

STUDI AWAL PEMBUATAN ASAM OKSALAT DARI SABUT KELAPA DENGAN METODA OKSIDASI

G. Widiyarti^{*)}

Abstrak

Telah dilakukan percobaan pembuatan asam oksalat ($H_2C_2O_4$) dari selulosa sabut kelapa dengan metoda oksidasi menggunakan oksidator asam nitrat (HNO_3) dan katalis Fe. Sabut kelapa sebagai bahan baku dianalisa kadar air, kadar abu dan kadar selulosanya. Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa, bahan baku sabut kelapa mempunyai kadar air 22.33%, kadar abu 9.22%, dan kadar selulosa 64.804%. Optimasi reaksi pembuatan asam oksalat dilakukan dengan metoda faktorial desain 2 level dengan temperatur, waktu dan konsentrasi HNO_3 sebagai variabel berubah. Asam oksalat yang dihasilkan dianalisa secara kuantitatif dengan metoda permanganometri.

Dari hasil percobaan yang didasarkan pada yield terbesar, maka kondisi optimum reaksi pembuatan asam oksalat dengan metoda oksidasi adalah pada temperatur $110^\circ C$, waktu reaksi 20 menit dengan konsentrasi HNO_3 8,6 N. Dengan kondisi reaksi optimum tersebut diperoleh yield sebesar 15.497%

Kata kunci : asam oksalat, selulosa sabut kelapa, optimasi reaksi, faktorial desain 2 level.

Pendahuluan

Diketahui bahwa, sabut kelapa mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. (Kirk, dan Othmer, 1967). Ketiga unsur kimia yang terkandung dalam sabut kelapa tersebut dibedakan menjadi dua kelompok yaitu : karbohidrat yang meliputi selulosa dan hemiselulosa serta non-karbohidrat yang mengandung lignin.

Selulosa ($C_6H_{11}O_6-(C_6H_{10}O_5)_n-C_6H_{11}O_5$) merupakan polisakarida yang terdiri dari molekul-molekul anhidroglukosa. Molekul tersebut saling berkaitan dan membentuk rantai yang panjang sehingga berat molekulnya besar. Selulosa mudah larut dalam asam dan hidrolisanya menghasilkan D-glukosa (Groggins, 1958).

Selulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku selulosa asetat yaitu intermediate produk untuk membuat benang, plastik, dan bahan peledak. Selain itu, bermanfaat juga sebagai bahan baku asam oksalat dan bahan baku selulosa xantat yaitu intermediate produk untuk membuat fiber rayon.

Hidrolisa selulosa dengan asam akan menghasilkan glukosa dan oksidasi dari glukosa tersebut membentuk asam oksalat. Asam oksalat ini banyak digunakan dalam industri, misalnya industri tekstil untuk mengikat warna, bahan pencelup wool, dan sebagai pembersih (Kirk, dan Othmer, 1967). Selain itu, asam oksalat juga dapat digunakan untuk membersihkan karat dan kerak yang terakumulasi dalam sistem pendingin serta untuk menghilangkan karbonisasi pada plat logam.

Perbedaan antara selulosa dengan hemiselulosa adalah hemiselulosa mempunyai

derajat polimerisasi rendah, mudah larut dalam alkali dan sukar larut dalam asam, serta terdiri atas serat-serat pendek dengan suhu bakar rendah. Sedang selulosa adalah sebaliknya, yaitu memiliki derajat polimerisasi yang tinggi, mudah larut dalam asam, dan terdiri atas serat-serat panjang dengan suhu bakar tinggi.

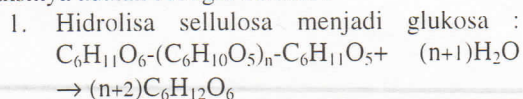
Lignin adalah pengikat dinding sel pada tanaman dan banyak dijumpai pada industri kertas sebagai produk samping pembuatan pulp dalam bentuk lignin sulfonat (Kenneth, 1970)

Melihat kualitas dan kuantitas bahan yang terkandung dalam sabut kelapa tersebut, maka sabut kelapa selain dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alat rumah tangga dan kerajinan, juga dapat dimanfaatkan menjadi produk yang lebih berguna yaitu asam oksalat.

