

Pengaruh Rasio Molar Formaldehid/Urea (F/U) menggunakan Katalis NaOH dan NH₄OH terhadap Pembuatan Resin Urea Formaldehid Skala Laboratorium

The Effect of Formaldehyde/Urea (F/U) Molar Ratio using NaOH and NH₄OH Catalyst on Production of Urea-Formaldehyde Resin in Laboratory-Scale

Iqbal Syaichurrozi^{a*}, Della Tri Winarni^a, Mita Napitasari^a, Yulius Sandy^a, Yahya Almundzir^a, Heri Heriyanto^a

^aJurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl Jend.Sudirman Km.3 Cilegon, 42435, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 29 April 2016
Diterimadalam revisi 15 Mei 2016
Diterima 20 Mei 2016
Online 1 Juni 2016

ABSTRAK: Studi ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh rasio molar formaldehid/urea (F/U) dan jeni katalis terhadap pembuatan resin urea-formaldehid. F/U divariasikan 1,5; 2; 2,5; 3. Katalis yang digunakan adalah NaOH dan NH₄OH. Berdasarkan hasil percobaan diperoleh densitas resin urea-formaldehid pada F/U 1,5; 2; 2,5; 3 adalah 1360, 1370, 1360, 1330 kg/m³ menggunakan katalis NaOH dan 1370, 1370, 1350, 1350 kg/m³ menggunakan katalis NH₄OH. Sedangkan viskositas absolut pada F/U 1,5; 2; 2,5; 3 adalah 0,007347672; 0,007723512; 0,007347672; 0,006873174kg/m.s, menggunakan katalis NaOH dan 0,00879; 0,00827; 0,00813; 0,00643 kg/m.s menggunakan NH₄OH. Kadar resin (%) yang diperoleh pada F/U 1,5; 2; 2,5; 3 adalah 25,92; 30,19; 28,85; 25 % menggunakan katalis NH₄OH dan 10,71; 11,6; 9,45; 14,28 % menggunakan katalis NaOH.

Kata Kunci: F/U, Katalis, Resin, Urea-Formaldehid

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the molar ratio of formaldehyde/urea (F/U) and catalysts against the formation of urea-formaldehyde resin. The F/U ratios varied in 1.5, 2, 2.5, 3. NaOH and NH₄OH were used as catalysts. The results showed that density of urea-formaldehyde resin at F/U of 1.5, 2, 2.5, 3 was 1360, 1370, 1360, 1330 kg/m³ by using catalyst of NaOH and 1370, 1370, 1350, 1350 kg/m³ by using catalyst of NH₄OH. Meanwhile, the absolute viscosity of urea-formaldehyde resin at F/U of 1.5, 2, 2.5, 3 was 0.007347672; 0.007723512; 0.007347672; 0.006873174kg/m.s by using catalyst of NaOH and 0.00879; 0.00827; 0.00813; 0.00643 kg/m.s in using catalyst of menggunakan NH₄OH. Resin formed (%) at F/U of 1.5, 2, 2.5, 3 was 25.92; 30.19; 28.85; 25 % in using catalyst of NH₄OH and 10.71; 11.6; 9.45; 14.28 % by using catalyst of NaOH.

Keywords: F/U, Catalyst, Resin, Urea-Formaldehyde

1. Pendahuluan

Resin urea formaldehida merupakan material universal yang banyak digunakan pada bidang teknik seperti industri pelapisan dan untuk memperbaiki sifat kerapuhan dan ketahanan air. (Barminas dan Osemeahon, 2006). Urea-formaldehida (UF) resin adalah resin pengikat utama interior papan komposit kayu, seperti; papan serat dengan kepadatan menengah, dan kayu lapis keras. Hasil reaksi antara urea dan formaldehid mempunyai sifat tahan terhadap asam, basa, tidak dapat melarut dan tidak dapat meleleh yang termasuk kedalam golongan *thermosetting*. Polimer *thermosetting* dibuat dengan menggabungkan komponen-komponen yang bersifat saling menguatkan sehingga dihasilkan polimer dengan derajat *cross link* yang sangat tinggi. Resin urea formaldehid biasanya menghasilkan produk unggulan seperti plastik, tetapi hanya dapat digunakan dalam interior non-struktural. (Obichukwu, 2006)

Pada pembuatan urea formaldehid dengan kondisi basa terdiri dari reaksi substitusi dimana formaldehida bereaksi dengan urea untuk membentuk urea metilol dengan derajat *methylolation* yang berbeda (derajat substitusi oleh kelompok metilol).

Parameter reaksi dapat diubah untuk mengontrol molekul yang terbentuk, misalnya derajat percabangan molekul UF. Parameter yang dapat mengubah hasil produk UF meliputi: pH, waktu reaksi, suhu reaksi dan rasio molar urea formaldehid pada tahapan yang berbeda dari reaksi. Laju reaksi urea dengan formaldehid dipelajari secara ekstensif oleh de Jong dan de Jonge (1952). Meskipun kondisi reaksi mereka hanya sebagian identik dalam pH rendah dan rentang suhu yang tidak jauh, namun hasil yang diperoleh berbeda dari yang diperoleh Cedwall dan Lynch untuk mekanisme reaksi yang sedikit berbeda. Juga nilai untuk konstanta laju yang diperoleh Donally tampaknya sekitar

* Corresponding Author: +6282310809665
Email: iqbalsyaichurrozi@gmail.com

sepertiga dari nilai yang ditemukan dalam karya de Jongdan de Jong.

