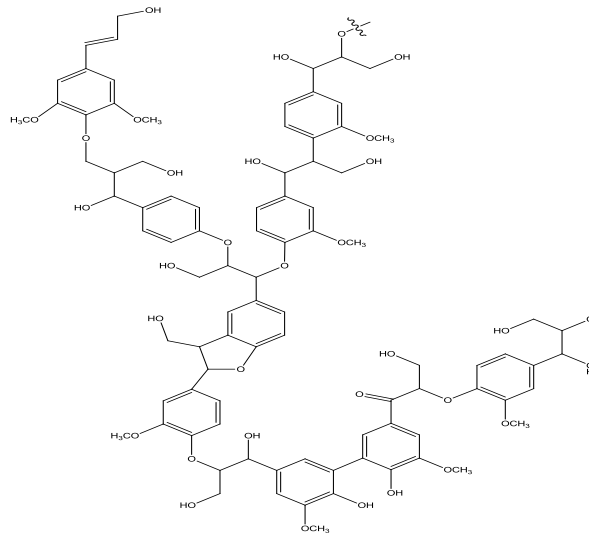
Hemiselulosa bersifat non-kristalin dan tidak bersifat serat, mudah mengembang, karena itu hemiselulosa sangat berpengaruh terhadap bentuknya jalinan antara serat pada saat pembentukan lembaran, lebih mudah larut dalam pelarut alkali dan lebih mudah dihidrolisis dengan asam. Perbedaan hemiselulosa dengan selulosa yaitu hemiselulosa mudah larut dalam alkali tapi sukar larut dalam asam, sedang selulosa adalah sebaliknya. Hemiselulosa juga bukan merupakan serat-serat panjang seperti selulosa. Hasil hidrolisis selulosa akan menghasilkan D-glukosa, sedangkan hasil hidrolisis hemiselulosa akan menghasilkan D-xilosa dan monosakarida lainnya. Adanya hemiselulosa mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk melunakkan serat selama proses mekanis dalam air. Hemiselulosa berfungsi sebagai pendukung dinding sel dan berlaku sebagai perekat antar sel tunggal yang terdapat didalam batang pisang dan tanaman lainnya. Hemiselulosa memiliki sifat non-kristalin dan bukan serat, mudah mengembang, larut dalam air, sangat hidrofolik, serta mudah larut dalam alkali. Kandungan hemiselulosa yang tinggi memberikan kontribusi pada ikatan antar serat, karena hemiselulosa bertindak sebagai perekat dalam setiap serat tunggal. Pada saat proses pemasakan berlangsung, hemiselulosa akan melunak, dan pada saat hemiselulosa melunak, serat yang sudah terpisah akan lebih mudah menjadi berserabut (Oktarina, 2009).



Gambar 4. Struktur senyawa hemiselulosa (-Xylosa- β (1,4)-Mannosa- β (1,4)-Glukosa- α (1,3)-Galaktosa-)

D. Lignin

Lignin, suatu konstituen utama kayu, merupakan polimer fenol yang rumit yang mempunyai kemiripan superficial dengan damar-damar fenol sintesis. Kayu hampir seluruhnya terdiri dari tiga bahan: polisakarida, selulosa dan hemiselulosa, dan lignin. Sebanyak 25- 30% dari kayu adalah lignin, lignin merupakan polimer yang sangat melimpah yang mesti mencapai potensinya berkaitan dengan aplikasi-aplikasi polimer. Saat ini sebagian besar lignin yang diproduksi dalam operasi-operasi pembuburan kayu dibakar sebagai bahan bakar pada tempat pembuburan. Struktur lignin bervariasi menurut sumbernya., tetapi suatu pendekatan dari segmen lignin kayu lunak mengilustrasikan kompleksitasnya seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur senyawa lignin (Gregory, 2007)

E. Pemanfaatan TKS

Limbah terbanyak dari produksi kelapa sawit adalah TKS , 23% dari satu ton tandan segar kelapa sawit. Limbah TKS yang ada dimanfaatkan sebagai alternatif pupuk organik yang juga akan memberikan manfaat lain dari sisi ekonomi. Beberapa alternatif pemanfaatan TKS yang dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Pupuk Kompos

Pupuk kompos merupakan bahan organik yang telah mengalami proses fermentasi atau dekomposisi yang dilakukan oleh micro-organisme. Pada prinsipnya pengomposan TKS untuk menurunkan nisbah C/N yang terkandung dalam tandan agar mendekati nisbah C/N tanah. Nisbah C/N yang mendekati nisbah C/N tanah akan mudah diserap oleh tanaman.

