

Pengaruh Komposisi *Phenolic Epoxy* Terhadap Karakteristik Coating pada aplikasi pipa *overhead debutanizer*

Diego Pramanta Harvianto dan Sulistijono

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: diegopramanta@gmail.com

Abstrak - PT Pertamina RU V Balikpapan memiliki sistem yang komponennya rentan terhadap korosi yaitu Sistem Debutanizer. Korosi pada sistem Debutanizer ini disebabkan oleh adanya larutan asam klorida (HCl) yang terbawa dari proses-proses sebelumnya. Mengingat hal tersebut, perlu dilakukan upaya untuk melindungi komponen dari serangan korosi. Salah satu cara perlindungan korosi adalah dengan metode pelapisan (*coating*) dengan *Phenolic Epoxy*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi komposisi *Phenolic Epoxy* terhadap karakteristik dan performa coating pada aplikasi pipa Overhead Debutanizer. Dilakukan pengujian secara eksperimental terhadap material pipa yang dilapisi *coating Phenolic Epoxy* pada variasi komposisi *phenolic : epoxy* sebesar 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 dan 0:100. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian ikatan polimer (FTIR), stabilitas termal (TGA), pengujian waktu kering, ketahanan panas, fleksibilitas, ketahanan asam dan ketahanan abrasi. Dari hasil pengujian FTIR yang telah dilakukan, terjadi ikatan pada pencampuran *phenolic* dan *epoxy*. Penambahan komposisi *epoxy* pada sampel cenderung meningkatkan ketahanan abrasi dan stabilitas termal. Sedangkan pada penambahan komposisi *phenolic* akan cenderung meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan asam serta mempercepat waktu kering. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perbandingan komposisi *phenolic* dan *epoxy* yang menghasilkan performa *coating* yang ideal berturut-turut adalah 60:40.

Kata Kunci : *Overhead Debutanizer, Coating, Phenolic, Epoxy*

I. PENDAHULUAN

DALAM industri perminyakan, penggunaan baja untuk komponen permesinan, konstruksi dan perpipaan sangat banyak digunakan. Dalam penggunaannya komponen tersebut sering mengalami kerusakan salah satunya disebabkan oleh korosi. PT Pertamina RU V Balikpapan memiliki sistem yang komponennya rentan terhadap korosi yaitu Sistem Debutanizer. Sistem Debutanizer adalah bagian dari Unit Platforming yang berfungsi untuk memisahkan fraksi LPG dari Reformate. Korosi pada sistem Debutanizer ini disebabkan oleh adanya larutan asam klorida (HCl) yang terbawa dari proses-proses sebelumnya. Asam klorida tersebut muncul karena pada sistem CCR (*Continous Catalyc Regeneration*) diinjeksikan *Propylene Dichloride* (PDC) sehingga *chloride* terbawa sampai *downstream* proses. Sampai saat ini

kehandalan sistem Debutanizer sangat rendah dalam menunjang performa Unit Platforming.

Mengingat hal tersebut diatas, perlu dilakukan upaya untuk melindungi komponen tersebut dari serangan korosi. Salah satu cara perlindungan korosi adalah dengan metode pelapisan (*coating*) dengan cat yang berbahan polimer. Penggunaan material polimer dalam proses pelapisan logam telah banyak dilakukan dan dikembangkan pada dunia industri. Pelapisan polimer dinilai lebih unggul dalam ketahanan terhadap lingkungan asam, alkali, air dan dapat diaplikasikan pada temperatur kamar. Akan tetapi coating polimer dinilai kurang tahan terhadap temperatur tinggi.