Penelitian yang dilakukan oleh Scheiber et al. (1928) menemukan bahwa pada suasana asam diperoleh methylolol dan senyawa "Gold Schmidt's" dari monomethylolurea dengan berat molekul rendah. Studi yang dilakukan Ivana et. al (2010) dalam jurnal distribusi massa-molar resin urea-formaldehid dengan perbedaan derajat polimerisasi menggunakan MALDI-TOFF *mass-spectrometry* terbatas hanya pada perbandingan F/U = 1,45 dan 2.

Studi tentang urea formaldehid sudah banyak dilakukan. Studi tentang urea formaldehid dengan variasi perbandingan molar umpam F/U sebesar 1,25 sampai dengan 2,00 dimaksudkan supaya resin urea formaldehid yang terbentuk tidak kental dan tidak encer. Resin urea formaldehid yang dihasilkan berwarna putih keruh dengan kekentalan yang cukup sehingga mempermudah analisis baik analisis densitas, analisis viskositas, analisis kadar formaldehid bebas, dan analisis curing. Besarnya perbandingan molar umpam formaldehid dengan urea sangat berpengaruh pada produk resin urea formaldehid yang dihasilkan, bila perbandingan molar umpam kurang dari 1,25 maka resin urea formaldehid yang dihasilkan memiliki kadar formaldehid rendah dan menghasilkan resin urea formaldehid yang kepadatan dan kekerasan rendah, sedangkan bila perbandingan molar umpam lebih dari 2 maka resin urea formaldehid yang dihasilkan memiliki kadar formaldehid tinggi dan menghasilkan resin urea formaldehid yang kepadatan dan kekerasan yang tinggi. (Modric, 2013).

Objek pada percobaan ini mengarah kepada pengaruh rasio molar (F/U) dan katalis yang digunakan terhadap densitas, viskositas serta laju reaksi pembentukan urea formaldehid dalam waktu percobaan 1 jam dan temperatur konstan pada 85°C dengan kondisi basa.

Tujuan dari studi polimerisasi urea formaldehid adalah untuk mengetahui pengaruh F/U, orde reaksi, viskositas, densitas dan curing pada polimerisasi urea formaldehid.

2. Metode Percobaan

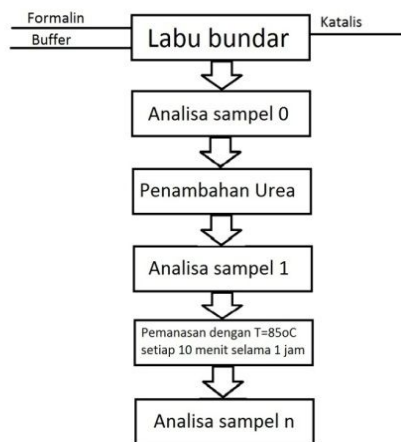
Pada penelitian ini bahan yang digunakan pada pembuatan resin urea-formaldehid adalah larutan amoniak (NH_4OH) 25 % massa, asam sulfat (H_2SO_4) 0,25 N, etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 0,25 N, formalin (CH_2O) (mengandung 37% formaldehid), indikator PP, larutan natrium hidroksida (NaOH) 25% massa, natrium karbonat (Na_2CO_3), natrium sulfit (Na_2SO_3) 25% massa, dan urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (mengandung 46% nitrogen). Alat yang digunakan pada studi pembuatan resin urea-formaldehid adalah 1 buah buret 50 ml, 3 buah cawan porselen, 6 buah erlenmeyer 250 ml, 2 buah gelas ukur masing-masing berukuran 10 ml dan 50 ml, 1 buah gelas beker 500 ml, 1 buah labu ukur 500 ml, 1 buah oven, 1 buah reaktor, 1 buah spatula, dan 1 buah termometer.

2.1 Pembuatan Resin Urea-Formaldehid

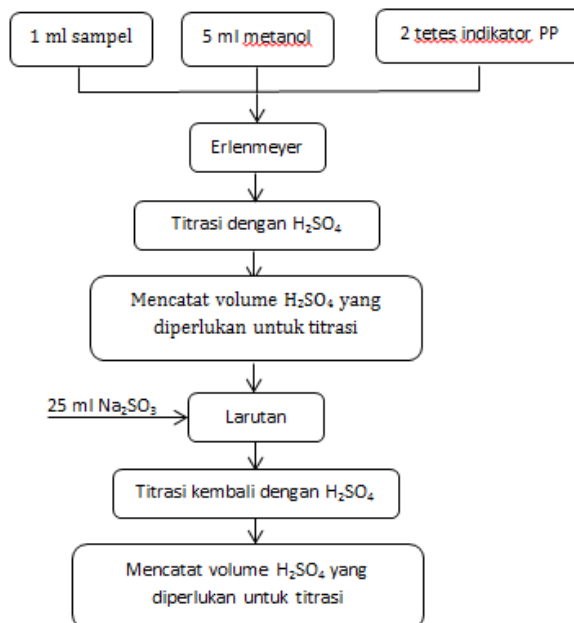
Diagram alir pembuatan resin urea-foomaldehid dapat dilihat pada Gambar 1. Umpam yang digunakan terdiri dari urea, formalin, dan katalis. Perbandingan molar antara formaldehid dan urea divariasikan 1,5; 2; 2,5; 3. Penambahan katalis sebanyak 5% dari massa total

(formaldehid+urea+katalis+buffer), dan penambahan buffer sebanyak 0,25% dari massa total (formaldehid+urea+katalis+buffer). Katalis yang digunakan adalah NaOH dan NH_4OH . Kedua jenis katalis tersebut digunakan pada semua variasi F/U.

