

STUDI KINETIKA DEGRADASI SELULOSA DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) MENJADI TURUNANNYA KHUSUSNYA MONOSAKARIDA PADA TEMPERATUR TINGGI

Pradita Ardyagarini, Zainiyah Salam, dan Achmad Roesyadi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: aroesyadi@yahoo.com

Abstrak—TKKS tersusun dari selulosa 39,13%, hemiselulosa 23,40%, dan 34,37% lignin (Isroi, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses degradasi selulosa, pengaruh waktu, temperatur dan konsentrasi katalis terhadap proses degradasi selulosa, mempelajari kinetika reaksi proses degradasi selulosa dari tandan kosong kelapa sawit menjadi turunannya khususnya monosakarida pada temperature tinggi. Degradasi selulosa dapat dilakukan dengan cara hidrolisa. Beberapa cara hidrolisa antara lain : hidrolisa menggunakan asam encer, hidrolisa menggunakan asam pekat dan hidrolisa enzymatic. Dalam penelitian ini dilakukan hidrolisa selulosa menggunakan asam encer yang dilakukan pada temperatur tinggi. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan semakin besar konsentrasi H_2SO_4 , konsentrasi glukosa yang dihasilkan juga semakin besar. Konsentrasi glukosa yang paling besar pada variabel yang ditentukan dihasilkan pada konsentrasi katalis H_2SO_4 0,5 N pada temperatur 250°C dan $t = 120$ menit sebesar 0,20945 mol/L. Kinetika degradasi selulosa menjadi glukosa mengikuti orde 1.

Kata Kunci: Degradasi, hidrolisa, selulosa, TKKS, kinetika, monosakarida

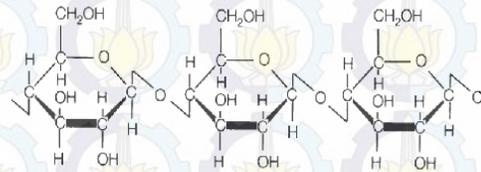
PENDAHULUAN

Salah satu sumber limbah pertanian berasal dari tanaman kelapa sawit yang menghasilkan tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sabut kelapa sawit (SKS), tempurung kelapa sawit (TKS), dan batang kelapa sawit (BKS). Menurut penelitian Darnoko, 1995, TKKS memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin berturut-turut adalah 45,9%, 22,8%, dan 16,5%. Kandungan selulosa dan hemiselulosa dalam TKKS merupakan potensi yang cukup besar untuk dikonversi menjadi bahan sediaan kimia (*chemical feedstock*) bahkan menjadi glukosa atau bioetanol.



Gambar 1. (a) Tandan dengan kelapa sawit masih menempel
(b) Tandan Kosong Kelapa Sawit

Selulosa merupakan senyawa organik dengan rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$, berupa polisakarida yang terdiri dari rantai linier dari beberapa ratus hingga lebih dari sepuluh ribu ikatan $\beta(1 \rightarrow 4)$ unit D-glukosa. Selulosa merupakan karbohidrat utama yang disintesis oleh tanaman dan menempati hampir 60% komponen penyusun struktur kayu dan dapat mengembang dalam larutan alkali atau dalam larutan garam.



Gambar 2. Struktur selulosa

Dalam penelitian ini, degradasi selulosa menjadi monosakarida pada temperatur tinggi menggunakan katalis asam yaitu asam sulfat. Asam sulfat digunakan karena menghasilkan presentase glukosa yang lebih besar dari asam yang lainnya. Konsentrasi katalis yang tinggi dapat meningkatkan konsentrasi (H^+) dalam larutan sehingga semakin banyak selulosa yang terdegradasi menjadi glukosa.

Untuk menentukan pengaruh temperatur terhadap degradasi selulosa dan menentukan konstanta kecepatan reaksi laju reaksi (k) dan orde reaksi (n) dipakai model persamaan reaksi sebagai berikut :



Dari persamaan diatas bila dianggap sebagai reaksi elementer dan reaksi samping diabaikan, maka persamaan kecepatan reaksinya adalah :

$$-r_A = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

C_A = konsentrasi selulosa

C_B = Konsentrasi air

Karena konsentrasi B sangat besar, maka konsentrasi B dapat dianggap bernilai konstan untuk setiap nilai n. Maka persamaan (1) menjadi :

$$-r_A = k' \cdot C_A^a \text{ dengan } k' = k \cdot C_B^b$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = k \cdot C_A^a \dots \dots \dots (2)$$