Resin *phenolic* adalah resin yang digunakan secara komersil lebih lama dari polimer sintetik lainnya. Resin ini memiliki keunggulan kestabilan dimensi, mudah dibentuk, penyusutan rendah, tahan retak, dan tahan asam akan tetapi kurang tahan terhadap alkali [1]. Resin *phenolic* banyak digunakan di dunia industry sebagai bahan perekat, molding dan cat. Resin *Epoxy* biasa digunakan sebagai bahan adhesif dan lapisan pelindung yang sangat baik karena memiliki kekuatan yang tinggi, dan daya rekat yang kuat. Selain itu epoxy juga baik dalam ketahanan terhadap bahan kimia, sifat dielektrik dan sifat isolasi, penyusutan rendah, stabilitas dimensi dan ketahanan lelehnya [2]. Cat dengan bahan dasar *epoxy* banyak digunakan untuk aplikasi adhesif logam terutama pada industry penerbangan, otomotif, militer dan di berbagai aplikasi industri yang lainnya. Hasil dari penggabungan resin *phenolic* dan resin *epoxy* akan menunjukkan variasi sifat kimia dan mekanik yang menggambarkan karakteristik dari coating *Phenolic Epoxy*.

II. METODE PENELITIAN

Pembuatan material coating dilakukan dengan mencampurkan resin *phenolic* dan resin *epoxy*. Variasi komposisi *phenolic* berbanding *epoxy* yang digunakan adalah 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 0:100. Untuk memudahkan penyebutan komposisi, dibuatlah kode sesuai dengan komposisi yang digunakan. Kode 100P0E adalah untuk komposisi 100% *phenolic* : 0% *epoxy*, kode 80P20E untuk komposisi 80% *phenolic* : 20% *epoxy*, kode 60P40E untuk 60% *phenolic* : 40% *epoxy*, kode 40P60E untuk 40% *phenolic* : 60% *epoxy*, kode 20P80E untuk 20% *phenolic* : 80% *epoxy*

dan kode OP100E untuk 0% *phenolic* : 100% *epoxy*. Pencampuran polimer blend resin *phenolic* dan resin *epoxy* dilakukan dengan metode *manual stirrer* pada temperatur kamar. Selanjutnya hasil polimer blend dilapiskan pada baja yang sebelumnya telah dibersihkan dari kotoran dan karat dengan teknik *hand lay up*. Setelah proses pelapisan dilakukan pengujian ikatan polimer menggunakan FTIR, stabilitas termal dengan TGA, pengujian waktu kering, ketahanan panas, fleksibilitas, ketahanan abrasi, dan ketahanan asam.

HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Forrier Transform Infra Red

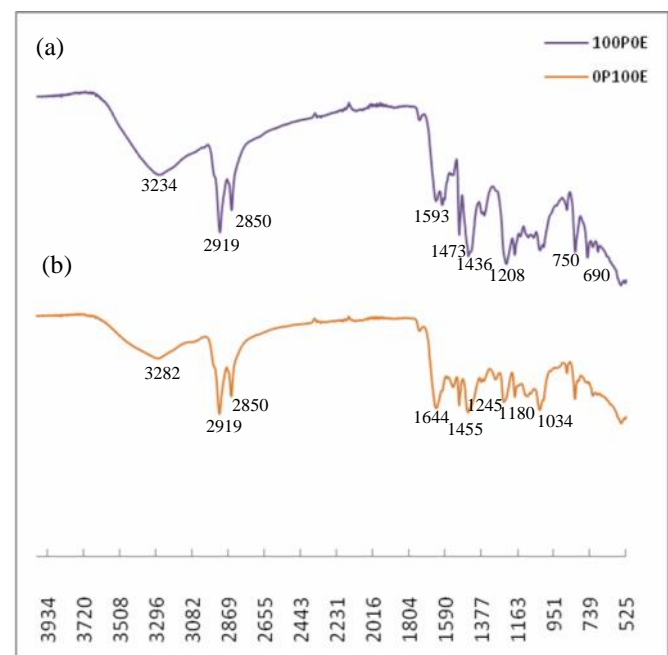
Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) ini menggunakan mesin dengan merek Thermo Scientific. Puncak grafik yang diperoleh pada semua sampel berada pada *range* wavenumber antara 4000-500 cm^{-1} .