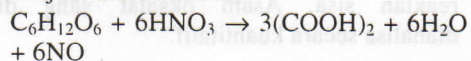
Ada berbagai metoda pembuatan asam oksalat yaitu proses oksidasi asam nitrat, fermentasi, pemanasan sodium formiat, dan peleburan alkali.

Oksidasi asam nitrat

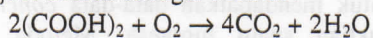
Reaksi pembuatan asam oksalat dari selulosa terdiri dari 2 tahap yaitu hidrolisa selulosa menjadi glukosa dan oksidasi glukosa menjadi asam oksalat. Pada proses oksidasi asam nitrat, karbohidrat atau glukosa dioksidasi menggunakan asam nitrat (HNO_3) pada kondisi reaksi tertentu, sehingga diperoleh asam oksalat sebagai produk akhir dengan yield yang tinggi. Mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut :



2. Oksidasi glukosa dengan asam nitrat menjadi asam oksalat :



Katalis yang dapat digunakan untuk oksidasi selulosa menjadi asam oksalat adalah V_2O_5 , molybdenum, Fe atau Mn (Groggins, 1958). Kondisi reaksi untuk produksi asam oksalat dengan yield tinggi meliputi oksidasi dalam larutan asam nitrat pekat dan kontrol temperatur yang tepat. Menurut Kraff, asam nitrat untuk oksidasi parsial hasilnya relatif baik, jika konsentrasi asam nitrat yang digunakan antara 60%-90% (Groggins, 1958). Jika konsentrasi asam nitrat terlalu pekat, maka asam oksalat yang dihasilkan akan teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Fermentasi

Pada proses fermentasi, asam oksalat merupakan hasil samping fermentasi glukosa dengan kapang *aspergillum* atau *penicillium* untuk produksi asam sitrat dan asam tartrat (Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1967). Proses fermentasi ini tidak ekonomis.

Pemanasan Sodium Formiat

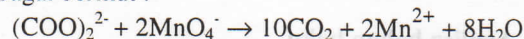
Pada metoda sodium formiat, dengan menggunakan autoclave bahan baku sodium formiat dipanaskan pada temperatur 200°C dan tekanan 150 psi sehingga dihasilkan natrium formiat. Dengan pemanasan lebih lanjut, pada temperatur 360°C natrium formiat akan terdekomposisi menjadi natrium oksalat dan H_2 (Kirk, dan Othmer, 1967). Selanjutnya natrium oksalat ini diubah menjadi asam oksalat dengan menambahkan asam sulfat.

Peleburan Alkali

Pada proses peleburan alkali, untuk memisahkan lignin dari ikatan selulosa, selulosa dilebur dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) pada temperatur $240^\circ\text{--}285^\circ\text{C}$. Dengan pemanasan lebih lanjut selulosa akan teroksidasi menjadi garam oksalat (natrium oksalat) (Groggins, 1958). Natrium oksalat ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) yang terbentuk diubah menjadi kalsium oksalat dengan menambahkan kalsium hidroksida dan asam oksalat dihasilkan dengan melarutkan endapan kalsium oksalat (CaC_2O_4) tersebut ke dalam H_2SO_4 . Untuk menghasilkan kristal asam oksalat, filtrat yang mengandung asam oksalat tersebut dipekatkan dan dikristalisasi.

Analisa kuantitatif asam oksalat dilakukan secara permanganometri dengan menggunakan larutan potasium permanganat (KMnO_4). Analisa dilakukan pada temperatur $70\text{--}80^\circ\text{C}$ (Underwood, dan Day, 1960; Herbert, 1960). Selain mudah

digunakan karena untuk analisa tidak membutuhkan indikator, KMnO_4 juga merupakan reaktan yang murah dan mudah diperoleh. Jika larutan permanganat ditambahkan tetes demi tetes pada larutan asam oksalat, pada tetesan awal terjadinya perubahan warna lambat. Selama titrasi berlangsung, perubahan warna makin cepat karena efek katalitik dari Mn (II). Mekanisme reaksi analisa permanganometri asam oksalat adalah sebagai berikut :