2. Pupuk Kalium

TKS sebagai limbah padat dapat dibakar dan akan menghasilkan abu tandan. Abu tandan tersebut ternyata memiliki kandungan 30-40% K_2O , 7% P_2O_5 , 9% CaO , dan 3% MgO . Selain itu juga mengandung unsur hara mikro yaitu 1.200 ppm Fe, 100 ppm Mn, 400 ppm Zn, dan 100 ppm Cu. Sebagai gambaran umum bahwa pabrik yang mengolah kelapa sawit dengan kapasitas 1200 ton TBS per hari akan menghasilkan abu tandan sebesar 10,8% per hari. Setara dengan 5,8 ton KCL; 2,2 ton kiersit; dan 0,7ton TSP. dengan penambahan polimer tertentu pada abu tandan dapat dibuat pupuk butiran berkadar K_2O 30-38% dengan pH 8 – 9.

3. Bahan Serat

TKS juga menghasilkan serat kuat yang dapat digunakan untuk berbagai hal, diantaranya serat berkaret sebagai bahan pengisi jok mobil dan matras, polipot (pot kecil), papan ukuran kecil dan bahan pengepak industri.

4. Papan partikel

Pemanfaatan TKS paling potensial adalah untuk pembuatan papan partikel. Tandan kelapa sawit memiliki kadar selulosa tinggi, yaitu 67,88% holoselulosa dan 38,76% α -selulosa dengan kadar serat 72,67%. Papan partikel memiliki kelebihan dibandingkan papan lapis, yakni mampu meredam suara. Cara pembuatan papan partikel dari TKS sangat mudah. Gunakan mesin perajang untuk memotong serat sawit menjadi kecil-kecil. Rajangan tandan kelapa sawit yang keluar dari mesin itu masih mengandung

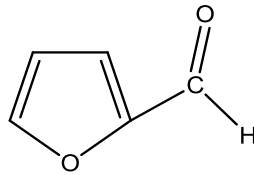
kadar air 73%, minyak 9%, dan kotoran sehingga perlu dipres. Setelah rajangan dipres menggunakan mesin kempa tipe ulir, kadar air dan kadar minyak berkurang menjadi 36% dan 7%. Proses belum berakhir karena TKS perlu dijemur untuk menurunkan kadar air hingga 10%. Dalam pembuatan papan dibutuhkan perekat, seperti 8% lateks, 10% lem kanji, atau 12% polivinil akrilik.

5. Pulp

Pulp atau bubur kertas merupakan serat berwarna putih yang diperoleh melalui proses penyisihan lignin dari biomassa. (Jalaluddin, 2005). Pulp dapat diolah dengan lebih lanjut menjadi kertas, rayon, selulosa asetat dan turunan selulosa yang lain. Sebagai bahan baku pulp dipakai bahan baku jerami dan merang dan meningkat menjadi bahan baku bambu, ampas, tebu, pohon kapas, serat dan jenis rumput – rumputan.

6. Furfural

Furfural ($C_5H_4O_2$) atau sering disebut dengan 2-furankarboksaldehid, furaldehid, furanaldehid, 2-Furfuraldehid, merupakan senyawa organik turunan dari golongan furan. Gambar 6 menunjukkan struktur molekul dari furfural. Senyawa ini berfasa cair berwarna kuning hingga kecoklatan dengan titik didih $161,7^{\circ}C$, densitas ($20^{\circ}C$) adalah $1,16 \text{ g/cm}^3$. Furfural merupakan senyawa yang kurang larut dalam air namun larut dalam alkohol, eter, dan benzena.



Gambar 6. Struktur senyawa furfural

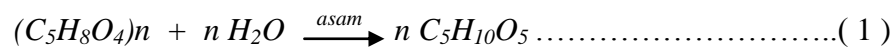
Furfural memiliki aplikasi yang cukup luas terutama untuk mensintesis senyawa-senyawa turunannya. Di dunia hanya 13% saja yang langsung menggunakan furfural sebagai aplikasi, selebihnya disintesis menjadi produk turunannya. Tabel 3 menunjukkan beberapa aplikasi furfural di dunia. Selain itu furfural juga memiliki beberapa manfaat antara lain sebagai berikut :