Pada sampel 100P0E yang mengandung 100% *phenolic* jenis resol, terlihat adanya grup mono substitute aromatic hydrocarbon, aliphatic hydrocarbon dan hydroxyl phenol. Grup mono substitute aromatic hydrocarbon adalah senyawa aromatik yang terdiri dari ikatan C-H dan cincin C=C. Grup aliphatic hydrocarbon juga banyak ditemukan dalam senyawa spektroskopi infra merah. Daerah serapan yang paling penting adalah ikatan C-H pada wavenumber sekitar 3000 cm^{-1} dan antara 1460 cm^{-1} sampai 1380 cm^{-1} . Atom yang secara langsung melekat pada grup aliphatic dapat menyebabkan perubahan yang signifikan dari frekuensi standarnya. Grup hydroxyl (ikatan -OH) juga muncul pada komposisi ini. Grup ini muncul karena terjadinya ikatan hidrogen antar molekul pada fase kondensasi. Akibat adanya ikatan hidrogen, titik didih dari alkohol lebih tinggi daripada alkena lain dengan nomor atom karbon yang sama. Grup mono substitute aromatic hydrocarbon ditemukan pada wavenumber 1593 cm^{-1} dan 690 cm^{-1} . Grup aliphatic hydrocarbon ditemukan pada wavenumber 2919 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} , 1473 cm^{-1} , 1463 cm^{-1} dan 750 cm^{-1} . Wavenumber 1473 cm^{-1} dan 1463 cm^{-1} dianalisa adalah methylol pada resol. Sedangkan grup hydroxyl ditemukan pada wavenumber 3234 cm^{-1} dan 1208 cm^{-1} . Pada wavenumber 1208 dianalisa sebagai ikatan -C-O dari resin *phenolic* [2]. Grafik FTIR *Phenolic* dapat dilihat pada Gambar 1 (a).

Pada sampel 0P100E yang mengandung 100% *epoxy* terlihat adanya grup aromatic ether, grup aliphatic hydrocarbon, primary aliphatic alcohol dan tertiary amide. Ether adalah senyawa organik yang terdiri dari atom oksigen yang tersambung dua grup alkyl atau grup aryl. Formula dari grup ini adalah C-O-C'. Grup ether ditemukan pada wavenumber 1180 cm^{-1} dan pada wavenumber 1245 cm^{-1} . Grup ether tersebut merupakan karakteristik dari resin *epoxy*. Dianalisa grup ether pada wavenumber di atas adalah aryl ether yang memiliki ikatan yang sangat kuat. Grup aliphatic hydrocarbon pada komposisi ini terdapat pada wavenumber 2920 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} dan 1455 cm^{-1} yang merupakan ikatan C-H. Grup primary aliphatic alcohol adalah grup alkohol yang mengandung ikatan -OH. Grup ini ditemukan pada wavenumber 1034 cm^{-1} . Grup tertiary amide muncul akibat adanya penambahan poliamino amide pada saat pembuatan

epoxy. Grup tertiary amide yang ditemukan adalah pada wavenumber 1644 cm^{-1} dan pada wavenumber 3282 cm^{-1} . Hasil FTIR sampel PE- dapat dilihat pada Gambar 1 (b).

