

EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SELULOSA DARI TANDAN KOSONG SAWIT SERTA PEMANFAATANNYA UNTUK PRODUKSI SELULOSA ASETAT

Eka Nuryanto, Basuki Wirjosentono¹⁾, Tjahjono Herawan, dan Harry Agusnar¹⁾

Abstrak Pada proses produksi *Crude Palm Oil* (CPO), Tandan Kosong Sawit (TKS) merupakan limbah padat terbanyak yaitu sekitar 20% dari jumlah Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang diolah. Pemanfaatan TKS saat ini adalah langsung disebarkan di kebun sebagai mulsa atau dibuat kompos terlebih dahulu. TKS terdiri atas komponen utama selulosa, sehingga TKS dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produk berbasis selulosa, seperti pulp maupun bahan-bahan turunan selulosa seperti selulosa nitrat, selulosa asetat, metilselulosa, dan sebagainya. Ekstraksi selulosa dari TKS dilakukan dengan menggunakan NaOH 2 M pada suhu reaksi 170°C dan waktu 90 menit. Pemutihan produk pulp yang diperoleh dilakukan dengan penambahan hidrogen peroksida. Asetilasi selulosa dari TKS dilakukan dengan mereaksikan 30 g selulosa yang diperoleh hasil ekstraksi dari TKS dengan 15 mL asam asetat anhidrat dan 200 mL asam sulfat 0,25 N. Campuran ini dipanaskan pada suhu 40 dan 50°C dan waktu reaksi 0, 10, 20, 30, dan 40 menit. Hasil ekstraksi selulosa dari TKS pada kondisi reaksi ini memberikan perolehan selulosa sebesar 63,15%. Pita-pita serapan yang muncul pada spektrum FTIR selulosa dari TKS sama dengan pita-pita serapan selulosa standar dari SIGMA. Asetilasi selulosa dari TKS telah dapat dilakukan ditandai dengan adanya kandungan asetil 43,05% pada suhu 40°C selama 20 menit waktu reaksi. Spektrum FTIR selulosa asetat dari TKS sangat berbeda dengan spektrum FTIR selulosa dari TKS. Sementara itu spektrum FTIR

selulosa asetat dari TKS sama persis dengan spektrum FTIR selulosa asetat standar dari SIGMA.

Kata kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit, selulosa, selulosa asetat, asetilasi.

Abstract In the production process *Crude Palm Oil* (CPO), *Empty Fruit Bunch* (EFB) is the most solid waste is about 20 % of the amount of *Fresh Fruit Bunches* (FFB) of oil palm cultivation. Utilization of EFB is currently as mulch or as compost. EFB contains of the main components of cellulose, so EFB can be used as raw material for cellulose-based products, such as pulp and cellulose derivative materials as cellulose nitrate, cellulose acetate, methylcellulose, and etc. Extraction of cellulose from EFB performed using NaOH 2 M at a temperature of 170°C and the reaction time of 90 minutes, bleaching pulp products made by the addition of hydrogen peroxide. Acetylation of cellulose of EFB was obtained by reacting 30 g cellulose extracted from EFB with 15 mL acetic acid anhydride and 200 mL sulfuric acid 0.25 N, mixture is heated at a temperature of 40 and 50°C and the reaction time of 0, 10, 20, 30, and 40 minutes. Results of cellulose extraction from EFB on the reaction conditions providing for cellulose yield of 63.15%. Absorption bands that appear in the FTIR spectrum of cellulose from EFB same exactly with the standard cellulose from SIGMA. Acetylation cellulose of EFB can be done has been characterized by the presence of an acetyl content of 43.05 % at a temperature of 40°C for 20 min reaction time. FTIR spectra of cellulose acetate is very different with spectra of cellulose from EFB. Meantime FTIR spectra of cellulose acetate from EFB same exactly with the FTIR spectrum of cellulose acetate standard from SIGMA.

Keywords: Oil Palm, Empty Fruit Bunch, cellulose, cellulose acetate, acetylation

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Eka Nuryanto (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email : eka_nuryanto_ppks@yahoo.com

¹⁾ Jurusan Kimia – FMIPA, Universitas Sumatera Utara

PENDAHULUAN

Perkembangan areal tanaman kelapa sawit di Indonesia sangat pesat, dan diperkirakan pada tahun 2011 luas areal perkebunan kelapa sawit Indonesia mencapai lebih dari 8,9 juta ha (Amalia et al., 2012). Semakin luasnya perkebunan kelapa sawit ini akan diikuti dengan peningkatan produksi minyak kelapa sawit / *Crude Palm Oil* (CPO) dan jumlah limbah cair maupun padat yang dihasilkan. Pada proses produksi CPO, Tandan Kosong Sawit (TKS) merupakan limbah padat terbanyak yaitu sekitar 20 % dari jumlah Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang diolah. Untuk Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dengan kapasitas olah 30 ton TBS per jam dengan 20 jam kerja per hari, maka akan diperoleh TKS sebanyak 120 ton per hari (Naibaho, 1998). Suatu jumlah yang sangat banyak dan jika tidak dikelola dengan baik, akan menjadi sumber pencemaran lingkungan.

Pada masa lalu, TKS ini dibakar di insinerator dan abunya dimanfaatkan sebagai pengganti pupuk kalium. Namun saat ini pemerintah sudah melarang pembakaran TKS ini karena menimbulkan polusi udara sesuai dengan Kep. Men. Lingkungan Hidup No.13 Tahun 2009. Pemanfaatan TKS saat ini umumnya langsung disebarkan di kebun sebagai mulsa atau dibuat kompos terlebih dahulu. Saat ini banyak peneliti yang mencoba memanfaatkan TKS sebagai bahan yang bernilai tambah seperti Abdullah et al. (2011) dan Piarpuzan et al. (2011) yang memanfaatkan TKS sebagai bahan bakar. Sedangkan Mohd. Salleh et al. (2010) telah melakukan gasifikasi terhadap TKS dan Zainan et al. (2011) memanfaatkan TKS sebagai bahan untuk pembuatan senyawa golongan gula. Serat TKS dapat juga dijadikan sebagai bahan pengisi untuk *High Density Poly Ethylene* (HDPE) seperti dilaporkan oleh Eluwono et al. (2011).