- Bahan baku pada pembuatan resin, terutama jenis fenol aldehid untuk pembuatan plastik.
- Pelarut selektif untuk memisahkan senyawa dalam minyak petroleum, minyak gas, bahan baker diesel, minyak nabati, dll.
- Bahan dasar pembuatan turun-turunan furan pada industri pabrik kimia (fural alkohol, tetrafural alkohol, tetrahidro furan)
- Berguna untuk destilasi ekstraktif/ penyaringan butadiena dan 4 karbon lain pada industri karet sintetis.
- Sebagai bahan baku fungisida

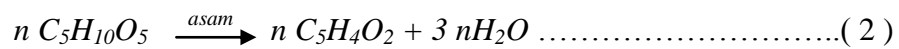
Furfural dihasilkan dari biomassa lewat dua tahap reaksi, yaitu hidrolisis dan dehidrasi. Untuk itu digunakan bantuan katalis asam, misalnya: asam sulfat, dan lain-lain. Secara komersial, pembuatan Furfural dapat berlangsung dalam siklus batch maupun kontinyu.

Reaksi utama pembuatan Furfural adalah sebagai berikut :

- Hidrolisis pentosan menjadi pentosa :



- Dehidrasi pentosa membentuk Furfural :



Tabel 3. Aplikasi furfural di dunia

Furfural				
Industri	Produk sintesis organik	Kedokteran	Pelarut Selektif	Pertanian
Cat dan pernis	Furanol	Nitrofuran	Purifikasi minyak sayur	Herbisida
Plastic, Resin, Serat Sintetik	Dihidro piran	Furamono		Fungisida
Nylon	Tetrahidropiran	Peristone	Purifikasi asam lemak	Insektisida
Polimer furanol	Piridin	5-nitro-2-furaldehid		
Phenol-Furfural resin	Pentanadiol	semicorbazon	Isolasi butadiena	Bakterisida
Polimer asam furiakrilat	Minyak pelumas			Disinfektan
	Piperilen			
	Butanol			Pengawet
	Furan			

Saat memproduksi furfural juga terdapat produk samping yang dihasilkan. Jenis hasil samping tersebut dapat berupa glukosa, asam asetat, atau panas. Jenis hasil samping tersebut tergantung pada kondisi operasi yang digunakan serta cara pemisahan yang dilakukan untuk setiap produk.

F. Refluks

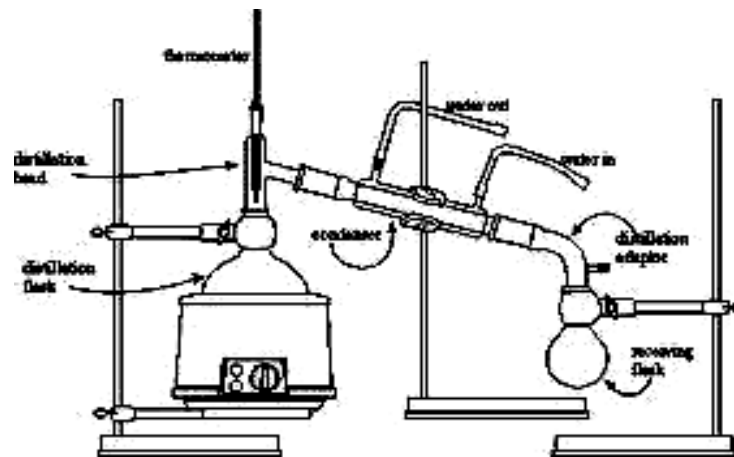
Refluks merupakan teknik laboratorium yang dilakukan dengan cara mendidihkan campuran cairan dalam wadah yang disambungkan dengan pendingin (kondensor) sehingga uap dari cairan akan mengembun pada kondensor dan jatuh kembali ke dalam wadah. Teknik ini digunakan untuk reaksi yang berlangsung dalam waktu lama, seperti sintesis senyawa organik (Fieser, 1957).

G. Distilasi Uap

Distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) suatu bahan. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sampai menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu (Choi and Hong, 1999; Pudjaatmaka dan Qodratillah, 2004).

Distilasi uap adalah istilah yang secara umum digunakan untuk distilasi campuran air dengan senyawa yang tidak larut dalam air, dengan cara mengalirkan uap air ke dalam campuran sehingga bagian yang dapat menguap

berubah menjadi uap pada temperatur yang lebih rendah dari pada dengan pemanasan langsung. Untuk distilasi uap, labu yang berisi senyawa yang akan dimurnikan dihubungkan dengan labu pembangkit uap seperti terlihat pada Gambar 7.