Dari hasil polimer blend antara *phenolic* resin dengan *epoxy* resin pada sampel 80P20E didapatkan grafik gabungan dari grup hydroxyl phenol, secondary aliphatic alcohol, aliphatic hydrocarbon, ortho substitute aromatic hydrocarbon dan aromatic ether. Grup hydroxyl phenol pada komposisi ini terdapat pada wavenumber 1228 cm^{-1} dan 3260 cm^{-1} . Grup secondary aliphatic alcohol ditemukan pada wavenumber 1100 cm^{-1} . Grup aliphatic alcohol ini didefinisikan sebagai ikatan -OH. Grup aliphatic hydrocarbon yang ditemukan memiliki wavenumber 1507 cm^{-1} , 2921 cm^{-1} dan 2851 cm^{-1} . Grup ini memiliki rantai -C-H. Pada komposisi ini juga didapatkan adanya grup ether pada wavenumber 1181 cm^{-1} . Ini menunjukkan pada penambahan sedikit komposisi *epoxy* sudah didapatkan adanya grup ether pada campuran. Pada komposisi ini juga ditemukan grup ortho substitute aromatic hydrocarbon pada wavenumber 1594 cm^{-1} dan 752 cm^{-1} . Ini menunjukkan bahwa gabungan dari resin *phenolic* dan resin *epoxy* dapat menghasilkan grup baru. Grup ini terdiri dari rantai C-H dan C=C. Hasil FTIR sampel 80P20E dapat dilihat pada Gambar 2 (a).

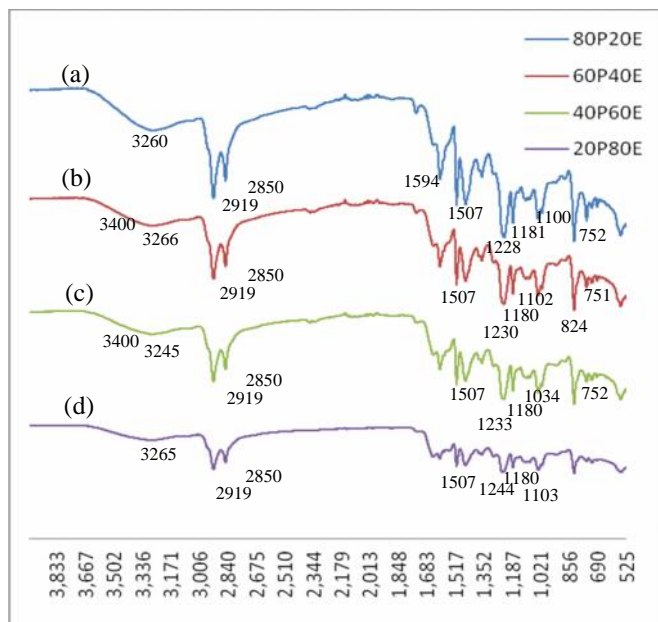


Gambar 1. Hasil FTIR (a) 100P0E, (b) 0P100E

Pada sampel 60P40E yang mengandung komposisi 60:40 didapatkan hasil adanya grup secondary aliphatic alcohol, aromatic ether, mono substitute aniline, para substitute aromatic hydrocarbon, hydroxyl phenol dan aliphatic hydrocarbon. Grup secondary aliphatic alcohol ditemukan pada wavenumber 1102 cm^{-1} . Grup ini memiliki ikatan rantai -OH di dalamnya. Grup aromatic ether pada sampel 60P40E ditemukan pada wavenumber 1180 cm^{-1} . Grup ini dianalisa sebagai aryl ether. Grup hydroxyl dari phenol juga muncul pada komposisi ini yaitu pada wavenumber 1230 cm^{-1} dan

3266 cm^{-1} . Grup aliphatic hydrocarbon juga ditemukan pada wavenumber 1507 cm^{-1} , 2919 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} . Pada komposisi ini terdapat grup baru yang muncul yaitu mono substitute aniline. Grup aniline ini sama saja dengan grup dari aliphatic amine. Grup ini ditemukan pada wavenumber 3400 cm^{-1} . Grup aniline ini secara umum tergolong lemah dan tidak terlalu berfungsi untuk diagnose polimer. Hasil FTIR sampel 60P40E dapat dilihat pada Gambar 2 (b).