Apabila ditinjau dari kandungan komponen kimiawi yang terdapat di dalam TKS, maka TKS terdiri atas komponen-komponen utama selulosa 34,26%, hemiselulosa 25,65% dan lignin 19,41% (Padil et al., 2011). Sehingga TKS dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produk berbasis selulosa dan turunannya. Marikena et al. (2007) dan Gert et al. (2003) menginformasikan penggunaan TKS sebagai bahan baku selulosa nitrat, sementara itu Heydarzadeh et al. (2009) melaporkan penggunaan selulosa untuk pembuatan *Carboxy Methyl Cellulose* (CMC).

Selulosa dapat diasetilasi menghasilkan selulosa diasetat atau triasetat. Secara kimia selulosa asetat merupakan produk dari reaksi asetilasi parsial selulosa dengan asam asetat anhidrida dengan bantuan katalis asam sulfat serta pelarut asam asetat glasial. Pada dasarnya reaksi asetilasi merupakan reaksi penggantian tiga gugus hidroksil per unit glukosa dengan gugus asetil dari anhidrida asetat dengan bantuan katalisator (Wang et al., 2009).

Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi selulosa dari TKS dan memanfaatkannya untuk memproduksi selulosa asetat dengan proses asetilasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah Tandan Kosong Sawit (TKS) yang berasal dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV. Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk keperluan delignifikasi TKS, asetilasi selulosa dari TKS, serta analisis titrimetri untuk penentuan karakterisasi bahan baku maupun produk seperti natrium hidroksida teknis, H_2SO_4 teknis, etanol teknis, hidrogen peroksida teknis, asam asetat anhidrat yang berasal dari E. Merck, selulosa standar dan selulosa asetat standar dari SIGMA. Sementara itu peralatan yang digunakan adalah alat-alat gelas seperti gelas kimia, pipet ukur, pipet seukuran, oven, dan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

Pada tahap awal penelitian adalah menentukan karakteristik TKS dengan parameter kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, bahan ekstraktif, dan kadar air (Padil et al., 2011). Tahap berikutnya adalah ekstraksi selulosa dari TKS dengan menggunakan NaOH 2 M pada suhu $170^{\circ}C$ selama 90 menit. Produk pulp yang diperoleh dikeringkan dan kemudian dilakukan pemutihan dengan larutan hidrogen peroksida (Fuadi dan Sulistya, 2008). Karakterisasi selulosa dari TKS adalah analisis Bilangan Kappa dan gugus fungsi dengan FTIR.

Asetilasi selulosa dari TKS dilakukan dengan mencampurkan 30 g selulosa yang diperoleh hasil ekstraksi dengan 15 mL asam asetat anhidrat dan 200 mL asam sulfat 0,25 N (Suyati, 2008). Campuran ini dipanaskan pada 40 dan $50^{\circ}C$ dan diaduk selama 0, 10, 20, 30, dan 40 menit. Karakterisi terhadap produk reaksi ini adalah kandungan asetil dan FTIR.

Tabel 1. Karakterisasi TKS.

No	Parameter	Jumlah (%)
1	Selulosa	35,14
2	Hemiselulosa	24,86
3	Lignin	21,15
4	Kadar Air	5,39
5	Bahan ekstraktif	1,89

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi TKS

Hasil karakterisasi bahan baku tandan kosong sawit (TKS) yang berasal dari pabrik kelapa sawit (PKS) Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV Sumatera Utara disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

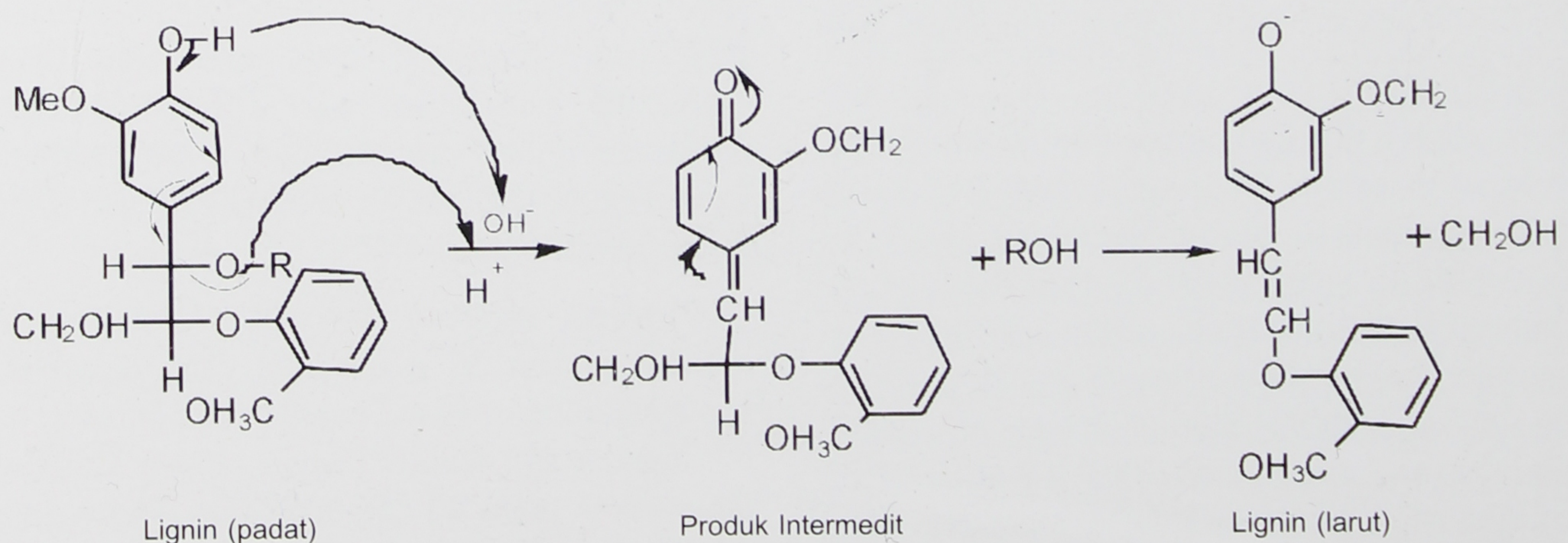
Pada Tabel 1 di atas terlihat bahwa kandungan selulosa yang terdapat di dalam TKS pada penelitian ini adalah 35,14%. Sementara Darnoko *et al.* (1995) dan Padil *et al.* (2011) melaporkan kandungan selulosa dari TKS adalah berturut-turut 45,95 % dan 34,26 %. Hasil analisis kandungan selulosa pada penelitian ini relatif sama dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Padil *et al.* (2011) yaitu perbedaannya hanya 0,88%. Sedangkan dengan hasil yang dilaporkan oleh Darnoko *et al.* (1995) terdapat perbedaan mencapai 10,81%.