Bila di dalam suatu percobaan dapat dicatat perubahan konsentrasi terhadap waktu maka data yang diperoleh dapat dijadikan dalam suatu tabel antara konsentrasi dan waktu. Maka persamaan (2) dapat dilogartimkan menjadi :

$$\log \frac{dc_A}{dt} = \log k + a \log C_A \dots \dots \dots (3)$$

Apabila $-\frac{dc_A}{dt}$ dapat ditentukan dengan cara mencari slope antara C_A dengan t , maka hasil dari penggambaran grafik persamaan (3) dapat langsung diperoleh orde reaksi a sebagai slope dan $\log k$ sebagai intercept. Dari hasil tersebut dengan demikian nilai orde reaksi a dan konstanta kecepatan reaksi secara konstan dapat ditentukan. (Levenspiel. 1999)

Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Reaksi

Pada banyak reaksi khususnya reaksi elementer, laju reaksi bergantung pada temperatur dan energi aktivasi yang ditunjukkan dengan persamaan hukum Arrhenius :

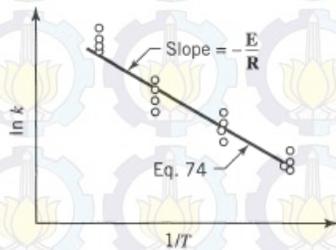
$$k = k_0 e^{-E/RT} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana k adalah konstanta laju reaksi, k_0 adalah faktor eksponensial, dan E adalah energi aktivasi reaksi. Pada konsentrasi yang sama tetapi dengan dua temperatur yang berbeda, Arrhenius menyatakan :

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Dengan syarat bahwa E diasumsi konstan.

Pengaruh temperatur terhadap laju reaksi dapat diketahui dengan dengan mengplot $\ln k$ dengan $1/T$. Dimana k adalah konstanta laju reaksi dan T adalah temperatur.



Gambar 3. Grafik Hubungan Temperatur dengan Laju Reaksi

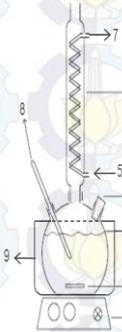
Dari grafik $\ln k$ vs $1/T$ tersebut akan diperoleh harga E . Hubungan energi aktivasi dengan laju reaksi adalah berbanding terbalik. Semakin besar energi aktivasi maka laju reaksinya semakin lambat karena energi minimum untuk terjadi reaksi semakin besar. Faktor yang mempengaruhi energi aktivasi (E) yaitu suhu (T), faktor eksponensial (k_0). Semakin kecil harga $\ln k$ maka harga $1/T$ rata-rata semakin besar. Ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur maka energi aktivasinya akan semakin kecil dan semakin sedikit waktu yang diperlukan sehingga akan memperbesar harga laju reaksi.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TKKS, Asam Sulfat, Gas N_2 , $NaOCl$, dan $NaOH$. Variabel yang digunakan yaitu waktu reaksi selama 0, 30, 60, 90 dan 120 menit, konsentrasi asam sulfat 0,1 N, 0,25 N, dan 0,5 N, serta temperatur reaksi antara 175-250 $^{\circ}C$.

Percobaan dimulai dengan mengekstrak selulosa dari TKKS dengan cara sebagai berikut :

Sebanyak 50 gram serat TKKS dimasukkan ke dalam labu ekstraksi, kemudian ditambahkan 500 ml $NaOH$ 17,5%. Diekstraksi pada suhu 80 $^{\circ}C$ selama 2 jam. Ampas disaring dan dicuci hingga filtrat netral. Dilakukan pemurnian dengan 250 ml larutan $NaOCl$ 2% pada suhu 60 $^{\circ}C$ selama 1 jam. Ampas disaring dan dicuci sampai netral kemudian dikeringkan dan diblender hingga menjadi serbuk. Serbuk yang terbentuk diayak dengan saringan. Serbuk yang lolos dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60 $^{\circ}C$ hingga berat serbuk konstan kemudian disimpan dalam desikator.



Keterangan :

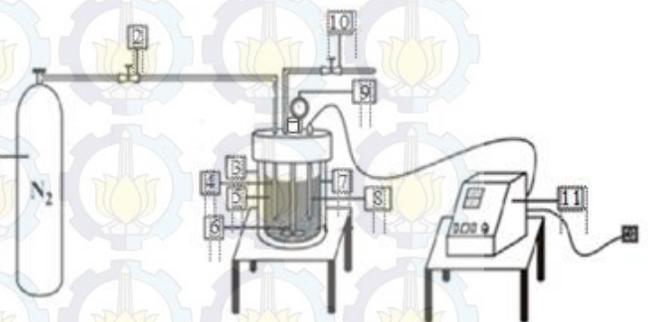
1. Stirer
2. Magnetic stirrer
3. Labu leher tiga
4. Karet sumbat
5. Air pendingin masuk
6. Kondensor reflux
7. Air pendingin keluar
8. Termometer
9. Oilbath