Pertama, formalin, katalis dan buffer dimasukkan ke dalam labu ukur. Kemudian campuran yang terjadi disebut sampel 0. Sampel ini dianalisa viskositas dan densitasnya. Selanjutnya campuran ini (sampel 0) ditambah urea yang selanjutnya disebut Sampel 1. Sampel ini dianalisa formaldehid bebas, viskositas dan densitasnya. Kemudian Sampel 1 dipanaskan selama 10 menit pada suhu 85°C. Setelah itu campuran didinginkan dan dianalisa formaldehid bebas, viskositas dan densitasnya. Campuran ini disebut Sampel 2. Begitu seterusnya selama 60 menit.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Resin Urea-Formaldehid



Gambar 2. Diagram Alir Analisa Formaldehid Bebas

2.2 Analisa Formaldehid Bebas

Diagram alir analisa formaldehid bebas dapat dilihat pada Gambar 2. Pertama, mencampurkan 1 cc sampel, 5 cc alkohol, dan 2-3 tetes indikator pp kedalam labu titrasi tertutup. Kemudian, campuran dititrasi untuk menentukan titik akhir larutan netral. Menambahkan 25 cc sodium sulfat kedalam labu. Mereaksikan larutan dengan melakukan pengocokkan selama 10 menit. Lalu, menitrasi larutan dengan asam sulfat dan melakukannya sebanyak dua kali.

2.3 Analisa Viskositas

Pertama, memasukkan sampel kedalam viskometer ostwald. Kemudian, mencatat waktu yang diperlukan sampel untuk mengalir dari satu batas ke batas lainnya.

2.4 Analisa Densitas

Untuk analisa densitas dilakukan dengan menimbang piknometer kosong dalam neraca analitik. Kemudian menambahkan sampel dengan volume tertentu dan menimbang massanya. Selanjutnya perbedaan massa dihitung dan diperoleh densitas sampel.

3. Hasil dan Pembahasan

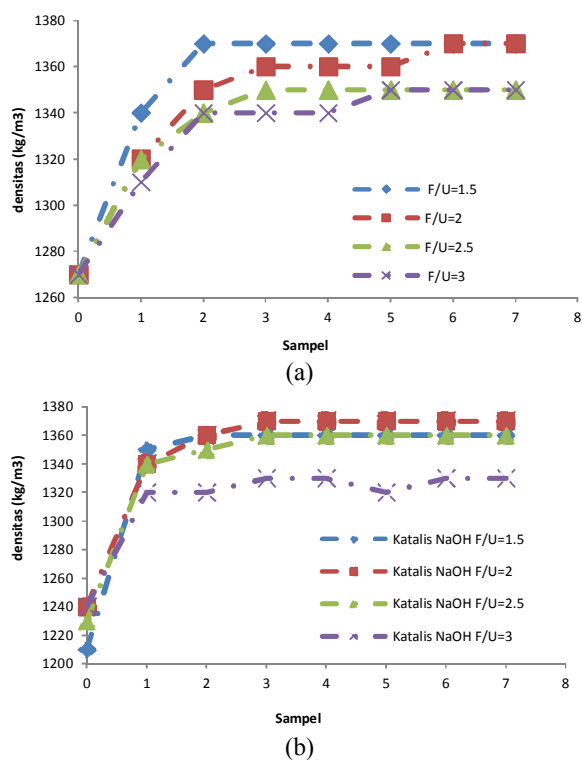
3.1 Pengaruh Variasi F/U terhadap Densitas

Berdasarkan hasil percobaan diperoleh viskositas sampel resin urea formaldehid pada Gambar 3. Densitas akan semakin tinggi seiring dengan semakin lama reaksi terjadi. Hal ini disebabkan oleh resin urea formaldehid yang terbentuk akan semakin banyak sehingga larutan menjadi lebih kental. Larutan yang semakin kental menunjukkan bahwa partikelnya semakin rapat sehingga densitasnya akan semakin besar. Semakin tinggi rasio molar F/U, semakin tinggi konten formaldehida bebas diresin (Dunky, 1998). Menurut Jermejeff (2012) tingginya jumlah formaldehida bebas dapat menghambat reaksi kondensasi seperti menghambat terbentuknya methylol dan meningkatkan derajatpercabangan molekul UF. Semakin banyak cabang pada rantai polimer maka densitasnya akan semakin kecil. Pada gambar 3 menunjukkan hubungan antara densitas terhadap sampel yang diambil setiap selang waktu 10 menit. Variasi F/U pada percobaan ini adalah 1,5; 2,0; 2,5 dan 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio molar semakin rendah densitasnya. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Jermejeff (2012).