Ekstraksi Selulosa dari TKS

Ekstraksi selulosa dari TKS dilakukan dengan cara melarutkan lignin dengan basa kuat, sehingga

selulosa terpisah sebagai padatan. Mekanisme sederhana dari reaksi degradasi lignin dengan basa ditunjukkan pada Gambar 1.

Reaksi degradasi lignin diawali oleh penyerangan atom H yang terikat pada gugus OH fenolik oleh ion hidroksi (OH⁻) dari NaOH. Atom H pada bagian tersebut bersifat asam karena terikat pada atom O yang memiliki keelektronegatifan besar. Atom O yang lebih elektronegatif akan menarik elektron pada atom H, sehingga atom H akan bermuatan parsial positif (δ^+) dan mudah lepas menjadi ion H⁺. Keasaman juga dipengaruhi oleh efek resonansi dari gugus alkil pada posisi para, sehingga atom H pada gugus fenolik akan bersifat lebih asam. Reaksi berlanjut dengan terjadinya pemutusan ikatan aril-eter dan karbon-karbon menghasilkan fragmen yang larut dalam NaOH. Penggunaan basa kuat di dalam isolasi selulosa dari TKS sangat menguntungkan karena selulosa dapat dengan mudah terpisahkan dari lignin dalam waktu yang cepat. Namun demikian penggunaan basa kuat ini memungkinkan terjadinya reaksi antara basa kuat dengan selulosa tersebut. Basa kuat akan mengubah monosakarida maupun



Gambar. 1. Mekanisme reaksi lignin dengan NaOH (Fengel, 1995)

gugus-gugus ujung dalam polisakarida menjadi berbagai asam karboksilat. Polisakarida dengan ikatan 1,4 glikosida dan hemiselulosa akan terdegradasi dengan mekanisme pemutusan ikatan dari ujung ke ujung (Fengel, 1995).

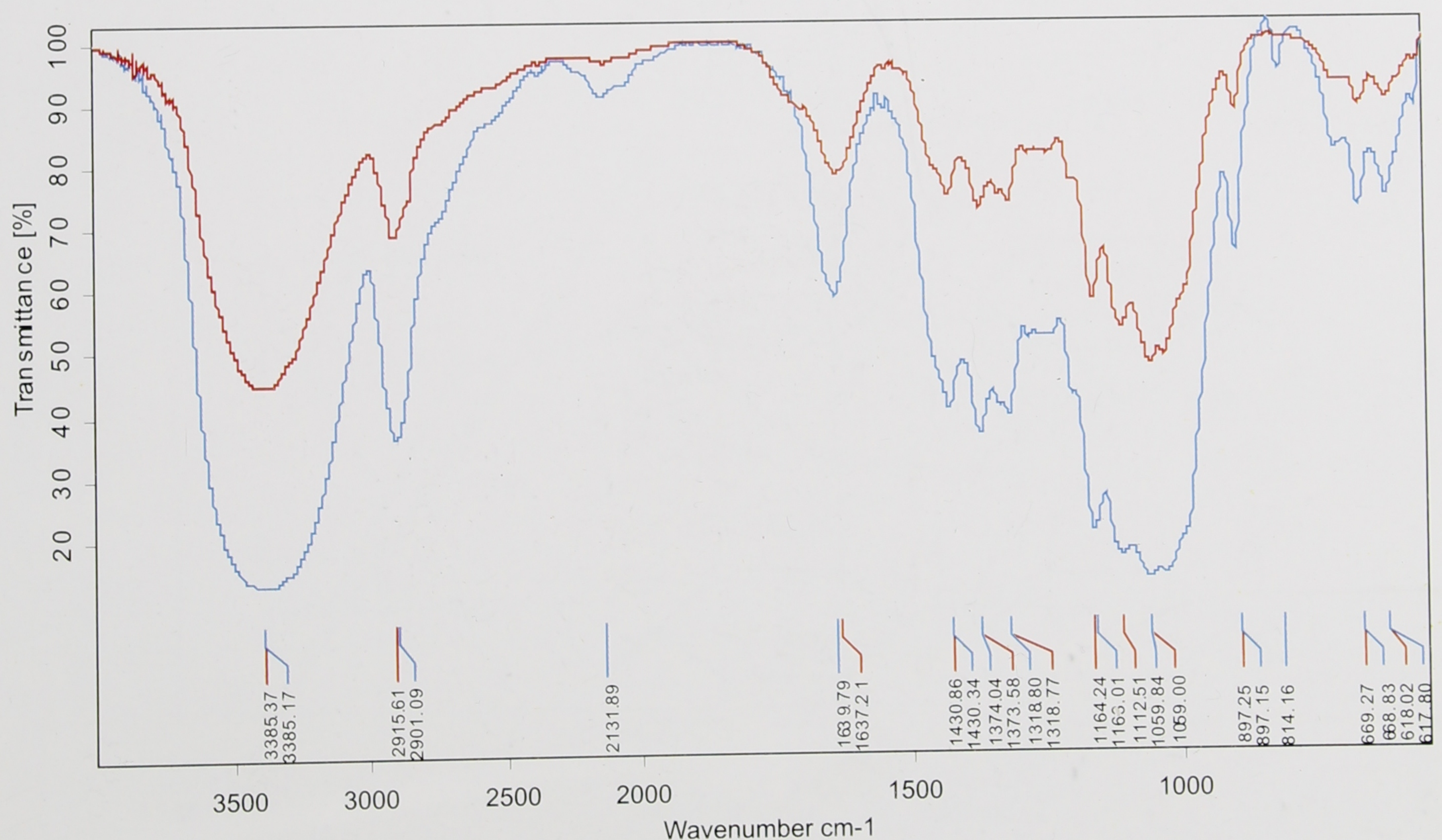
Abdul Aziz *et al.* (2002), melaporkan bahwa ekstraksi selulosa dari TKS dapat juga dilakukan dengan pelarut organik seperti etanol, sementara itu Huey Ng *et al.* (2011) melaporkan penambahan antrakuinon dan hidrogen peroksida untuk delignifikasi TKS.