Reaksi pembuatan asam oksalat dari selulosa merupakan reaksi oksidasi parsial. Karena HNO_3 bersifat oksidator parsial, maka sebagai oksidator digunakan HNO_3 . Temperatur dan jenis senyawa yang dioksidasi berpengaruh terhadap konsentrasi asam nitrat yang digunakan (Groggins, 1958). Untuk oksidasi pada temperatur rendah digunakan HNO_3 50%-70%. Sebagai contoh, oksidasi sikloheksanol menjadi asam adipat pada temperatur $55^\circ\text{--}60^\circ\text{C}$ digunakan HNO_3 67%. Untuk oksidasi pada temperatur tinggi dibutuhkan konsentrasi HNO_3 yang lebih tinggi. Pembuatan asam oksalat dari selulosa pada temperatur $110^\circ\text{--}140^\circ\text{C}$ digunakan HNO_3 60%-90%. Jika HNO_3 yang digunakan diatas 90%, maka asam oksalat yang dihasilkan akan teroksidasi lebih lanjut menjadi CO_2 dan H_2O .

Katalis yang dapat digunakan untuk oksidasi parsial dengan HNO_3 berbeda-beda untuk oksidasi senyawa yang satu dengan yang lain. Katalis untuk oksidasi sikloheksanol menjadi asam adipat adalah garam-garam Cu, V, Mn yang larut dalam air. Untuk oksidasi xylene menjadi asam toluat, digunakan katalis Hg dan Se. Sedangkan katalis untuk oksidasi selulosa menjadi asam oksalat adalah Fe, Mn, V, Mo, dan V_2O_5 . Pada penelitian ini digunakan serbuk Fe sebagai katalis karena murah dan mudah diperoleh. Konsentrasi katalis yang digunakan adalah 0,8% (berat Fe terhadap bahan baku) (Groggins, 1958).

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari kondisi optimum reaksi pembuatan asam oksalat dari selulosa sabut kelapa, dengan menggunakan oksidator asam nitrat (HNO_3) dan katalis Fe, dengan variabel berubah temperatur, konsentrasi HNO_3 , dan waktu reaksi. Selain itu, dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan untuk penelitian pengembangan dan pemanfaatan bahan yang ada di sekitar yang belum dipotensialkan pemanfaatannya menjadi produk yang bernilai ekonomis tinggi.

Percobaan

Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sabut kelapa, HNO_3 , serbuk Fe, NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CH_3COOH , $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, KMnO_4 , dan H_2SO_4 .

Alat

Alat yang digunakan adalah rangkaian alat untuk analisa bahan baku, untuk oksidasi selulosa menjadi asam oksalat, dan untuk analisa kuantitatif produk secara permanganometri.

Metoda

Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yaitu analisa bahan baku, pembuatan asam oksalat, dan analisa kuantitatif produk.

Analisa bahan baku

Bahan baku sabut kelapa dianalisa kadar air, kadar abu dan kadar selulosanya. Analisa kadar air dan kadar abu dilakukan dengan cara pemanasan sampel pada temperatur tertentu yaitu pada temperatur 105°C dan 550°C sampai diperoleh berat konstan. Sedangkan analisa kadar selulosa dilakukan dengan cara sebagai berikut : chip sabut kelapa kering didinginkan pada suhu 20°C kemudian dilarutkan dalam NaOH 17,5% sebanyak 35 ml dan diaduk selama 10 menit. Selanjutnya ditambah NaOH 17,5% sebanyak 10 ml lagi dan diaduk selama 5 menit, ditambah NaOH 17,5% sebanyak 10 ml lagi dan diaduk selama 2,5 menit. Endapan yang terbentuk dilarutkan dalam NaOH 8,5% dan disaring. Endapan hasil filtrasi, direndam dalam CH₃COOH 2N selama 30 menit, disaring dan dicuci sampai netral. Endapan tersebut lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Pengeringan dilakukan sampai diperoleh berat konstan.