Pada penelitian dengan menggunakan katalis NH_4OH diperoleh densitas urea formaldehid yang terbentuk pada variasi F/U 1,5 adalah 1370 kg/m^3 , pada F/U 2 adalah 1370 kg/m^3 , pada F/U 2,5 diperoleh 1350 kg/m^3 dan pada F/U 3 diperoleh 1350 kg/m^3 . Nilai F/U=2 memiliki nilai densitas yang tinggi hal ini disebabkan F/U=2 merupakan perbandingan stoikiometri yang optimum antara formaldehid dan urea. Sedangkan sampel dengan F/U 2,5 dan sampel F/U=3 memiliki nilai densitasnya rendah karena nilai konversinya kecil. Hal ini disebabkan nilai reaktan utama lebih sedikit dari nilai stoikiometrinya sehingga formaldehid mengalami reaksi disproporsionasi.

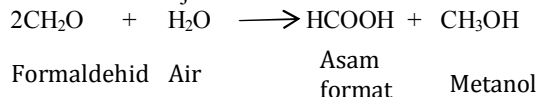
Hubungan antara sampel 0-7 dengan F/U = 1,5; 2; 2,5; dan 3 terhadap densitas pada katalis NaOH dipaparkan pada Gambar 3b. Dari grafik (3b) dapat dilihat bahwa untuk nilai

F/U yang sama, densitas sampel semakin meningkat. Sampel 0 memiliki nilai densitas yang paling rendah karena belum dicampur dengan urea. Sampel 1-7 memiliki nilai densitas yang meningkat karena pengaruh waktu reaksi dan pemanasan sehingga lebih banyak reaktan yang terkonversi. Pada penelitian dengan menggunakan katalis NaOH diperoleh densitas urea formaldehid yang terbentuk pada variasi F/U 1,5 yaitu 1360 kg/m^3 , pada F/U 2 yaitu 1370 kg/m^3 , pada F/U 2,5 yaitu 1360 kg/m^3 , dan pada F/U 3 yaitu 1330 kg/m^3 . Pada F/U=2 memiliki nilai densitas tertinggi yaitu 1370 kg/m^3 . Pada F/U =2 memiliki hasil yang optimum dalam pembentukan urea formaldehid hal ini terlihat dari nilai densitas yang dihasilkan mendekati nilai dari literatur yaitu $1,2 \text{ g/cm}^3 - 1,45 \text{ g/cm}^3$ atau nilai konversinya yaitu $1200 \text{ kg/m}^3 - 1450 \text{ kg/m}^3$ (Tae lee, 2012).



Gambar 3. Grafik Analisa Densitas dengan (a) Katalis NH_4OH , (b) katalis NaOH

Sampel urea formaldehid dengan katalis NaOH memiliki range densitas 1330 kg/m^3 sampai 1370 kg/m^3 dan sampel urea formaldehid dengan katalis NH_4OH memiliki range densitas 1350 kg/m^3 sampai 1370 kg/m^3 . Penggunaan katalis NaOH menghasilkan densitas yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan katalis NH_4OH . Hal ini dikarenakan katalis NaOH bersifat basa kuat sehingga formaldehid mengalami reaksi Cannizaro, yaitu reaksi disproporsionasi formaldehid menjadi asam format dan metanol.



(Ratnaningtyas, 2012)

Hubungan densitas (kg/m³) terhadap perubahan waktu (detik) pada sampel urea formaldehid dapat dilihat grafik pada gambar 2. Dari dua grafik tersebut terlihat bahwa selama reaksi berlangsung, densitas yang diperoleh dengan katalis NH₄OH ataupun NaOH mengalami kenaikan sesuai dengan teori. Menurut teori, semakin lama reaksi berlangsung maka akan semakin banyak produk yang dihasilkan, dan akan konstan bila semua reaktan sudah terkonversi.

$$T = N_{AO} \int_0^{XA} \frac{dXA}{(-r_{AV})} = \frac{\rho}{BM} \int_0^{XA} \frac{dXA}{(-r_A)}$$

dimana : $N_{AO} = \frac{gr}{BM} = \frac{\rho \cdot v}{BM}$

(Levenspiel, 1999)

Hasil penelitian pembuatan resin urea formaldehid yang telah dilakukan oleh Osemeahon et al. (2013) dengan menggunakan katalis NaOH diperoleh densitas 1,168 g/cm³ (Tabel 1), sedangkan pada penelitian ini, dengan menggunakan katalis NH₄OH dan juga NaOH diperoleh densitas 1,370 g/cm³ dan 1,370 g/cm³. Adanya perbedaan hasil densitas yang diperoleh dapat dipengaruhi oleh pH ketika reaksi kondensasi terjadi. Berdasarkan hasil penelitian ini, katalis NH₄OH menghasilkan hasil yang optimum dalam pembentukan urea formaldehid. Hal ini terlihat dari densitas yang dihasilkan sesuai dengan literatur yaitu 1280-1290 kg/m³ (Miljkovic et al., 2006). Namun menurut penelitian Osemeahon et al. (2009) densitas resin hasil penelitian ini termasuk ke dalam standar resin UF yang dapat digunakan pada industri pelapisan. Penelitian yang dilakukan oleh Ivana et. al. (2010) memperoleh hasil densitas resin UF dengan F/U = 2 adalah 1,24 g/cm³ sedangkan pada F/U=1,45 diperoleh 1.3 g/cm³.