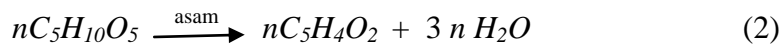
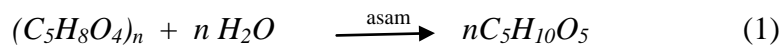
Gambar 7. Rangkaian alat destilasi uap

Uap air yang dialirkan ke dalam labu yang berisi senyawa yang akan dimurnikan, dimaksudkan untuk menurunkan titik didih senyawa tersebut, karena titik didih suatu campuran lebih rendah dari pada titik didih komponen-komponennya (Anonym, 2013).

H. Hidrolisis Asam

Hidrolisis asam merupakan tahapan paling penting dalam pembentukan furfural dari lignoselulos yang terdapat pada TKS. Pembentukan furfural ini melalui dua tahap reaksi, reaksi pertama hidrolisis pentosan atau hemiselulosa

menjadi pentosa dan dilanjutkan dengan reaksi kedua yaitu dehidrasi pentosa membentuk furfural.



pada proses hidrolisis, pentosa merupakan produk antara dan tidak semuanya akan menjadi furfural. Sehingga pada akhir hidrolisis, dalam hidrolisat juga dapat terkandung senyawa organik lainnya seperti metanol (Brownlee, 1948)

Pada proses hidrolisis hemiselulosa, pentosan mengalami dekomposisi menjadi pentose. Selanjutnya pentose terdehidrasi menjadi furfural. Hidrolisis hemiselulosa dapat dilakukan secara enzimatik atau dengan penggunaan katalis asam (Zeitsch, 1990). Namun proses yang umum dilakukan dalam produksi furfural adalah hidrolisis dengan asam.

Hidrolisis dengan asam encer pada berbagai konsentrasi, temperatur dan waktu bertujuan untuk mengkonversi hemiselulosa sebanyak-banyaknya tanpa merusak selulosa. Temperatur dan konsentrasi asam merupakan faktor penting pada hidrolisis. Hidrolisis hemiselulosa dengan asam encer akan menghasilkan tiga jenis monosakarida yaitu xyloza, arabinosa dan glukosa. Dari ketiga jenis gula ini, xyloza dan arabinosa merupakan komponen terbesar. Rendahnya kadar glukosa dalam filtrate menunjukkan bahwa tidak terjadi hidrolisis selulosa (Darnoko, 1992).

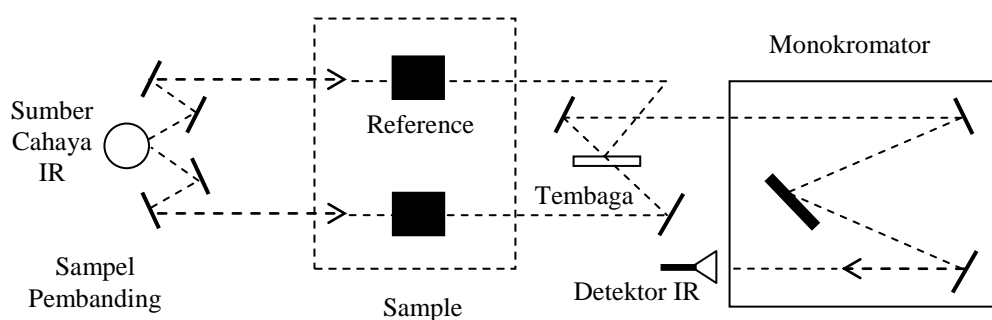
Asam sulfat lebih sering digunakan sebagai katalis pada industri furfural. Karena asam sulfat merupakan asam kuat yang tidak mudah menguap, sehingga kontak dengan partikel bahan baku akan lebih lama (Krik dan Othmer, 1969). Penggunaan asam sulfat cukup efektif untuk menghilangkan hemiselulosa tanpa merusak selulosanya. Jumlah asam sulfat yang sering digunakan sekitar 2-4% dari berat bahan baku. Jumlah ini dapat menutupi 1% dari seluruh permukaan partikel bahan baku (Medeiros, 1985).

