

Pengaruh Rasio Reaktan terhadap Karakteristik Fenol Formaldehida Jenis Resol yang Tidak Berbahaya bagi Lingkungan

Sari Purnavita*, Sri Sutanti

Politeknik Katolik Mangunwijaya, Jalan Sriwijaya Nomor 104, Semarang, 50241, Indonesia

*Alamat email penulis koresponden: saripurnavita.2018@gmail.com

Abstrak

Fenol formaldehida jenis resol adalah polimer hasil reaksi polimerisasi antara fenol dan formaldehida dengan katalis basa. Fenol formaldehida jenis resol memiliki peran penting sebagai bahan perekat dan bahan pelapis pada industri kayu. Reaksi pembentukan fenol formaldehida dilakukan secara kondensasi polimerisasi. Berdasarkan fungsionalitas fenol dan formaldehid maka satu mol fenol dapat berikatan dengan tiga mol formaldehida, namun untuk menghasilkan produk yang tidak berbahaya bagi lingkungan maka pada penelitian ini dilakukan dengan perbandingan mol formaldehida kurang dari tiga. Dengan perbandingan mol formaldehida yang kurang dari tiga, jika reaksi sempurna maka kandungan formaldehida pada produk fenol formaldehida jenis resol akan 0 mg/L, batas ambang kadar formaldehida yang diperbolehkan adalah 3 mg/L. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh rasio reaktan terhadap karakteristik fenol formaldehida jenis resol. Variabel bebas pada penelitian ini adalah rasio reaktan dengan perbandingan mol fenol:formaldehida sebesar 1:1,5 ; 1:1,75 ; 1:2. Variabel terikat pada penelitian ini adalah viskositas, daya rekat, waktu kering. Pembuatan fenol formaldehida dilakukan dengan mencampurkan fenol, formalin kadar 37%, dan katalis NaOH 2,5 N hingga diperoleh pH 10, selanjutnya memanaskan larutan di dalam labu leher tiga dengan pengadukan menggunakan pengaduk mekanis pada suhu 90°C selama 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio reaktan berpengaruh sangat nyata terhadap viskositas, daya rekat, dan waktu kering fenol formaldehida yang diperoleh. Semakin besar rasio mol formaldehida, nilai viskositas dan daya rekat meningkat, serta waktu kering semakin cepat.

Kata kunci: fenol formaldehida, rasio reaktan, viskositas, daya rekat, waktu kering

PENDAHULUAN

Perkembangan industri akan mempengaruhi kemajuan ekonomi sebuah negara. Industri pada saat ini banyak yang mengembangkan produk berkualitas dan aman bagi lingkungan. Pada umumnya industri di bidang kayu sudah banyak yang menggunakan produk fenol formaldehida. Fenol formaldehida banyak digunakan sebagai perekat *plywood* dan bahan pelapis (Stevens, 2007). Untuk menghasilkan produk yang aman bagi lingkungan maka perlu diperhatikan kandungan formaldehida pada produk fenol formaldehida (Lena dkk, 2017). Batas ambang formaldehida menurut IPCS (*International Programme on Chemical Safety*), secara umum dalam tubuh adalah 1 mg/L. Konsentrasi resin fenol formaldehida berdasarkan BAPEDAL harus mencapai batas standar yang telah diatur KEP No. 51/MENLH/ 10/1995 sekitar 0,5 – 1,0 mg. L-1 (Slamet, 2005).