Tabel 1. Perbandingan sifat fisik resin UF terhadap nilai yang diijinkan untuk industri *coating*

Parameter	UF	Nilai yang diijinkan pada industri <i>coating</i> (Osemeahon et al, 2009)
Density (g/cm)	1,168	1,07 (min.)
Refractive index	1,410	1,4000 (min.)
Formaldehyde emission (ppm)	0,0500	0,1 (max.)
Moisture uptake (%)	3,3000	3,10 (max.)
Viscosity (mpa.s)	3,1111	3,11-38,00
Elongation at break (%)	40	125 (min.)
Melting Point	250,00	200 (max)

Sumber : Osemeahon et al. 2013

3.2 Pengaruh Variasi F/U terhadap Viskositas

Sama halnya dengan densitas, viskositas juga akan semakin tinggi seiring semakin lamanya reaksi terjadi. Hal ini disebabkan karena semakin banyak resin urea formaldehid yang terbentuk sehingga larutan menjadi semakin kental (Mao et al, 2013). Semakin kental resin yang terbentuk maka

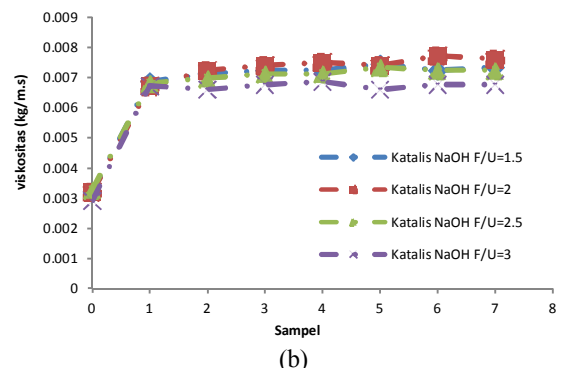
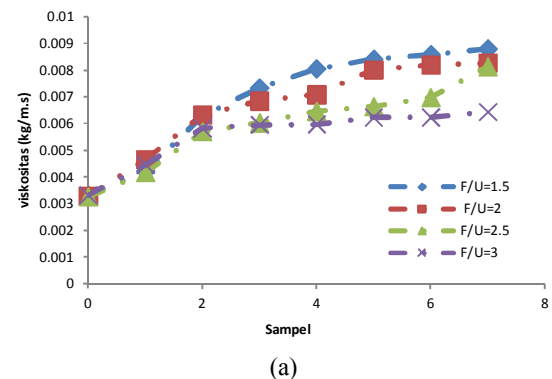
pertikelnya semakin rapat sehingga waktu yang dibutuhkan larutan campuran untuk mengalir dalam viscometer menjadi semakin lama.

Hasil analisa viskositas pada penelitian dengan katalis NH₄OH ini diperoleh viskositas absolut pada rasio F/U 1,5 diperoleh 0,00879 kg/m s, pada F/U 2 diperoleh 0,00827 kg/m s, pada F/U 2,5 adalah 0,00813 kg/m s dan pada F/U 3 adalah 0,00643 kg/m s, sedangkan dengan katalis NaOH diperoleh pada rasio F/U 1.5 nilai viskositas absolutnya sebesar 0,007347672kg/m.s, pada F/U 2 sebesar 0,007723512kg/m.s, pada F/U 2.5 sebesar 0,007347672kg/m.s, dan pada F/U 3 sebesar 0,006873174kg/m.s (Gambar 4). Semakin tinggi rasio molar F/U maka viskositas resin UF yang diperoleh semakin kecil. Tingginya jumlah formaldehida bebas dapat menghambat reaksi kondensasi (dengan asumsi nilai pH tidak berubah), seperti menghambat terbentuknya methylol dan meningkatkan derajat percabangan molekul UF (Jermejeff, 2012). Semakin banyak cabang pada rantai polimer maka densitasnya akan semakin kecil. Semakin kecil densitas maka viskositasnya juga akan semakin kecil sesuai dengan persamaan berikut;

$$\mu \text{ kinematis} = t \times k \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu \text{ absolut} = \mu \text{ kinematis} \times \rho \dots\dots\dots (2)$$