Selulosa yang diperoleh kemudian di-bleaching untuk mendapatkan selulosa yang putih dan untuk menghilangkan sisa lignin yang terdapat di dalam pulp. Pemutihan dilakukan dengan menggunakan larutan hidrogen peroksida (Fuadi dan Sulistya, 2008). Proses pemutihan tidak hanya meningkatkan derajat putih pulp, tetapi juga menaikkan kemurnian dan kestabilannya. Meningkatnya derajat putih pulp ini disebabkan karena penghilangan lignin atau penghilangan warna lignin. Dalam pembuatan pulp, banyak lignin yang terlepas, ketika pulp ini kemudian diputihkan, maka pelepasan lignin berlanjut. Salah satu efek samping dari proses pemutihan yang perlu diperhatikan adalah degradasi terhadap selulosa, karena hal ini akan menyebabkan menurunnya kekuatan serat (Suyati, 2008).

Hasil *bleaching* selulosa TKS menggunakan hidrogen peroksida menghasilkan selulosa yang berwarna putih dengan berat 25,26 gr yang berasal dari 40 gr TKS atau perolehan selulosanya adalah 63,15%. Untuk melihat kemurnian dari selulosa yang diperoleh maka dilakukan uji Bilangan Kappa. Bilangan Kappa ini menunjukkan kandungan lignin di dalam selulosa, semakin tinggi Bilangan Kappa maka semakin tinggi kandungan lignin di dalam selulosa tersebut. Artinya selulosa yang diperoleh masih mengandung pengotor lignin (Fengel, 1995). Hasil analisis Bilangan Kappa terhadap sampel selulosa setelah di-bleaching adalah 1,59%. Dengan demikian selulosa hasil isolasi dari TKS masih mengandung lignin walaupun dengan jumlah yang sangat sedikit.

Untuk mempertegas selulosa hasil ekstraksi dari TKS, maka dilakukan analisis gugus fungsi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Pada Gambar 2. disajikan spektrum FTIR dari selulosa yang berasal dari TKS yang ditumpang tindihkan dengan spektrum FTIR dari selulosa standar yang berasal dari SIGMA.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa pita-pita serapan yang muncul dari selulosa yang berasal dari TKS dan selulosa standar sangat mirip. Pita-pita serapan yang muncul adalah pada 3385 cm^{-1} dari gugus OH, 2915 cm^{-1} dari gugus CH_2 , 1639 cm^{-1} dari gugus CO karbonil, $1430 - 1.318$, $1.164 - 1.069$, $897 - 814$, dan



Gambar 2. Spektrum FTIR selulosa yang berasal dari TKS (merah) dan selulosa standar dari SIGMA (biru).

669–617 cm^{-1} dari gugus CH (Fessenden dan Fessenden, 1989). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa selulosa yang berasal dari TKS mempunyai gugus-gugus fungsi yang sama dengan selulosa standar dari SIGMA.