Berdasarkan perbandingan reaktan dan jenis katalis, resin fenol formaldehida dibagi menjadi dua jenis, yaitu jenis resol dan novolak. Secara umum perbedaan keduanya terletak pada jenis reaktan yang dieksekusi dan jenis katalis yang digunakan serta karakteristik produk akhir, resol berbentuk larutan kental dan novolak berbentuk padat. Novolak polimer yang terbentuk dari reaksi antara fenol dan formaldehida dengan eksekusi fenol serta menggunakan katalis yang bersifat asam. Novolak akan bersifat termoset jika ditambahkan *crosslinking agent* seperti *hexamine*. Resol adalah polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara fenol dan formaldehida dengan eksekusi formaldehida serta menggunakan katalis basa (Kamarudin, 2020). Pembentukan fenol formaldehida terdiri dari dua tahap reaksi yaitu, reaksi adisi dan reaksi kondensasi polimerisasi. Reaksi adisi menghasilkan turunan metilol fenol dengan posisi para dan atau orto. Selanjutnya akan mengalami reaksi kondensasi antara metilol fenol dengan CH_2OH dan atom H dari inti benzena dengan hasil sampingan air (Nuryati, 2014). Selanjutnya membentuk rantai yang *crosslinking* dan pada akhirnya akan membentuk jaringan tiga dimensi (Hesse, 1991). Sebelum resol membentuk struktur tiga dimensi yang bersifat termoset, merupakan produk yang bersifat larut dalam air dengan viskositas tinggi. Semakin lama resin didiamkan pada suhu kamar, maka resin fenol tersebut semakin mengeras (Grafiddin, 2017). Fenol formaldehida dapat diaplikasikan sebagai bahan perekat dan bahan pelapis karena memiliki karakteristik ketahanan tinggi terhadap bahan kimia, *high bonding strength* dan ketahanan terhadap air. Selain kelebihan tersebut, fenol formaldehida juga memiliki kekurangan karena toksisitas.

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik fenol formaldehida jenis resol adalah pH, suhu, waktu, dan rasio reaktan. Memed dkk (1990), telah mempelajari pengaruh rasio reaktan dan jumlah bahan pengisi terhadap viskositas dengan hasil viskositas tertinggi yang diperoleh sebesar 11,2 *poise*. Rokhati dan Prasetyaningrum (2008) meneliti tentang pembuatan fenol formaldehida jenis novolak dan resol dengan variabel pH dan rasio reaktan dengan perbandingan mol reaktan hingga tiga mol formaldehida per mol fenol. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh rasio reaktan terhadap karakteristik fenol formaldehida dengan eksekusi formaldehida maksimal 2 mol per mol fenol dengan harapan untuk menghasilkan produk yang aman bagi lingkungan. Jika reaksi antara fenol dan formaldehida sempurna maka kandungan formaldehida pada produk dapat ditekan hingga 0 mg/L.

Perbandingan mol reaktan antara fenol dengan formaldehida eksekusi beragam tetapi memiliki batas maksimal satu mol fenol dan tiga mol formaldehida. Hal tersebut dikarenakan satu mol fenol maksimal hanya bisa mengikat tiga mol formaldehida. Untuk menghasilkan produk yang ramah lingkungan sebaiknya menggunakan formaldehida yang tidak terlalu tinggi (kurang dari tiga mol). Semakin besar rasio reaktan maka struktur rantai yang terbentuk semakin kompleks dan berat molekul resin yang dihasilkan semakin besar maka semakin besar pula massa jenisnya sehingga viskositasnya akan meningkat. Semakin banyak formaldehida yang ditambahkan akan membentuk rantai polimer dengan struktur yang lebih bercabang sehingga akan memiliki daya rekat yang baik dan waktu kering yang semakin cepat, namun sebaliknya akan mengurangi sifat ramah lingkungan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan resol dengan karakteristik yang baik namun dengan jumlah mol formaldehida yang rendah sehingga produk yang dihasilkan tidak berbahaya bagi lingkungan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass*, termometer, labu leher tiga, cawan porselin, pengaduk mekanik, pendingin bola, bunsen, kaki tiga, dan penangas air. Bahan yang digunakan yaitu fenol dengan kadar 99%, formalin dengan kadar 37%, dan larutan NaOH 2,5 N.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan rancangan acak lengkap satu faktor (rasio reaktan) dengan tiga kali ulangan. Dari data yang diperoleh akan diuji dengan analisis sidik ragam (Uji F).

Hipotesis Alternatif (H1) untuk penelitian ini adalah ada pengaruh rasio reaktan terhadap variabel terikat (viskositas, daya rekat, dan waktu kering) fenol formaldehida.

Variabel Penelitian

Variabel bebas	: Rasio mol reaktan (fenol:formaldehida) = 1:1,5; 1:1,75; 1:2
Variabel terikat	: viskositas, daya rekat, dan waktu kering
Variabel tetap	: suhu (90°C), pH (10), waktu reaksi (3 jam)

Prosedur

1. Proses pembuatan fenol formaldehida jenis resol

Mencampurkan fenol, formalin kadar 37%, dan katalis basa NaOH 2,5 N hingga diperoleh pH 10. Selanjutnya, memanaskan larutan di dalam labu leher tiga dengan pengadukan menggunakan pengaduk mekanis pada suhu 90°C selama 3 jam. Kemudian dilakukan uji viskositas dengan menggunakan *ford cup* nomer 4, uji daya rekat dengan metode *cross cut test* untuk lapisan hasil *coating* fenol formaldehida, uji waktu kering dengan cara menghitung waktu yang diperlukan untuk kering tekan pada permukaan hasil *coating* fenol formaldehida.