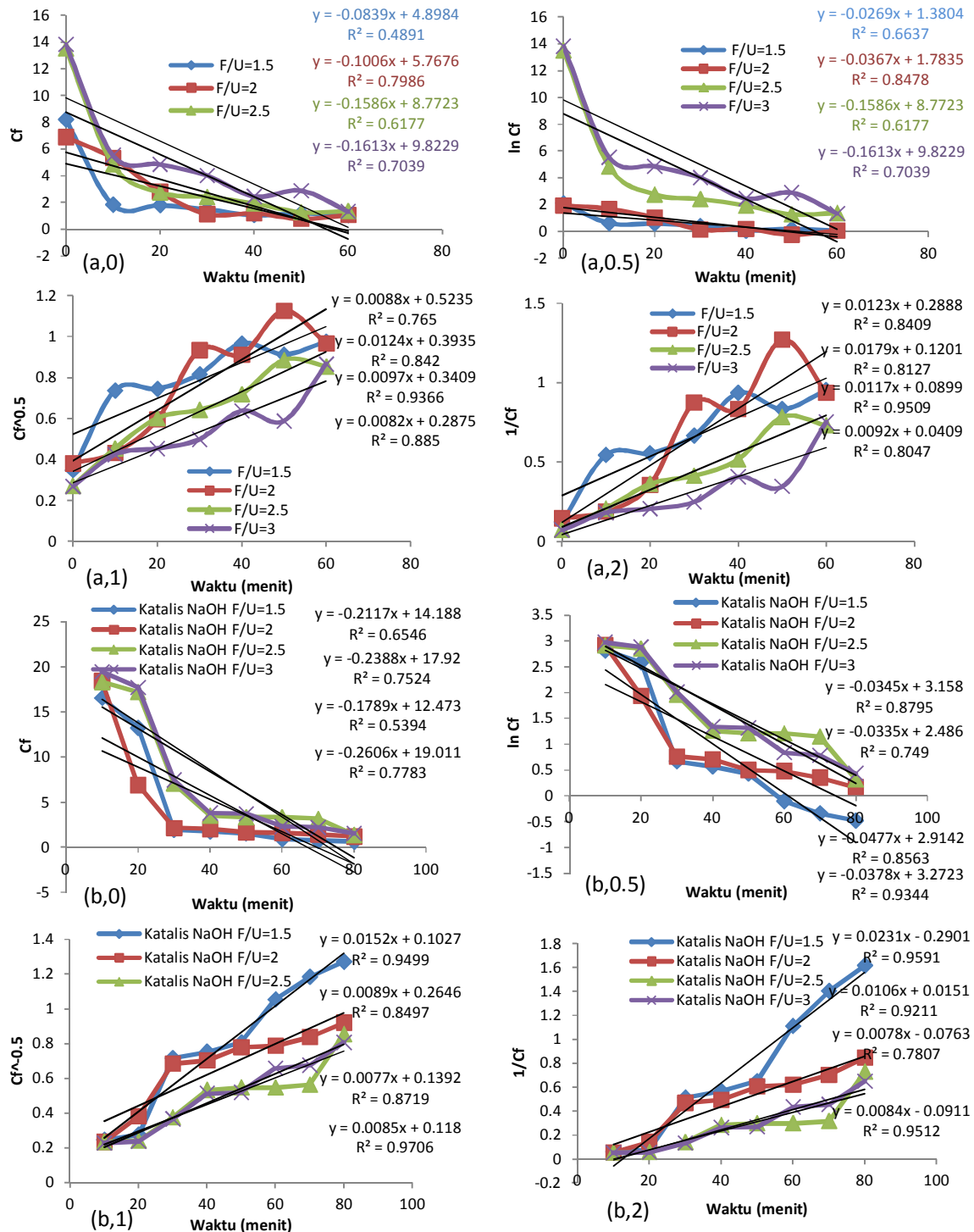
Menurut Osemeahon (2013), nilai viskositas resin urea yaitu 0,003 kg/m s – 0,038 kg/m.s, sehingga nilai viskositas yang diperoleh pada sampel dengan katalis NaOH F/U=1,5 sebesar 0,007347672 kg/m.s, pada sampel dengan katalis NaOH F/U=2 sebesar 0,007616241 kg/m.s, pada sampel dengan katalis NaOH F/U=2,5 sebesar 0,007241184 kg/m.s, dan pada sampel dengan katalis NaOH F/U=3 sebesar 0,006769035 kg/m.s.



Gambar 4. Grafik Analisa Viskositas (a) katalis NH₄OH (b) katalis NaOH

Nilai viskositas pada sampel dengan katalis NaOH F/U=2 memiliki nilai viskositas terbesar. Hal ini dikarenakan, pada sampel dengan katalis NaOH F/U=2 merupakan perbandingan stoikiometri yang optimum antara formaldehid dan urea sehingga menghasilkan produk hasil samping

berupa asam format dan metanol. Selain itu, viskositas dinamik juga berbanding lurus dengan densitas seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2), sehingga hasilnya sesuai dengan analisa densitas yang telah dilakukan, dimana densitas pada sampel dengan katalis NaOH F/U=2 memiliki nilai terbesar pula.



Gambar 5. Grafik Penentuan orde (a) katalis NH₄OH (b) katalis NaOH

Kisaran viskositas sampel dengan katalis NH₄OH lebih besar (0,00643 – 0,00879 kg/m.s) dibandingkan dengan penggunaan katalis NaOH (0,00687-0,00772 kgm.s). Hal ini terjadi karena katalis NaOH bersifat lebih basa dibandingkan dengan NH₄OH, dimana ketika pH reaksi naik pada pH yang lebih basa maka viskositas resinakan menurun. Pada pH dibawah 4,5 akan menyebabkan reaksi sulit dikendalikan, akan tetapi ketika pH terlalu tinggi menyebabkan rekasi kondensai tidak terjadi sehingga kenaikan viskositas tidak dapat terlihat (Jermejeff,2012).

3.3 Penentuan Orde Reaksi

Untuk penentuan orde reaksi urea formaldehid dilakukan dengan membuat grafik orde reaksi mulai dari orde 0, orde 1/2, orde 1, dan orde 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Konstanta laju reaksi menunjukkan mudah tidaknya reaksi berlangsung. Setiap laju reaksi memiliki nilai k tertentu bergantung pada sifat pereaksi. Semakin besar nilai k maka reaksi akan semakin cepat berlangsung, begitu pun sebaliknya (Azizah, 2004).