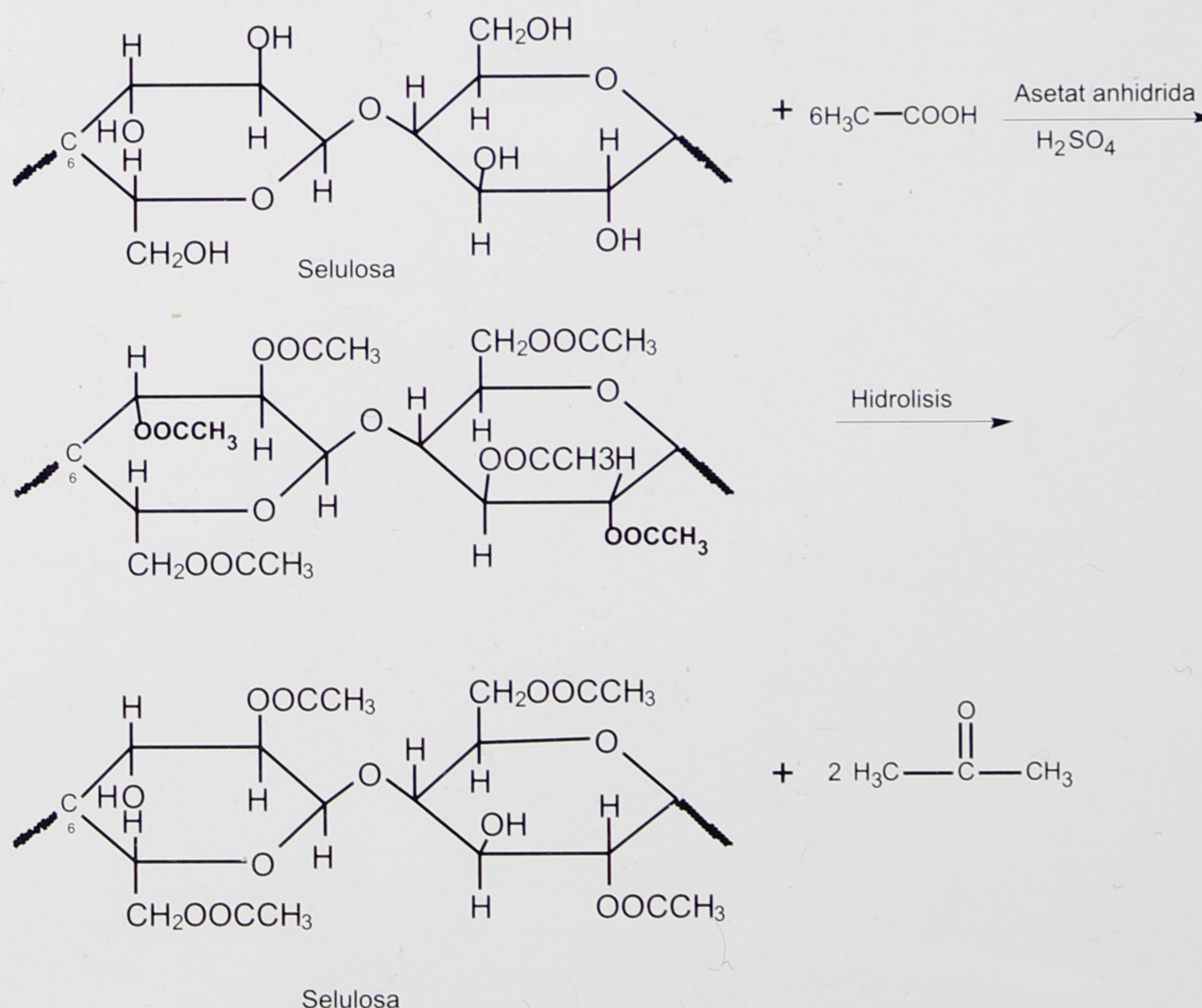
Pembuatan Selulosa Asetat

Pembuatan selulosa asetat dilakukan dengan menggunakan proses Emil Heuser dimana pada proses ini menggunakan asam asetat anhidrida sebagai *acetylating agent*, asam asetat glasial sebagai pelarut dan asam sulfat pekat sebagai zat pengaktivasi (Suyati, 2008). Pada dasarnya, reaksi yang terjadi pada asetilasi adalah penggantian satu atau lebih gugus hidroksil dalam unit glukosa dari selulosa oleh gugus asetil dengan menggunakan asam pekat sebagai katalis. Reaksi ini diawali dengan terjadinya protonasi pada atom O pada gugus karbonil dalam asam asetat anhidrida membentuk suatu karbokation. Karbokation yang cukup reaktif ini merupakan suatu senyawa antara, dimana terjadi muatan positif pada atom C yang berikatan dengan atom O yang terprotonasi. Dengan adanya karbokation ini maka

substitusi nukleofilik akan mudah terjadi. Pada reaksi ini pasangan elektron yang berikatan pada atom O pada gugus hidroksil akan menyerang karbokation tersebut dan diikuti oleh eliminasi asam karboksilat dan H positif, seperti disajikan pada Gambar 3.

Pada penelitian ini proses asetilasi selulosa dari TKS dilakukan dengan memvariasikan suhu dan waktu reaksi. Variasi suhu dilakukan pada suhu 40°C dan 50°C. Sedangkan waktu reaksi dilakukan pada 0, 10, 20, 30, dan 40 menit. Untuk mengamati hasil reaksi asetilasi dilakukan analisis kadar asetil di dalam produk hasil reaksi. Pada Tabel 2 disajikan kadar asetil dari produk reaksi asetilasi selulosa TKS pada setiap variasi suhu dan waktu reaksi.

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa besarnya kandungan asetil yang dihasilkan pada suhu reaksi asetilasi 40°C meningkat terus sampai waktu reaksi berjalan 20 menit. Kandungan asetil pada kondisi reaksi asetilasi dengan suhu 40°C dan waktu reaksi 20 menit adalah 43,05%. Setelah itu kandungan asetil menurun lagi seiring berjalannya waktu reaksi. Hal ini dimungkinkan semakin lamanya waktu reaksi asetilasi akan menyebabkan terurainya kembali selulosa asetat



Gambar 3. Reaksi umum asetilasi (Fengel, 1995)