2. Uji viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya gesekan internal fluida dan dapat diukur dengan metode *Ford 4C Cup* (Siregar, 2014). Hasil reaksi fenol formaldehida resol yang berupa cairan kental dimasukan ke dalam *ford viscosity cup* nomor empat hingga penuh, serta pada bagian bawah *ford cup* tersebut ditutup menggunakan jari tangan, selanjutnya jari tangan yang menutupi bawah

ford cup dibuka bersamaan dengan berjalannya *stopwatch* dan dihitung waktu hingga cairan habis mengalir.

3. Uji waktu kering

Polimer hasil reaksi diaplikasikan pada permukaan substrat panel kayu. Setelah beberapa menit maka permukaan film disentuh dengan jari. Apabila masih basah, proses pengeringan dilanjutkan beberapa menit lagi sebelum disentuh ulang. Apabila disentuh sudah kering, maka dilanjutkan dengan cara jari ditekankan dan jika sudah tidak ada bekas jari maka permukaan film tersebut sudah kering dan waktu yang terhitung dari awal pengeringan hingga kering tekan adalah waktu pengeringan fenol formaldehida.

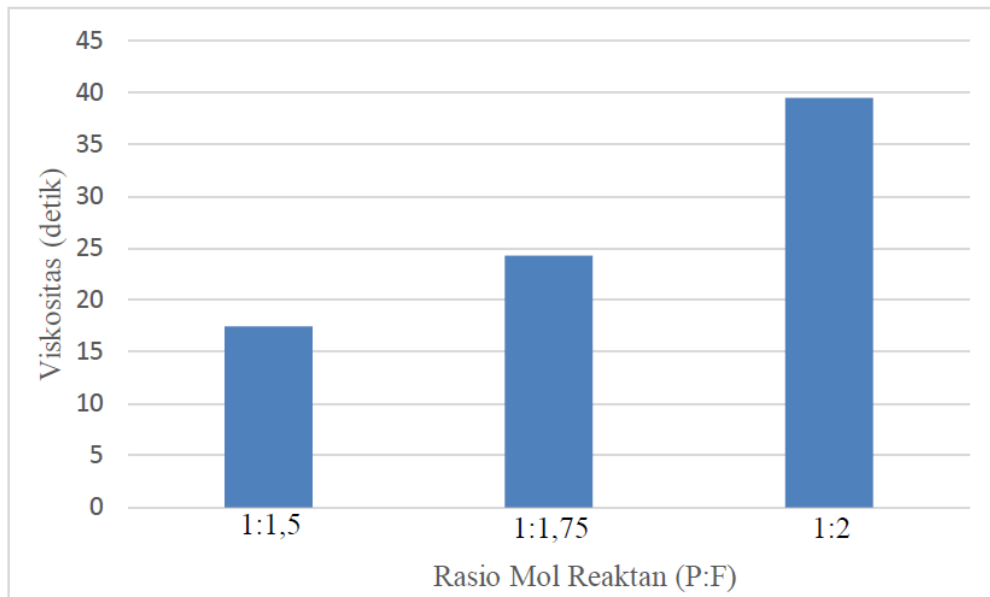
4. Uji daya rekat

Fenol formaldehida hasil reaksi terlebih dahulu diaplikasikan pada permukaan dan kering, lapisan film digores dua kali secara tegak lurus dengan *cutter* khusus. Setelah digores akan terdapat 100 kotak. Kemudian dilekatkan selotip pada 100 kotak tersebut. Setelah itu, selotip ditarik dengan kuat. Perhitungan hasil uji dilakukan dengan menghitung banyaknya kotak yang tidak terangkat dibagi seratus, lalu dikalikan seratus persen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fenol Formaldehida jenis resol adalah polimer termoset yang terbentuk dari reaksi antara fenol dan formaldehida eksekusi dengan katalis basa pada pH 8-11 (Rokhati, 2008). Fenol memiliki tiga fungsionalitas pada posisi orto dan para, sedangkan formaldehida memiliki dua fungsionalitas sehingga satu mol fenol dapat mengikat secara maksimal dengan tiga mol formaldehida. Untuk menghasilkan produk yang ramah lingkungan sebaiknya menggunakan formaldehida yang tidak terlalu tinggi (kurang dari tiga mol).