Sampel 40P60E dapat dilihat bahwa terdapat grup aliphatic hydrocarbon, aromatic ether, secondary aliphatic alcohol, mono substitute aniline, para substitute aromatic hydrocarbon dan hydroxyl phenol. Grup aliphatic hydrocarbon pada komposisi ini muncul pada wavenumber 1507 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , dan 2850 cm^{-1} . Grup aromatic ether muncul pada wavenumber 1180 cm^{-1} . Grup hydroxyl phenol muncul pada wavenumber 1233 cm^{-1} dan 3245 cm^{-1} . Grup secondary aliphatic alcohol terlihat muncul pada wavenumber 1103 cm^{-1} . Grup para substitute aromatic hydrocarbon hanya muncul pada wavenumber 753 cm^{-1} . Sedangkan grup mono substitute aniline muncul pada wavenumber 3400 cm^{-1} . Hasil pengujian FTIR sampel 40P60E dapat dilihat pada Gambar 2 (c).



Gambar 2. Hasil FTIR (a) 80P20E, (b) 60P40E, (c) 40P60E dan (d) 20P80E

Pada sampel 20P80E terlihat adanya grup aromatic ether, aliphatic hydrocarbon, hydroxyl phenol, primary aliphatic alcohol dan secondary aliphatic alcohol. Grup ether terlihat pada wavenumber 1180 cm^{-1} . Grup aliphatic hydrocarbon terlihat pada wavenumber 1507 cm^{-1} , 2919 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} . Grup hydroxyl phenol terlihat pada wavenumber 1244. Grup primary aliphatic alcohol terlihat pada wavenumber 3265 cm^{-1} dan 1034 cm^{-1} . Grup secondary aliphatic hydrocarbon terlihat pada wavenumber 1104 cm^{-1} . Hasil pengujian FTIR sampel 20P80E dapat dilihat pada Gambar 2 (d).

Dari gabungan polimer blend resin epoxy dan resin phenolic pada sampel 80P20E, 60P40E, 40P60E dan 20P80E menunjukkan penampakan yang identik pada pengujian FTIR.

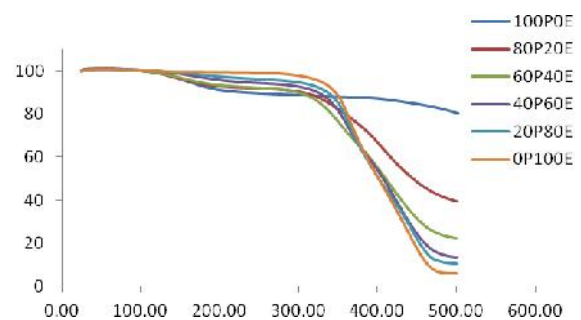
Terlihat pada Gambar 4.6 bahwa puncak-puncak wavenumber memiliki kesamaan dari keempatnya. Pada wavenumber antara 3600 cm^{-1} sampai 3200 cm^{-1} dan 1228 cm^{-1} sampai 1244 cm^{-1} terdapat puncak dari grup hydroxyl (rantai -OH). Pada wavenumber 2850 cm^{-1} sampai 2921 cm^{-1} dan wavenumber 1507 cm^{-1} terdapat grup aliphatic hydrocarbon (rantai -C-H). Pada wavenumber sekitar 1180 terdapat grup aromatic ether (rantai C-O-C').

Hasil pengujian ini dapat juga terlihat pembentukan senyawa baru apabila resin phenolic dcampur dengan resin epoxy. Adanya grup mono substitute aniline, secondary aliphatic alcohol, ortho substitute aromatic hydrocarbon dan para aromatic hydrocarbon adalah grup baru yang terbentuk akibat dari penggabungan dua resin ini.

Dari pengujian FTIR penggabungan resin epoxy dan resin phenolic, dapat disimpulkan terjadi ikatan antara kedua bahan tersebut. Hal tersebut dapat terlihat dari adanya puncak-puncak wavenumber yang terdapat ciri-ciri dari phenolic dan epoxy. Pada sampel 80P20E sampai 20P80E terdapat wavenumber dari grup ether dan grup hydroxyl. Grup ether adalah karakterstik dari resin epoxy dan grup hydroxyl adalah karakteristik dari resin phenolic.