Pembentukan furfural juga dapat dilakukan dengan menggunakan katalis asam klorida (HCl). Tetapi HCl jarang sekali digunakan karena mudah menguap dan sangat korosif. Penggunaan asam klorida sebagai katalis memberi konversi hemiselulosa lebih baik dibandingkan dengan asam sulfat (Fadjarwaty dan Susanto, 2000). Hal ini dikarenakan HCl mempunyai tingkat keasaman lebih besar dibanding H_2SO_4 dan lebih mudah melepas ion H^+ . Ion H^+ inilah yang diperlukan dalam proses hidrolisis. Proses hidrolisis dengan katalis asam yang selama ini telah dilakukan menghasilkan hidrolisat dengan kandungan furfural sekitar 8-10g/L. pada konsentrasi ini, furfural dari hidrolisat dapat dipisahkan dengan distilasi azeotrop menjadi dua lapisan yaitu lapisan air dan lapisan furfural. Untuk mendapatkan furfural murni dilakukan dengan distilasi vakum terhadap lapisan kaya furfural

I. Spektrofotometri (IR)

Spektroskopi merupakan ilmu yang mempelajari tentang cara menganalisis spektrum suatu senyawa dan interaksi antara energi cahaya dan materi (Anwar

dkk, 1994). Teknik spektroskopi dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur suatu senyawa dan mempelajari karakteristik ikatan dari suatu senyawa tersebut karena senyawa akan menyerap energi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Fessenden, 1999). Metode spektroskopi yang dipakai pada penelitian ini adalah spektroskopi inframerah (IR). Berikut adalah gambar instrumentasi inframerah yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Komponen instrumentasi spektrofotometer inframerah

Pada spektroskopi inframerah (IR), senyawa organik akan menyerap berbagai frekuensi radiasi elektromagnetik inframerah. Radiasi yang terserap menyebabkan molekul dari senyawa bervibrasi dan energi vibrasi yang timbul diukur oleh detektor, sehingga energi vibrasi dari gugus fungsi tertentu akan menghasilkan frekuensi yang spesifik. (Supriyanto, 1999).

Pada pengukuran senyawa organik, lazimnya digunakan daerah $650\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$. Daerah di bawah frekuensi 650 cm^{-1} dinamakan daerah inframerah jauh dan daerah di atas frekuensi 4000 cm^{-1} dinamakan inframerah dekat (Sudjadi, 1983). Daerah antara $1400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi yang

disebabkan oleh vibrasi uluran. Daerah antara 1400-700 cm^{-1} (daerah sidik jari) seringkali sangat rumit karena menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh vibrasi uluran dan tekukan (Fessenden, 1999). Karakteristik frekuensi uluran beberapa gugus molekul ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik frekuensi uluran beberapa gugus molekul

Gugus	Serapan (cm^{-1})	Keterangan
N – H	3500-3300	Amina
O – H	3500-3200	Alkohol
C – H	3100-3000	Alkena
	3300	Alkuna
	3000-2850	Alkana
C = C	1680-1640	Alkena
C=O	1760-1665	Aldehi, keton, ester
C – O – C	1200-1100	Eter

Sumber : Banwell, 1994.

J. Spektroskopi UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis umumnya digunakan untuk melihat panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) yang diserap oleh suatu senyawa. Spektrum absorpsi dalam daerah-daerah ultraviolet dan sinar tampak umumnya terdiri dari satu atau beberapa pita absorpsi. Semua molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV-Vis karena mengandung elektron yang dipakai bersama maupun yang tidak dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi. Secara teoritis λ_{maks} furfural murni adalah 276 nm (Othmar, 1980).

K. Spektroskopi Masa (MS)

Spektrometer massa adalah suatu instrumen yang dapat menyeleksi molekul-molekul gas bermuatan berdasarkan massa atau beratnya. Spektrum massa memberikan informasi berat molekul yang berguna untuk mengidentifikasi rumus bangun molekul bersama spektrum IR dan NMR. Metode spektroskopi massa didasari pada perubahan komponen sampel menjadi ion-ion dan misahkannya berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e). Untuk memperoleh spektrum massa, senyawa yang terdapat didalam sampel diubah menjadi ion-ion yang bergerak cepat yang dipisahkan berdasarkan perbandingan massa dan muatan (Hendayana, 1994).

Dalam spektroskopi masa suatu contoh dalam keadaan gas dibombardir dengan elektron yang berenergi cukup tinggi yang menghasilkan sebuah elektron dari molekul itu dan terbentuknya suatu ion organik. Ion organik yang dihasilkan tidak stabil dan pecah menjadi fragmen kecil baik berbentuk radikal maupun ion-ion lain yang akan terdeteksi dalam spektrometer masa. Spktrum masa adalah alur kelimpahan berbanding dengan nisbah masa dari fragmen-fragmen tersebut (Fessenden dan Fessenden, 1999).