Gambar 5 menunjukkan hubungan konsentrasi terhadap waktu. Dari keempat grafik dapat dilakukan penentuan orde reaksi dengan melakukan pendekatan masing-masing orde. Reaksi urea dengan formaldehid adalah reversibel dalam asam, basa dan larutan netral. Nilai k (orde 2) pada percobaan ini ditampilkan pada table 2. Tabel 2 variasi F/U terhadap nilai konstanta laju reaksi menunjukkan bahwa reaksi berlangsung cepat dan terjadi peningkatan konsentrasi produk.

Orde reaksi pembentukan resin urea formaldehid merupakan orde 2 dan reaksi disosiasi urea formaldehida pada orde 1 (Ravendran, 1981). Hal ini ditunjukkan dengan nilai k (konstanta laju reaksi) pada orde 2 lebih besar daripada yang ditunjukkan pada orde 0; 1 dan 1,5. Kondisi optimal pembuatan resin urea formaldehid terjadi pada perbandingan mol reaktan F/U 2. Pada sampel yang menggunakan katalis NH₄OH ditunjukkan dengan persamaan $y=0,0179x + 0,1201$. Nilai k orde 2 pada persamaan tersebut adalah 0,0179, dimana nilai ini menunjukkan nilai k terbesar dibandingkan dari setiap orde reaksi (1,5;2,5 dan 3). Sedangkan pada sampel yang menggunakan katalis NaOH orde 2 dan F/U 2 ditunjukan dengan persamaan $y=0,0106x + 0,0151$. Dengan nilai k=0,0106.

Tabel 2. Perbandingan nilai k

No.	Variasi F/U	k (orde 2)	
		katalis NH ₄ OH	katalis NaOH
1	1,5	0,0123	0,0106
2	2	0,0179	0,0231
3	2,5	0,0117	0,0078
4	3	0,0092	0,0089

Persamaan kinetika reaksi orde 2 adalah;

$$-\frac{dcf}{dt} = kCf^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$\int_{c_o}^{c_f} \frac{dcf}{cf^2} = k \int_0^t dt \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{c_o} - \frac{1}{c_f} = -kt \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{1}{c_f} = \frac{1}{c_o} + kt \dots\dots\dots (6)$$

Nilai k dengan menggunakan katalis NH₄OH cenderung lebih besar dibandingkan dengan penggunaan katalis NaOH karena ketika pH reaksi semakin tinggi maka energi aktivasi akan semakin besar sehingga reaksi pembentukan resin urea folmaldehid lebih sulit terbentuk (Raveendran,1981). Pada sampel dengan katalis NaOH F/U 2 memiliki nilai k yang lebih besar (k=0,0231) dibandingkan dengan katalis NH₄OH (k=0,0179). Hal ini diduga karena pada reaksipembentukan urea-formaldehid dengan katalis NaOH terjadi reaksi yang cepat akan tetapi konversi reaksinya tidak hanya menghasilkan produk urea-formaldehid resin, tetapi terdapat produk intermediet yaitu MonoMetilol-Urea(MMU) dan DiMetilol-Urea (DMU). Percobaan yang dilakukan oleh Ravendran (1981) dengan urea 0.25M dan formaldehid 0,25 M pada pH 9,4 dan temperature 40 °C dengan nilai k yang diperoleh adalah 0,0006612. Jika dibandingkan dengan percobaan yang dilakukan yaitu nilai k=0,0179 dan k=0,0321 pada temperature 85°C. Hal ini terjadi karena reaksi terjadi pada temperature yang berbeda. Semakin tinggi temperature operasi maka reaksi akan berjalan lebih cepat dan konversi hasil resin urea formaldehid yang diperoleh lebih besar pada temperature 85°C.

3.4 Proses Curing

Tujuan dari proses *curing* yaitu untuk menguapkan air pada sampel. Pada penelitian ini, hasil massa air yang menguap dapat dilihat di Tabel 3. Massa air yang menguap paling besar pada sampel dengan katalis NH₄OH ada pada F/U = 2. Sedangkan massa air yang menguap paling besar dengan katalis NaOH ada pada F/U=3. Hal ini disebabkan pada proses *curing*, katalis akan menyerap panas sehingga mengatur penguapan supaya tidak gosong. (Jermejeff, 2012).

Pada sampel urea formaldehid dengan katalis NH₄OH F/U=2 lebih besar dibandingkan dengan F/U=1,5 karena kandungan formaldehidnya lebih banyak sehingga kandungan airnya lebih banyak juga. Waktu *curing* yang hanya 1 jam menyebabkan kandungan air dalam resin urea formaldehid yang terbentuk belum seluruhnya teruapkan sehingga persentase air yang menguap hanya 30,9%. Sedangkan sampel urea formaldehid dengan katalis NaOH F/U=3 lebih besar karena formaldehidnya lebih banyak sehingga lebih banyak mengikat airnya. Sedangkan sampel urea formaldehid dengan katalis NaOH F/U=2,5 yang paling kecil nilai presentasinya yaitu 9,45 % dan memiliki nilai k yang paling kecil.

Dari kedua data tersebut Sampel urea formaldehid dengan katalis NH₄OH dan NaOH pada F/U=1,5 dan F/U=2 memiliki presentasi kemurnian hampir sama karena nilai F/U optimum diantara 1,5 dan 2 sehingga formaldehid tidak berlebih dan sedikit mengikat air.