Gambar 4. Peralatan ekstraksi dan keterangannya



Gambar 5. Selulosa dari tandan kosong kelapa sawit

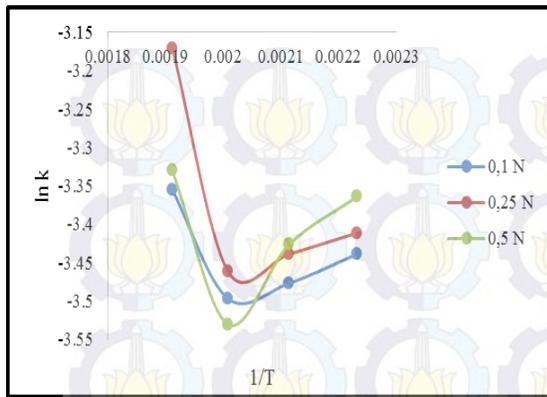
Setelah selulosa didapatkan kemudian dilakukan proses degradasi selulosa menjadi monosakarida yang dilakukan dalam suatu alat yang digambarkan seperti gambar berikut :



Gambar 6. Peralatan Reaktor Degradasi Selulosa

Keterangan gambar :

1. Tabung gas N_2
2. Valve tube gas N_2
3. Heater



Gambar 8. Grafik hubungan antara $\ln k$ vs $1/T$

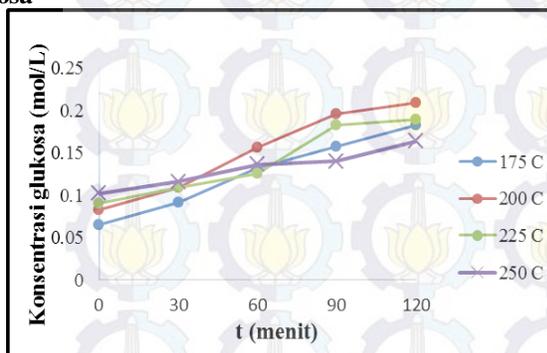
Dari Gambar 8 dapat diketahui harga E_a/R untuk masing-masing konsentrasi yaitu: 0,5 N = 217,328 J/mol ; 0,25 N = 15205,23 J/mol ; 0,1 N = 1657,15 J/mol serta dari hasil perhitungan didapat harga energi aktivasi untuk tiap konsentrasi seperti yang di tabelkan:

Tabel 2. Energi aktivasi tiap konsentrasi katalis

konstraksi katalis H ₂ SO ₄	E _a (J/mol)
0,5 N	217,328
0,25 N	15205,23
0,1 N	1657,15

Dari Tabel 2. dapat dilihat bahwa energi aktivasi mengalami kenaikan lalu kemudian mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya konsentrasi. Hal ini tidak sesuai dengan persamaan Arrhenius bahwa bahwa laju reaksi dan energi aktivasi berbanding terbalik sehingga semakin besar konsentrasi katalis, kecepatan reaksi semakin meningkat dan energi aktivasi semakin menurun. Ketidak sesuaian ini disebabkan karena nilai konstanta yang tidak stabil dimana terjadi penurunan kemudian kenaikan.

Pengaruh Suhu Reaksi terhadap Rate pembentukan glukosa

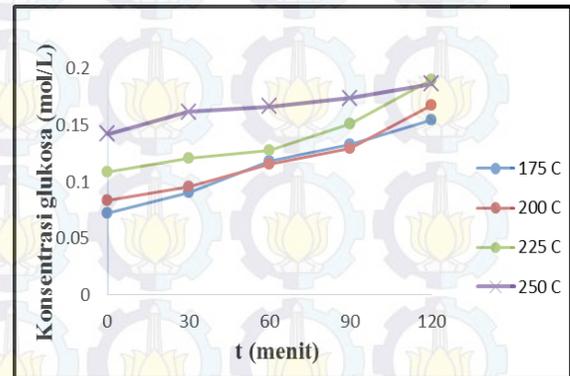


Gambar 9. Grafik pengaruh waktu (menit) terhadap pembentukan glukosa tiap variabel suhu pada konsentrasi H₂SO₄ 0,1 N

Dari gambar 9 diatas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi pada variabel suhu 250 °C dimana