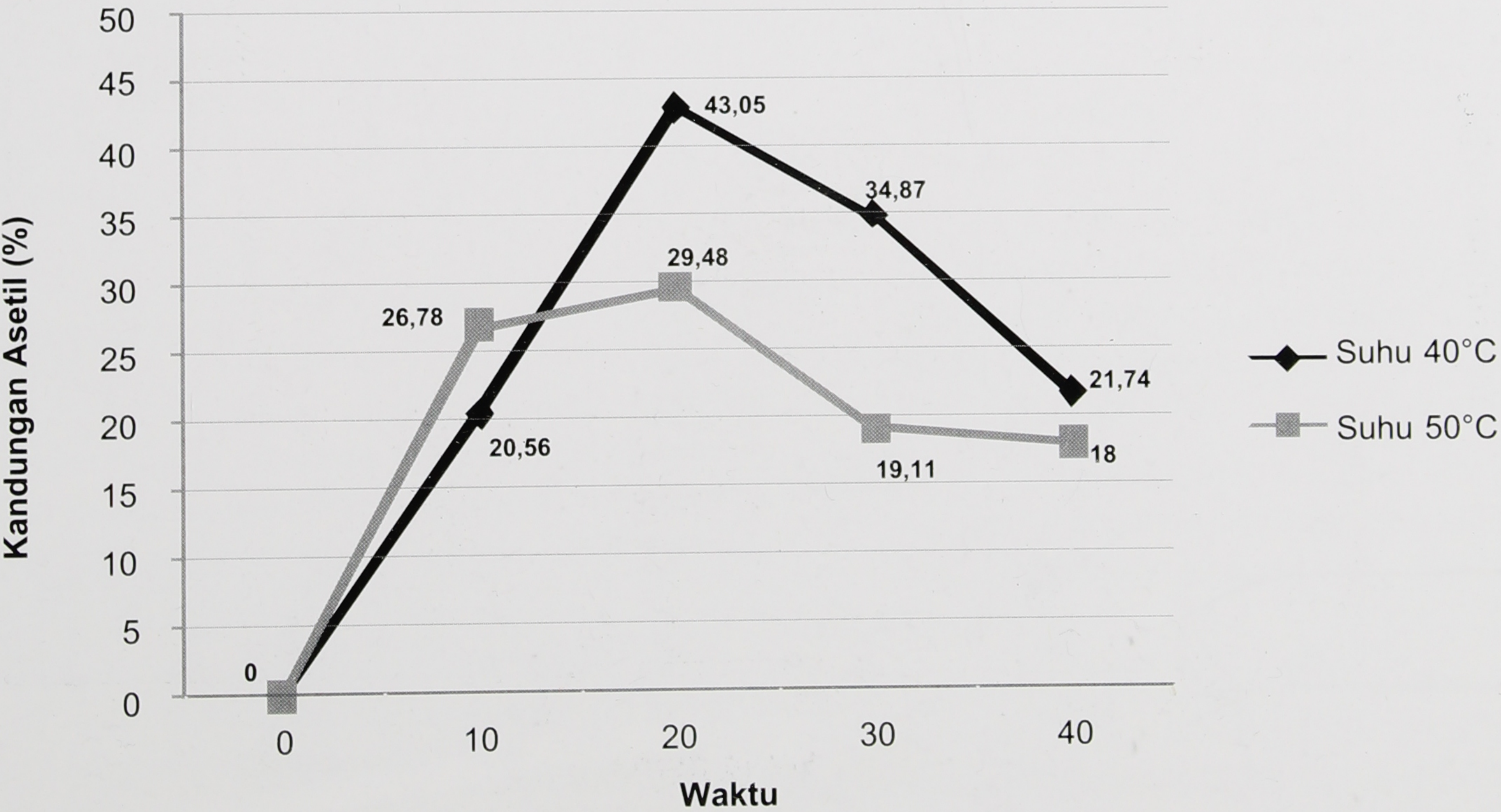
Tabel. 2. Hasil pembuatan selulosa asetat dari TKS.

No	Suhu Asetilasi °C	Waktu Asetilasi (menit)	Kadar Asetil %
1	40	0	0
2	40	10	20,56
3	40	20	43,05
4	40	30	34,87
5	40	40	21,74
6	50	0	0
7	50	10	26,78
8	50	20	29,48
9	50	30	19,11
10	50	40	18,00

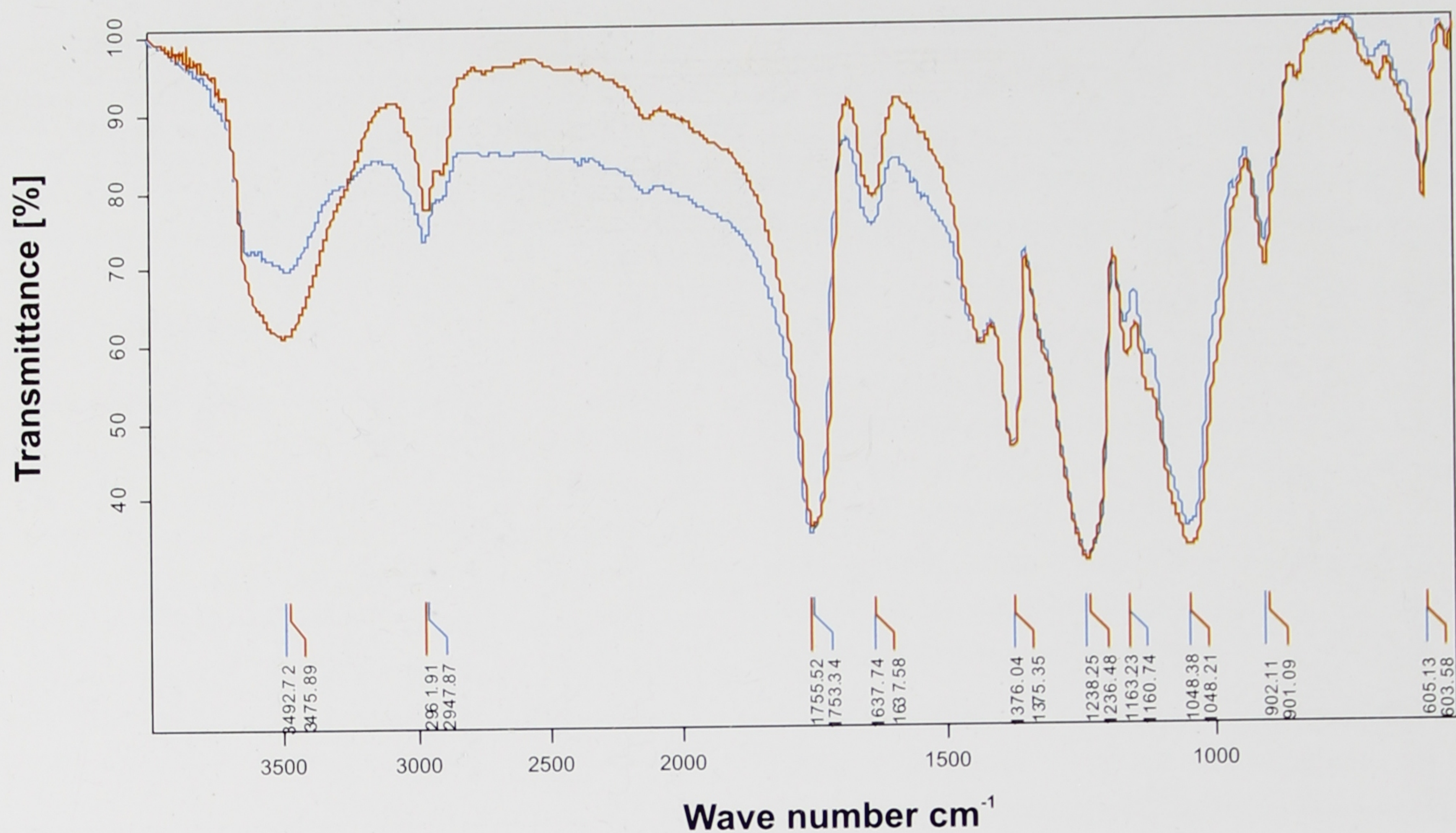
yang terbentuk (Suyati, 2008). Fakta ini terlihat dari kandungan asetil untuk waktu reaksi 30 dan 40 menit berturut-turut adalah 34,87 dan 21,74%.