Dari Gambar 1 terlihat bahwa semakin banyak mol formaldehida yang digunakan maka nilai viskositas semakin tinggi. Reaksi pembentukan fenol formaldehida terdiri dari dua tahap reaksi, tahap pertama adalah reaksi adisi antara fenol dengan formaldehida untuk membentuk metilol fenol, tahap kedua adalah reaksi polimerisasi kondensasi antara metilol fenol dengan metilol fenol untuk membentuk polimer. Jika 1 mol fenol bereaksi dengan 1,5 mol formaldehida maka akan terbentuk campuran antara mono metilol fenol dan di metilol fenol dengan persentase yang sebanding, apabila 1 mol fenol direaksikan dengan 1,75 mol formaldehida maka akan terbentuk campuran antara mono metilol fenol dan di metilol fenol dengan jumlah di metilol fenol yang lebih banyak, selanjutnya jika 1 mol fenol bereaksi dengan 2 mol formaldehida maka akan terbentuk di metilol fenol. Semakin banyak jumlah metilol maka akan menghasilkan polimer dengan berat molekul yang semakin besar, sehingga semakin besar pula massa jenisnya dan viskositasnya akan meningkat.



Gambar 1. Rerata viskositas resin resol pada berbagai rasio reaktan

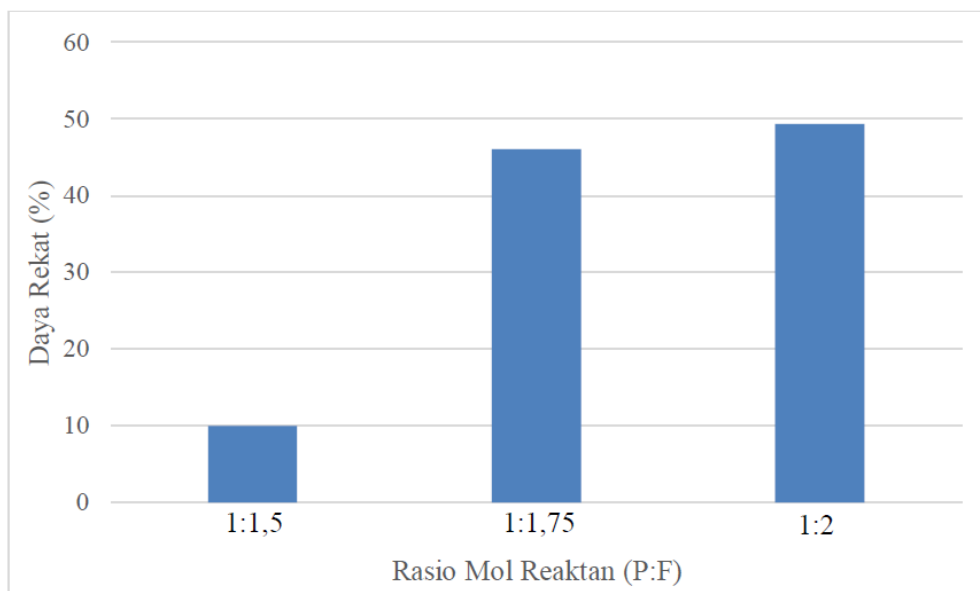
Hasil uji analisis sidik ragam (uji F) untuk menentukan apakah rasio reaktan berpengaruh terhadap viskositas resin fenol formaldehida tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan analisis sidik ragam untuk parameter viskositas

SK	DB	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel}	
					5%	1%
Reaktan	2	763,762	381,8811	2021,724**	5,14	10,92
Galat	6	1,133	0,188889			
Jumlah	8	764,896				

Data yang telah didapatkan dianalisis menggunakan perhitungan analisis sidik ragam untuk mencari nilai F_{hitung} kemudian dibandingkan dengan F_{tabel} 5% dan 1%. Dari hasil perhitungan nilai F didapatkan hasil sebesar 2021,724. Nilai F_{hitung} yang diperoleh ternyata lebih besar daripada F_{tabel} 5% dan F_{tabel} 1%, sehingga hipotesis alternatif (H_1) diterima. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rasio reaktan berpengaruh sangat nyata terhadap viskositas fenol formaldehida.