Pembuatan asam oksalat

Langkah-langkah pembuatan asam oksalat dengan menggunakan metoda oksidasi adalah sebagai berikut : setelah dibersihkan dan dikeringkan, sabut kelapa dibuat chip dengan ukuran ± 0.5 cm. Chip sabut kelapa tersebut dilarutkan dalam HNO₃ 8N atau 9N sebanyak 500 ml dan ditambahkan katalis Fe 0,8% (berat Fe terhadap bahan baku). Setelah campuran diaduk dan dibiarkan selama 24 jam, campuran dipanaskan dalam rangkaian alat oksidasi pada temperatur 110°C atau 120°C selama 20 atau 30

menit. Setelah 20 atau 30 menit waktu reaksi larutan produk yang didapatkan dipisahkan dari reaktan sisa. Asam oksalat yang dihasilkan dianalisa secara kuantitatif.

Analisa kuantitatif asam oksalat secara permanganometri

Larutan produk yang didapatkan, dipisahkan dari reaktan sisa. Setelah ditambah NH₄OH sampai pH 8, larutan ditambah dengan Ca(OH)₂ jenuh. Endapan yang dihasilkan, disaring dan dicuci dengan aquades panas. Kemudian dilarutkan dalam H₂SO₄ 2N dan dititrasi dengan KMnO₄ 0,1N pada temperatur 70°-80°C.

Pada penelitian ini, untuk mencari kondisi reaksi optimum digunakan metoda eksperimen desain yaitu sekumpulan percobaan yang dirancang untuk mendapatkan data-data *concrete* guna pembuktian suatu hipotesa. Metoda ini merupakan salah satu perhitungan yang sering digunakan karena membutuhkan jumlah percobaan yang lebih sedikit untuk mengetahui pengaruh/efek pada semua variabel. Selain itu, kondisi reaksi optimum yang diperoleh lebih tepat karena menyertakan faktor-faktor interaksinya dan kesimpulan yang diambil lebih pasti karena didukung oleh perhitungan statistik yang mudah dan sederhana (George, 1978; Spiegel, 1981).

Eksperimen desain ada beberapa cara, salah satunya adalah faktorial desain dua (2) level. Yang dimaksud 2 level adalah digunakannya 2 harga, harga rendah dan harga tinggi untuk setiap variabel. Biasanya, harga tinggi diberi tanda (+) dan harga rendah (-) (George, 1978; Spiegel, 1981). Pada penelitian ini, untuk 3 variabel berubah yang akan diuji, yaitu konsentrasi HNO₃ sebagai oksidator (8N dan 9N), temperatur reaksi (110°C dan 120°C), serta waktu reaksi (20 menit dan 30 menit), dibutuhkan percobaan sejumlah 2³ = 8 percobaan (run).

Hubungan masing-masing variabel dan interaksinya terhadap harga level dihitung secara aritmetika dengan cara sebagai berikut :

Tabel 1. Harga level terhadap yield

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Yield
1	+	+	-	+	-	-	-	Y1
2	+	+	+	+	+	+	+	Y2
3	+	-	-	-	-	+	+	Y3
4	+	-	+	-	+	-	-	Y4
5	-	+	-	-	+	-	+	Y5
6	-	+	+	-	-	+	-	Y6
7	-	-	-	+	+	+	-	Y7
8	-	-	+	+	-	-	+	Y8

Keterangan :

A (temperatur reaksi, 120°C dan 110°C)

B (Konsentrasi HNO₃, 9N dan 8N)

C (Waktu reaksi, 30 menit dan 20 menit)

Perhitungan efek utama dan efek interaksi :

Ratrata:

$$I_0 : \frac{1}{8} (Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_8)$$

Efek A :

$$I_1 : \frac{1}{4} (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 - Y_5 - Y_6 - Y_7 - Y_8)$$

Efek B :

$$I_2 : \frac{1}{4} (Y_1 + Y_2 - Y_3 - Y_4 + Y_5 + Y_6 - Y_7 - Y_8)$$

Efek C :

$$I_3 : \frac{1}{4} (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4 - Y_5 + Y_6 - Y_7 + Y_8)$$

Efek AB:

$$I_{12} : \frac{1}{4} (Y_1 + Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 - Y_6 + Y_7 + Y_8)$$

Efek AC:

$$I_{13} : \frac{1}{4} (-Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4 + Y_5 - Y_6 + Y_7 - Y_8)$$