Pola yang sama terjadi pada suhu reaksi asetilasi 50°C, kandungan asetil tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 20 menit, yaitu 29,48%. Sedangkan kandungan asetil untuk waktu reaksi 30 dan 40 menit berturut-turut adalah 19,11% dan 18,00%. Namun kandungan asetil pada suhu reaksi 50°C lebih rendah dibandingkan

dengan pada suhu 40°C. Hasil ini disebabkan terjadinya penguraian kembali selulosa asetat yang terbentuk akibat kenaikan suhu reaksi. Dari hasil analisis kandungan asetil ini menunjukkan bahwa kondisi optimum reaksi asetilasi selulosa dari TKS adalah pada suhu 40°C dan waktu 20 menit. Pada Gambar 4 disajikan pola kandungan asetil selama berlangsungnya reaksi asetilasi terhadap selulosa dari TKS.



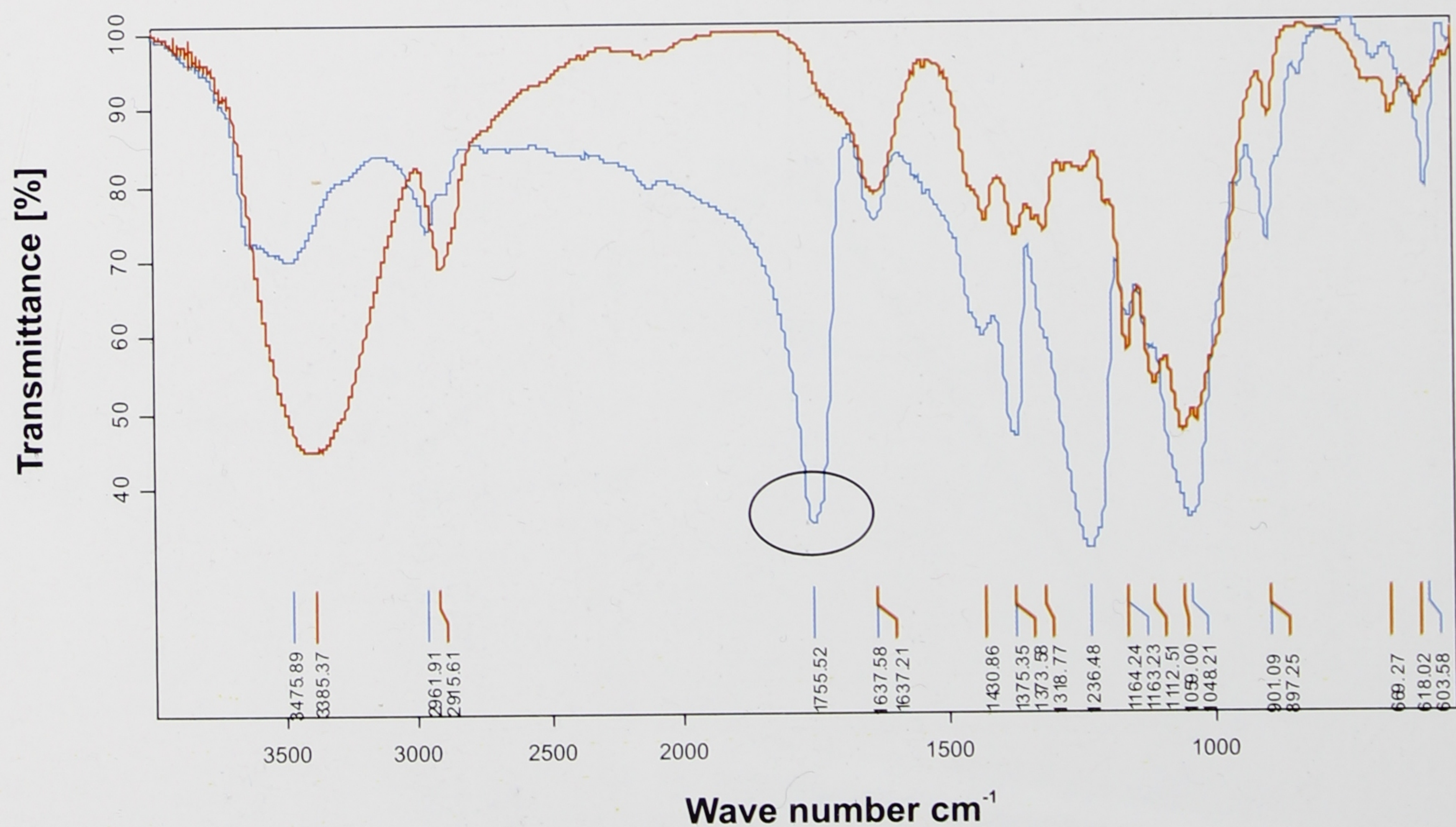
Gambar 4. Kandungan asetil selama reaksi asetilasi selulosa TKS.



Gambar 5. Spektrum FTIR selulosa asetat dari TKS (biru) dan selulosa asetat standar SIGMA (merah).

Untuk mempertegas hasil asetilasi selulosa dari TKS dilakukan analisis gugus fungsi dengan menggunakan spektrofotometer FTIR. Pada Gambar 5 disajikan spektrum FTIR selulosa asetat dari TKS yang

ditumpang tindihkan dengan spektrum FTIR selulosa asetat standar dari SIGMA. Kedua spektrum tersebut sangat mirip dan dapat disimpulkan bahwa telah terjadi reaksi asetilasi terhadap selulosa dari TKS.