B. Pengujian Termogravimetric Analysis

Hasil pengujian sampel 100P0E menunjukkan kestabilan panas sampel pada temperatur 25 hingga 130 $^{\circ}\text{C}$. Pada temperatur range ini tidak Nampak perubahan berat secara signifikan. Pada pemanasan berikutnya sampel mengalami penurunan berat hingga 10% pada temperatur 130 hingga 235 $^{\circ}\text{C}$. Setelah pemanasan pada temperatur 235 $^{\circ}\text{C}$ sampel kembali stabil sampai temperatur 400 $^{\circ}\text{C}$. Setelah pemanasan diatas temperatur 400 $^{\circ}\text{C}$ terjadi penurunan berat berlanjut hingga tersisa 80,4% berat sampel pada temperatur akhir pemanasan 500 $^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3. Hasil pengujian TGA

Pada sampel 80P20E menunjukkan komposisi tersebut stabil terhadap panas hingga pada temperatur 300 $^{\circ}\text{C}$. Pada temperatur 25 hingga 300 $^{\circ}\text{C}$ tidaklah terjadi pengurangan berat yang signifikan. Sampel baru menunjukkan perubahan yang drastis setelah pemanasan di atas temperatur 300 $^{\circ}\text{C}$. Pengurangan berat turun tajam hingga tersisa 40,6% berat sampel pada temperatur akhir pemanasan 500 $^{\circ}\text{C}$. Sampel 60P40E menunjukkan komposisi tersebut stabil pada temperatur 25 hingga 310 $^{\circ}\text{C}$. Perubahan baru terjadi setelah pemanasan diatas temperatur 310 $^{\circ}\text{C}$. Terjadi penurunan berat hingga 68% selama pemanasan antara temperatur 310 sampai

500°C. Berat akhir dari pemanasan temperatur 500°C adalah sebesar 22,3% dari total berat.

Sampel 40P60E menunjukkan komposisi tersebut stabil pada temperatur 25 hingga 330°C. Perubahan baru terjadi setelah pemanasan diatas temperatur 330°C dimana terjadi penurunan berat hingga 80% selama pemanasan antara temperatur 330 sampai 500°C. berat akhir dari sampel tersisa hanya 13,4% dari berat total. Sampel 20P80E menunjukkan komposisi tersebut stabil pada temperatur 25 hingga 330°C. Perubahan baru terjadi setelah pemanasan diatas temperatur 330°C. Pada temperatur ini terjadi penurunan drastis hingga pada temperatur 470°C. Penurunan berat yang terjadi pada interval ini adalah 80%. Setelah pemanasan diatas 470°C temperatur kembali stabil hingga pada temperatur 500°C. Berat sisa sampel pada akhir pemanasan 500°C adalah sebesar 10,6%. Sampel 0P100E menunjukkan komposisi tersebut stabil pada temperatur 25 hingga 350°C. Perubahan terjadi setelah pemanasan diatas temperatur 350°C, dimana setelah pemanasan tersebut berat dari sampel menurun drastis hingga 87% pada temperatur 470°C. Setelah pemanasan diatas temperatur 470°C berat sampel kembali stabil hingga temperatur 500°C. Berat sisa pada akhir pemanasan adalah 6,1% dari total berat.

Tabel 1. Tabel kehilangan berat 5% dan 10% setelah pengujian TGA

Sampel	T (°C) 5 % loss	T (°C) 10 % loss
100P0E	161,56	235,19
80P20E	164,17	306,00
60P40E	175,16	301,83
40P60E	224,50	325,16
20P80E	291,83	336,50
0P100E	329,50	347,00

Penelitian yang dilakukan oleh Zhang pada tahun 2011 menunjukkan bahwa stabilitas termal dari polimer dipengaruhi oleh 5% atau 10% pengurangan berat awal [3]. Semakin tinggi temperatur yang dibutuhkan untuk menghasilkan 5% atau 10% pengurangan berat, semakin stabil jenis polimer tersebut. Tabel pengurangan berat *phenolic epoxy* dapat dilihat pada tabel 1.