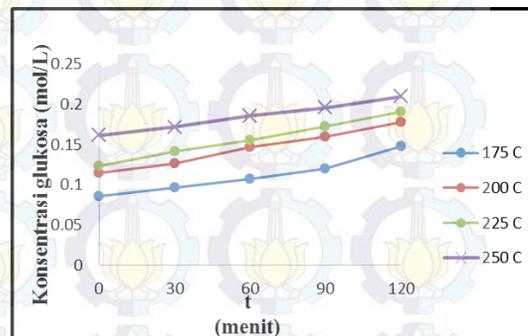
seharusnya semakin besar suhu dan waktu reaksi, konsentrasi glukosa semakin besar (yuniwati, 2011)

Ketidak sesuaian ini bisa disebabkan oleh tekanan dan suhu yang tidak terjaga secara konstan pada saat proses degradasi selulosa sehingga menyebabkan konsentrasi produk yang dihasilkan tiap variabel suhu juga tidak sesuai yang berakibat pada nilai konstanta juga mengalami kenaikan dan penurunan.



Gambar 10. Grafik pengaruh waktu (menit) terhadap pembentukan glukosa tiap variabel suhu pada konsentrasi H₂SO₄ 0,25 N

Dari gambar 10 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar suhu dan waktu reaksi, konsentrasi glukosa semakin besar. Harga konsentrasi glukosa berbanding lurus terhadap suhu dan waktu reaksi, oleh karena itu adanya kenaikan suhu reaksi dan waktu reaksi mengakibatkan harga konsentrasi glukosa menjadi semakin besar. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa konsentrasi glukosa akan semakin besar ketika suhunya juga semakin besar.



Gambar 11. Grafik pengaruh waktu (menit) terhadap pembentukan glukosa tiap variabel suhu pada konsentrasi H₂SO₄ 0,5 N

Dari gambar 11 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar suhu dan waktu reaksi, konsentrasi glukosa semakin besar. Harga konsentrasi glukosa berbanding lurus terhadap suhu dan waktu reaksi, oleh karena itu adanya kenaikan suhu reaksi dan waktu reaksi mengakibatkan harga konsentrasi glukosa menjadi semakin besar. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa konsentrasi glukosa akan semakin besar ketika suhunya juga semakin besar.

KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil analisa penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut : Semakin besar konsentrasi H_2SO_4 , konsentrasi glukosa yang dihasilkan juga semakin besar. Konsentrasi glukosa yang paling besar pada variabel yang ditentukan dihasilkan pada konsentrasi katalis H_2SO_4 0,5 N pada suhu $250^\circ C$ dan $t = 120$ menit sebesar 0,20945 mol/L. Kinetika degradasi selulosa menjadi glukosa mengikuti orde 1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Z.S. dan P.A. mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Reaksi Kimia Jurusan Teknik Kimia-FTI ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khajavi, S.H., Kimaru, Y., Oomori, T., Matsuno, R., Adachi, S. (2005). Degradation kinetics of monosacharides in subcritical water. *Jurnal of Food Engineering*, 68, 309-313.
- [2] Kupiainen, L., Ahola, J., and Tanskanen, J. (2011). Kinetics of glucose decomposition in formic acid. *Chemical Engineering Research and Design*, 89, 2706-2713.
- [3] Levenspiel, O., (1999). *Chemical Reaction Engineering 3th*, Oregon State University, John Willey and Sons, Inc., New York, pp 65-66.
- [4] MCKibbin, S.W., Harris, J.F., Saeman, J.F., and Neil, W.K. (1962). Kinetics of the acid-catalyzed conversion of glucose to 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde and levulanic acid. *Forest Product Jurnal*, 12:17.
- [5] Mosier, N.S., Ladisch, C.N., and Ladisch, M.R. (2002). Characterization of acid catalytic domains for cellulose hydrolysis and glucose degradation. *Biotechnology and Bioengineering*, 79, 6.
- [6] Qi, J., and Xiuyang, L., (2008). Kinetics of non-catalyzed decomposition of glucose in high-temperature liquid water. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16,6.
- [7] Smith, P.C., Grethlein, H.E., Converse, A.O. (1981). Glucose decomposition at high temperature, mild acid, and short residence time. *Solar Energy*, 28,p 41-48
- [8] Supriyanto., and supranto., (2006). Kinetika Perubahan Kadar 5-Hydroxymethyl-2-Furfural (HMF) Bahan Makanan Berpati Selama Penggorengan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 2.
- [9] Wei, Q., Su-ping, Z., Qing-li, X., Zheng-wei, R., and Yong-jie, Y. (2008). Degradation kinetics of xylose and glucose in hydrolysate dilute sulfuric acid. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 1009-606X, 06-1132-06.