Tabel 3.Kadar Resin pada Berbagai Variasi F/U dan Jenis Katalis

No.	Sampel	Jenis Katalis	Massa sampel (g)	Massa air yang menguap (g)	Kadar resin (%)
1	F/U=1.5	NH ₄ OH	5,4	1,4	25,92
2	F/U=2	NH ₄ OH	5,3	1,6	30,19
3	F/U=2.5	NH ₄ OH	5,2	1,5	28,85
4	F/U=3	NH ₄ OH	5,6	1,4	25
5	F/U=1.5	NaOH	11,2	1,2	10,71
6	F/U=2	NaOH	11,2	1,3	11,6
7	F/U=2.5	NaOH	12,7	1,2	9,45
8	F/U=3	NaOH	11,2	1,6	14,28

Secara teori hal ini mengidentifikasi perbandingan produk dan reaktan kecil sehingga reaktan sisanya banyak. Formaldehid sebagai reaktan lebih banyak mengikat air sehingga air yang diuapkan lebih banyak.

Kadar resin pada katalis NH₄OH lebih besar dibandingkan dengan kadar resin pada katalis NaOH. Hal ini menunjukkan bahwa produk samping yang terbentuk pada resin dengan katalis NaOH ikut menguap ketika proses curing berlangsung.

4. Kesimpulan

Urea-formaldehida (UF) resin adalah resin pengikat utama interior papan komposit kayu, seperti; papan serat dengan kepadatan menengah, dan kayu lapis keras. Dapat ditarik kesimpulan berdasarkan hasil percobaan diperoleh densitas resin urea-formaldehid pada F/U 2 dengan katalis NaOH adalah 1370 kg/m³ dan katalis NH₄OH 1370 kg/m³, sedangkan viskositas dengan katalis NaOH adalah 0,007616241 kg/m.s, dan katalis NH₄OH 0,00827 kg/m.s. Hasil optimum pembuatan resin urea-formaldehid ditunjukkan pada penggunaan katalis NH₄OH.

5. Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Operasi Teknik Kimia (OTK), Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah menyediakan alat dan bahan dalam pelaksanaan studi ini.

6. Daftar Pustaka

Azizah, U., 2004, Laju Reaksi. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

De Jong, J.I., & De Jonge, J. 1952a, The reaction of urea with formaldehyde. *Recuell des Travaux Chimiques des Pays-Bas* Vol. 71 No.7, 643-660.

De Jong, J.I., & De Jonge, J., 1952b, The formation and decomposition of dimethylolurea. *Recuell des Travaux Chimiques des Pays-Bas* Vol. 71 No. 7), 661-667.

Dunky, M., 1998, Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International J. Adhesion & Adhesives* Vol. 18 No. 2, 95-107.

Jeremejeff, J., 2012, Investigation of UF-resins- the effect of the urea formaldehyde/urea molar ratio during

synthesis. KTH Chemical Science and Engineering, Sweden.

Ivana, G., Olivera N., Milanka D., 2010, Molar-mass Distribution of Urea-Formaldehyde Resins of Different Degrees of Polymerisation by MALDI-TOF *Mass-Spectrometry*.

Levenspiel, O., 1999, Chemical Reaction Engineering 3rd edition, John Wiley and Son, New York.

Mao, A. Elbarbary, H. & Moon, G.K., 2013, Investigation of Low Mole Ratio UF and UMF Resins Aimed at Lowering The Formaldehyde Emission Potential of Wood Composite Boards. Department of Forest Products, Mississippi State University.

Miljković, Jovan., Grmusa, Ivana-Gavrilović., Momčilović, Milanka Diporović., Popović, Mladan., 2006, Some characteristics of urea-formaldehyde powder adhesives, 223-230.

Modric, L.A., 2013, Polimerisasi Urea Formaldehid." Jakarta: Attribution NC.

Obichukwu, M., 2006, Ethylated Urea – Ether – Modified Urea-Formaldehyde Resins, Part 1: Structural and Physicochemical Properties. Minna: Federal University Of Technology.

Osemeahon, S.A., Maitera, O.N., Hotton, A.J., Dimas, B.J., 2013, Influence of starch addition on properties of urea formaldehyde/starch copolymer blends for application as a binder in the coating industry. *Journal of Environmental and Ecotoxicology* Vol. 5, 181-189.

Ratnaningtyas, R.R., 2012, Pirolisis Pembuatan Asam Cair dari Bonggol Jagung Sebagai Pengawet Alami Pengganti Formalin. Universitas Diponegoro, Semarang.

Raveendran, B., 1981, Kinetics and Mechanism of Urea-Formaldehyde and Related Reactions. Thesis submitted to the University of Cochin in Partial Fulfilment of the Requirement of the Degree of Doctor of Philosophy in Chemistry.

Sun, Qi-Ning, Hse Chung-Yun., Shupe, Todd. F., 2014, Effect of Different catalyst on Urea Formaldehyde Resin Synthesis. *Journal of Applied Polymer Science*, 1-7.

Wang, Dang-Liang., Bai, Han-Ying., Yue, Gao., 2013, Gel Characteristics of Urea-Formaldehyde Resin Under Shear Flow Conditions. Research Article.