Efek BC:

$$I_{23} : \frac{1}{4} (-Y_1 + Y_2 + Y_3 - Y_4 - Y_5 + Y_6 + Y_7 - Y_8)$$

Efek ABC:

$$I_{123} : \frac{1}{4} (-Y_1 + Y_2 + Y_3 - Y_4 + Y_5 - Y_6 - Y_7 + Y_8)$$

Dari perhitungan efek utama dan efek interaksi diatas dapat disusun persamaan yield sebagai berikut :

$$Y = I_0 + (I_1 \cdot X_A) + (I_2 \cdot X_B) + (I_3 \cdot X_C) + (I_{12} \cdot X_{AB}) + (I_{13} \cdot X_{AC}) + (I_{23} \cdot X_{BC}) + (I_{123} \cdot X_{ABC}) \dots (1)$$

dengan $X_N : \frac{(N - \text{harga tengah})}{(\text{interval}/2)}$

untuk efek A yaitu pengaruh temperatur reaksi terhadap yield maka,

$$X_A : \frac{(\text{temperatur reaksi} - 115)}{5}$$

Demikian juga untuk pengaruh konsentrasi HNO_3 , waktu reaksi, dan interaksinya. Berdasarkan nilai mutlak yang didapatkan (I_1 , I_2 , dan I_3) dapat ditentukan variabel yang paling berpengaruh yaitu variabel yang mempunyai nilai mutlak tertinggi. Jika dari perhitungan efek utama didapatkan $I_1 > 0$

menunjukkan bahwa perubahan harga A dari harga rendah ke harga tinggi akan memperbesar yield sebesar I_1 . Sebaliknya jika $I_1 < 0$ maka perubahan harga A dari harga rendah ke harga tinggi akan menurunkan yield sebesar I_1 .

Setelah variabel yang paling berpengaruh ditentukan, dilakukan optimasi reaksi dengan menentukan harga masing-masing variabel dengan 2 variabel lain sebagai variabel tetap dan variabel berpengaruh sebagai variabel berubah. Dari data optimasi reaksi yang didapatkan, dihitung persamaan yield secara aritmetika menggunakan persamaan polinomial pangkat dua :

$$Y = a_1 + a_2C + a_3C^2 \dots (2)$$

Hasil Percobaan

Dengan menggunakan metoda faktorial desain 2 level didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Percobaan Metoda Faktorial Desain 2 Level

Run	suhu (°C)	HNO ₃ (N)	Waktu (menit)	Yield (%)
1	120	9	20	15,2295
2	120	9	30	13,8633
3	120	8	20	14,0271
4	120	8	30	13,3592
5	110	9	20	14,9724
6	110	9	30	15,1709
7	110	8	20	15,0001
8	110	8	30	13,8948

$$(Y) : 14,4397 - 0,6398X_A + 0,7387X_B - 0,7352X_C + 0,1145X_{AB} - 0,2818X_{AC} + 0,1514X_{BC} + 0,5024X_{ABC} \dots (1)$$

$$\text{dengan } X_A : \frac{\text{temperatur} - 115}{5}$$

$$X_B : \frac{\text{konsentrasi HNO}_3 - 8,5}{0,5}$$

$$X_C : \frac{\text{waktu} - 25}{5}$$

Berdasarkan persamaan (1), maka untuk memperbesar yield harga X_A , X_B , dan X_C harus lebih besar dari nol. Agar $X_A > 0$ temperatur reaksi $< 115^\circ\text{C}$, $X_B > 0$ konsentrasi $\text{HNO}_3 > 8,5\text{N}$, dan $X_C > 0$ waktu reaksi < 25 menit. Dari perhitungan efek utama dan efek interaksi ditentukan variabel yang paling berpengaruh yaitu variabel yang mempunyai nilai mutlak tertinggi. Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa konsentrasi HNO_3 mempunyai nilai mutlak tertinggi sebesar 0,7387. Karena konsentrasi HNO_3 merupakan variabel yang paling berpengaruh, maka untuk optimasi reaksi dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi HNO_3 . Untuk memperbesar yield temperatur harus lebih rendah dari 115°C , waktu reaksi kurang dari 25 menit dan konsentrasi HNO_3 lebih pekat dari 8,5 N, maka optimasi reaksi dilakukan pada temperatur 110°C dan waktu reaksi selama 20 menit sebagai variabel tetap dengan konsentrasi HNO_3 divariasikan dari 8,5N s.d. 9N sebagai variabel berubah.