Pengaruh rasio reaktan terhadap daya rekat permukaan film fenol formaldehida dapat dilihat pada Gambar 2. Semakin banyak formaldehida yang ditambahkan maka daya rekat fenol formaldehida juga meningkat. Hal ini dikarenakan rantai polimer yang terbentuk memiliki struktur yang lebih bercabang sehingga akan terjadi ikatan silang yang semakin kompleks dan menghasilkan karakteristik daya rekat polimer fenol formaldehida yang semakin baik.



Gambar 2. Rerata Daya Rekat Fenol Formaldehida

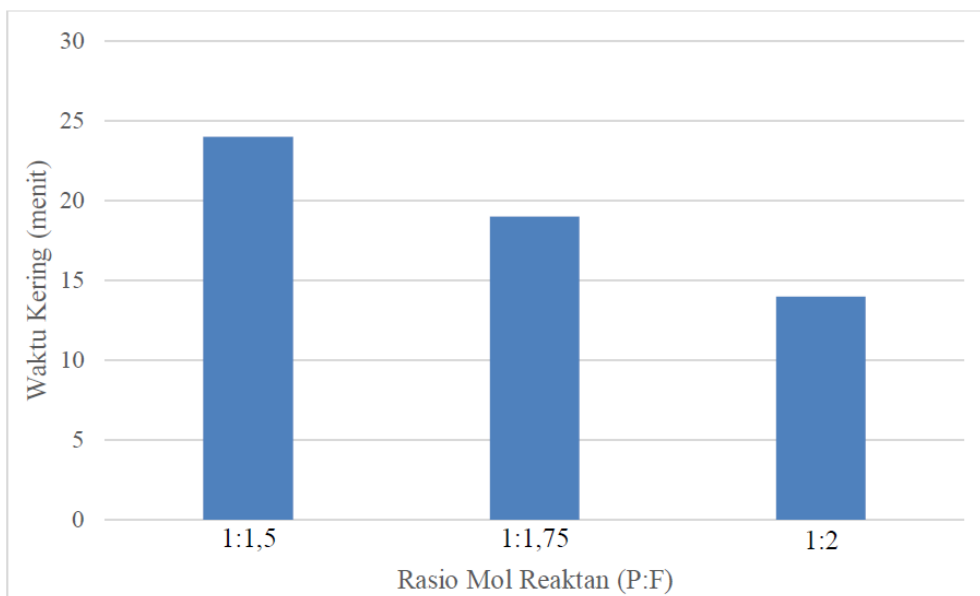
Hasil uji analisis sidik ragam (uji F) untuk menentukan apakah rasio reaktan berpengaruh terhadap viskositas resin fenol formaldehida tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan analisis sidik ragam untuk parameter daya rekat

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F table	
					5%	1%
Perlakuan	2	0,285422	0,142711	16,196*	6,94	18
Galat	6	0,052867	0,008811			
Total	8	0,338289				

Data yang telah didapatkan dianalisis menggunakan perhitungan analisis sidik ragam untuk mencari nilai F_{hitung} kemudian dibandingkan dengan F_{tabel} 5% dan 1%. Dari hasil perhitungan nilai F didapatkan hasil sebesar 16,196. Nilai F_{hitung} yang diperoleh ternyata lebih besar daripada F_{tabel} 5% tetapi lebih kecil dari F_{tabel} 1%, sehingga dapat disimpulkan bahwa rasio reaktan berpengaruh nyata terhadap daya rekat fenol formaldehida.

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar jumlah mol formaldehida yang ditambahkan maka waktu kering film fenol formaldehida semakin singkat. Proses pengeringan pada fenol formaldehida terjadi karena ikatan silang pada rantai polimer yang pada akhirnya membentuk struktur tiga dimensi dan bersifat termoset. Dengan semakin banyak jumlah mol formaldehida maka ikatan silang yang terbentuk semakin kompleks dan akan mempercepat terbentuknya struktur tiga dimensi dan semakin cepat kering.