Gambar 6. Spektrum FTIR selulosa dari TKS (merah) dan selulosa hasil asetilasi TKS (biru).

Untuk melihat terjadinya reaksi asetilasi terhadap selulosa, di samping menganalisis kandungan asetil dari produk reaksi, juga dapat dilihat dari perbedaan spektrum FTIR dari selulosa dan selulosa asetat. Pada Gambar 6 disajikan spektrum FTIR selulosa dari TKS yang ditumpang tindihkan dengan spektrum FTIR selulosa asetat (hasil reaksi asetilasi dari selulosa TKS). Dengan demikian dapat terlihat dengan jelas perbedaan antara selulosa TKS sebelum dan sesudah diasetilasi.

Pita serapan yang membedakan kedua produk ini adalah pada bilangan gelombang 1.756 cm^{-1} . Serapan ini hanya muncul pada selulosa yang sudah diasetilasi sedangkan pada selulosa awal tidak muncul serapan ini. Pita serapan pada 1.756 cm^{-1} adalah khas untuk gugus -C=O karbonil ester yang tidak terdapat di dalam selulosa, sehingga serapan ini tidak muncul di dalam spektrum FTIR selulosa.

KESIMPULAN

Ekstraksi selulosa dari TKS menggunakan natrium hidroksida pada suhu reaksi 170°C dan waktu 90 menit memberikan perolehan sebesar 63,15%. Pita-pita serapan yang muncul pada spektrum FTIR selulosa dari TKS sama dengan pita-pita serapan selulosa standar dari SIGMA. Asetilasi selulosa dari TKS telah dapat dilakukan ditandai dengan adanya kandungan asetil 43,05% pada suhu 40°C selama 20 menit waktu reaksi. Spektrum FTIR selulosa asetat dari TKS sangat berbeda dengan spektrum FTIR dari selulosa TKS. Sementara itu spektrum FTIR selulosa asetat dari TKS sama persis dengan spektrum FTIR selulosa asetat standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Aziz, A., M. Husin, and A. Mokhtar. 2002. Preparation of cellulose from oil palm empty fruit bunches via ethanol digestion: effect of acid and alkali catalysts. *Journal of Oil Palm Research*, Vol. 14(1), p.9-14.
- Abdullah, N., F. Sulaiman, and H. Gerhauser. 2011. Characterisation of oil palm empty fruit bunches for fuel application. *Journal of Physical Science*, Vol. 22(1), p. 1-24.
- Amalia, R., M.A. Agustira, dan T. Wahyono. 2012. Statistik industri kelapa sawit 2012. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Anonim. 2009. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2009. Jakarta.
- Darnoko, P. Guritno, A. Sugiharto, dan S. Sugesti. 1995. Pembuatan pulp dari tandan kosong dengan penambahan surfaktan. *Jurnal PPKS*, Vol. 3(1).
- Ewulonu, C.M. and I.O. Igwe. 2011. Properties of oil palm empty fruit bunch fibre filled high density polyethylene. *International of Journal of Engineering and Technology*, Vol. 3(6).
- Fengel, D. 1995. Kimia kayu, ultrastruktur, rekasi-reaksi. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Fessenden, R.J. dan J.S. Fessenden. 1989. Kimia organik (Alih bahasa A. H. Pudjaatmaka). Edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Fuadi, A.M. dan H. Sulistya. 2008. Pemutihan pulp dengan hidrogen peroksida. *Reaktor*, Vol.12,(2), p. 123-128.
- Gert, E.V., V.I. Torgashov, and F.N. Kaputskii. 2003. Production, properties, and structure of high-substituted cellulose nitrate. *Journal of Polymer Science*, Vol. 27(10).
- Heydarzadeh, H.D., G.D. Najafpour, and A.A. Nazari-Moghaddam. 2009. Catalyst-free conversion of alkali cellulose to fine carboxymethyl cellulose at mild conditions. *World Applied Science Journal*, Vol. 6(4). p. 564-569.
- Huey Ng, S., A. Ghazali, and C. Peng Leh. 2011. Anthraquinone-aided hydrogen peroxide reinforce d oxygen delignification of oil palm empty fruit bunches. *Cellulose Chem. Technol.* Vol. 45(1-2), p.77-87.
- Marikena, N., S. Pandia, dan E. Nuryanto. 2007. Kajian mengenai pemanfaatan tandan kosong sawit untuk pembuatan selulosa nitrat. *Warta PPKS*, Vol. 15(2).
- Mohd. Salleh, M.A., N.H. Kisiki, H.M. Yusuf, and W.A. Wan Ab Karim Ghani. 2010. Gasification of biochar from empty fruit bunch in a fluidized bed reactor. *Energies*, Vol. 3, p. 1344-1352.



- Naibaho. 1998. Teknologi pengolahan kelapa sawit. Pusat Penelitian Kelapa sawit.
- Padil, A. Yemilda, dan M. Candra. 2011. Optimasi hidrolisis tandan kosong sawit dengan ekstrak abu TKS menggunakan rancangan percobaan response surface method. *J. Sains dan Teknologi*. Vol. 10(1). p. 42-46.
- Piarpuzan, D., J.A. Quintero, and C.A. Cardona. 2011. Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, p.1130-1137.
- Suyati. 2008. Pembuatan selulosa asetat dari limbah serbuk gergaji kayu dan identifikasinya. Disertasi. Institut Teknologi Bandung.
- Wang, Y., L. Yang, G. Luo, and Y. Dai. 2009. Preparation of cellulose acetate membrane filled with metal oxide particles for the prevaporation separation on methanol/methyl tert-butyl ether mixtures. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 146. p. 6-10.
- Zainan, N.H., Md.Z. Alam, and M.F. Al-Khatib. 2011. Production of sugar by hydrolysis of empty fruit bunches using palm oil mill effluent (POME) based celluloses : Optimization study. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 10 (81).