Hasil percobaan metoda optimasi adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Percobaan Metoda Optimasi

Run	suhu (°C)	HNO ₃ (N)	Waktu (menit)	Yield (%)
1	110	8,5	20	14,3674
2	110	8,6	20	15,4967
3	110	8,7	20	12,2123
4	110	8,8	20	12,4770
5	110	8,9	20	12,7353
6	110	9,0	20	13,2880

$$Y = 1591,5159 - 357,0067Ci + 20,1813Ci^2$$

Pembahasan

Berdasar perhitungan efek utama dan efek interaksi, konsentrasi HNO₃ merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap yield. Meskipun temperatur dan waktu reaksi yang digunakan tinggi, tetapi jika konsentrasi HNO₃ yang digunakan kurang pekat maka asam oksalat yang didapatkan sedikit. Sebagai contoh, pada percobaan ke-4 pada temperatur 120°C dan waktu reaksi selama 30 menit didapatkan yield terendah. Karena konsentrasi HNO₃ yang ditambahkan kurang pekat maka terjadinya tumbukan antara molekul reaktan hanya sedikit sehingga sedikit juga reaktan yang bereaksi menjadi asam oksalat.

Pada penelitian ini, kondisi optimum reaksi pembuatan asam oksalat adalah pada temperatur 110°C dan waktu reaksi selama 20 menit. Jika digunakan temperatur reaksi lebih tinggi dari 110°C dan waktu reaksi lebih lama dari 20 menit, dimungkinkan sebagian dari asam oksalat yang terbentuk teroksidasi lebih lanjut menjadi CO₂ dan H₂O.

Meskipun secara ekonomis limbah sabut kelapa dapat dimanfaatkan menjadi asam oksalat tetapi yield yang diperoleh rendah. Untuk memperoleh yield yang tinggi diusahakan sistem pengadukan yang tepat sehingga chip sabut kelapa dapat tercampur rata dengan oksidator HNO₃. Dengan sistem pengadukan yang tepat, pemanasan yang terjadi dapat merata di setiap bagian reaktan sehingga terjadinya tumbukan antara molekul reaktan yang optimal hingga mengakibatkan banyaknya reaktan selulosa sabut kelapa teroksidasi menjadi asam oksalat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, limbah sabut kelapa dapat dimanfaatkan untuk membuat asam oksalat dengan metoda oksidasi menggunakan oksidator HNO₃ dan katalis Fe.

Kondisi optimum reaksi pembuatan asam oksalat dengan metoda ini adalah : pada temperatur 110°C, waktu reaksi 20 menit, dan konsentrasi HNO₃ 8,6 N dengan konsentrasi

katalis Fe 0,8% (berat Fe terhadap berat bahan baku).

Daftar Pustaka

1. George, E.P., "Statistic for Experimenters", John Willey and Sons, Inc., New York, 1978.
2. Groggins, P.H., "Unit Processes in Organic Synthesis", 5th Edition, Mc.Graw Hill Kogakusha, Co, Tokyo, 1958.
3. Herbert, A. L., "Chemical Analysis", Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1960.
4. Kirk, R.E. and Othmer, D.F., "Encyclopedia of Chemical Technology" Volume XVII, 4th Edition, John Willey and Sons, Inc, New York, 1967.
5. Kenneth, W. Britt, "Handbook of Pulp and Paper Technology" 2nd Edition, New York, 1970.
6. Spiegel, N.R., "Statistic", 1st Edition, Schaum's Outline Series, Mc. Graw Hill Book Co., Singapore, 1981.
7. Underwood, A.L. and R.A. Day, Jr., "Chemical Quantitatif Analysis" 4th Edition, Mc Graw Hill Book Co., New York, 1960.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang yang telah memfasilitasi terselenggaranya kegiatan penelitian ini.

Notasi :

- Y : Yield, %
I : Nilai mutlak
N : Variabel
Ci : Konsentrasi HNO₃, N