Gambar 3. Rerata Waktu Kering Resin Fenol Formaldehida

Hasil uji analisis sidik ragam (uji F) untuk menentukan apakah rasio reaktan berpengaruh terhadap waktu kering film fenol formaldehida tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisis Sidik Ragam untuk parameter Waktu Kering

SK	Db	JK	KT	F hitung	F Tabel	
					5%	1%
Reaktan	2	150	75	43,75	4,74	9,55
Galat	4	12	1,714285			
Jumlah	8	162				

Perhitungan analisis sidik ragam digunakan untuk mengetahui pengaruh rasio mol reaktan terhadap waktu kering permukaan film fenol formaldehida. Dari Tabel 3, hasil perhitungan nilai F didapatkan hasil sebesar 43,75, di mana nilai F_{hitung} yang diperoleh ternyata lebih besar daripada F_{tabel} 5% dan F_{tabel} 1%, sehingga hipotesis alternatif (H_1) diterima. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rasio reaktan berpengaruh sangat nyata terhadap waktu kering fenol formaldehida. Waktu kering terendah sebesar 14 menit diperoleh pada rasio 1 mol fenol dengan 2 mol formaldehida, hasil penelitian ini lebih cepat dibandingkan dengan hasil penelitian Rokhati dan Prasetyaningrum (2008) yang sebesar 1,25 jam.

KESIMPULAN

1. Rasio mol reaktan berpengaruh sangat nyata terhadap viskositas produk fenol formaldehida. Semakin besar rasio reaktan membuat viskositas produk fenol formaldehida semakin besar.

2. Rasio mol reaktan berpengaruh nyata terhadap daya rekat produk fenol formaldehida. Semakin besar rasio reaktan membuat daya rekat produk fenol formaldehida semakin besar.
3. Rasio mol reaktan berpengaruh sangat nyata terhadap waktu kering produk fenol formaldehida. Semakin besar rasio reaktan membuat waktu kering produk fenol formaldehida semakin singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Grafiddin, R. 2017. Pembuatan Resin Fenol Formaldehid Sebagai Perekat Kayu. *Prosiding Seminar Nasional MIPA III*, 30 Oktober 2017, pp. 447-452.
- Hesse, W. 1991. *Phenolic Resin dalam Ullmanns's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Vol. 19 Edisi 5. VCH Publishers. New York.
- Kamarudin, N., Biak D. R. A., Abidin Z. Z., Cardona F., & Salit M. S. 2020. Synthesis of Phenol Formaldehyde Resin with Paraformaldehyde and Formalin. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 778 012024.
- Lena, M. G. E., Sudewi S., & Citraningtyas G. 2017. Analisis Kadar Formaldehida Pada Peralatan Makan Melamin Yang Beredar Di Kota Manado. *Jurnal Ilmiah Farmasi – UNSRAT*, 6(3), pp. 105-114.
- Memed, R., Santoso A., & Sutigno P. 1990. Pengaruh Komposisi Perekat Fenol Formaldehida Terhadap Keteguhan Rekat Kayu Lapis Sengon. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 8(3), pp. 105-108.
- Nuryati, Prasetyo, Imam, & Rochmadi. 2014. Pembuatan Resin Phenol Formaldehyde Sebagai Prekursor Untuk Preparasi Karbon Berpori. *Jurnal Teknologi & Industri*, 1(3), pp. 2087-6920.
- Rokhati, N. & Prasetyaningrum A. 2008. Pembuatan Resin Phenol Formaldehid Terhadap Aplikasinya Sebagai Vernis. *Reaktor*, 12(1), pp. 42-47.
- Siregar, M. S. 2014. Modifikasi dan Karakteristik Karet Alam Siklis (Resiprena 35) dengan Anhidrida Maleat Sebagai Substituen Bahan Pengikat Cat Sintetis. *Disertasi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Slamet, Arbianti R., & Daryanto. 2005. Pengolahan Limbah Organik (Fenol) Dan Logam Berat (Cr⁶⁺ atau Pt⁴⁺) Secara Simultan Dengan Fotokatalis TiO₂, ZnO-TiO₂, Dan CdS-TiO₂. *Makara, Teknologi*, 9(2), pp. 66-71.
- Stevens, M. P. 2007. *Kimia Polimer*. Diterjemahkan oleh Iis Sopyan. PT Prdnya Paramita. Jakarta.