Pengujian ini diawali dengan pengujian sampel murni, yaitu resin *phenolic* (100P0E) dan resin *epoxy* (0P100E). Berdasarkan Tabel 1 dan 2 pengurangan 5 % berat awal resin *phenolic* (sampel 100P0E) terjadi pada temperatur 161,56° C, dan berat sisa pada temperatur 500°C senilai 80,4 %. Sedangkan pengurangan 5 % berat awal resin *epoxy* (sampel 0P100E) terjadi pada temperatur 329,5° C, dan berat sisa pada temperatur 500°C senilai 6,1%. Ini menunjukkan bahwa resin *epoxy* mempunyai sifat stabilitas termal yang lebih baik dari resin *phenolic*.

Pada pengujian TGA sampel polimer blend *phenolic epoxy*, 80P20E, 60P40E, 40P60E dan 20P80E, menunjukkan perbedaan stabilitas termal yang meningkat seiring naiknya komposisi resin *epoxy*. Ini terlihat pada 5% pengurangan berat awal sampel 80P20E terjadi pada 164,17°C, sampel 60P40E

terjadi pada 175,16°C, sampel 40P60E terjadi pada 224,5°C dan sampel 20P80E terjadi pada 291,83°C.

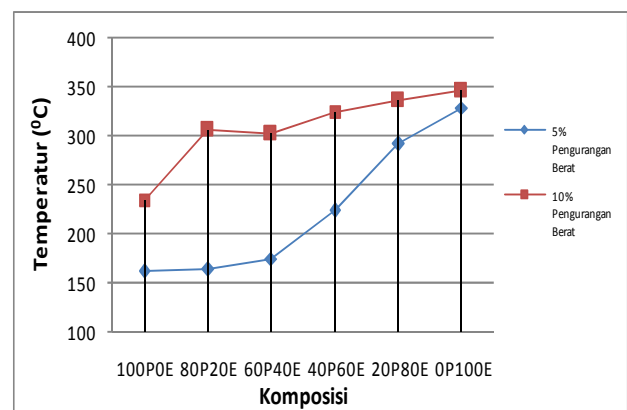
Hal yang hampir sama terjadi pada saat polimer blend kehilangan 10% dari berat awal. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa tren dari stabilitas termal cenderung meningkat seiring bertambahnya komposisi *epoxy*. Perbedaan utama dari hasil pengujian TGA ini adalah pada berat sisa yang dihasilkan dari pengujian.

Tabel 2. Berat sisa di temperatur 500°C

Sampel	Berat sisa (%) di T 500° C
100P0E	80,4
80P20E	39,6
60P40E	22,3
40P60E	13,4
20P80E	10,6
0P100E	6,1

Dari Tabel 2 didapatkan data bahwa semakin banyak komposisi *phenolic* maka berat sisa setelah pengujian semakin tinggi, sedangkan makin banyak *epoxy* berat sisa akan menurun. Perbedaan sangat signifikan terjadi pada sampel 100P0E dengan berat sisa pada temperatur 500°C sebesar 80,4% dengan sampel 0P100E dengan berat sisa hanya 6,1% pada temperatur 500°C. Fenomena ini terjadi akibat terbentuknya arang pada sampel 100P0E sehingga berat sisa dari sampel masih tinggi. Sedangkan pada sampel 0P100E yang terjadi adalah menguapnya resin menjadi gas sehingga berat sampel yang tersisa hanya sebesar 6,1%.

Dari hasil yang ada, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak komposisi *phenolic* pada polimer blend *phenolic epoxy* ini akan menurunkan stabilitas termalnya. Sedangkan makin banyak komposisi *epoxy* cenderung menaikkan stabilitas termal. Grafik tren pengaruh komposisi terhadap stabilitas termal polimer blend *phenolic epoxy* pada 5% dan 10% pengurangan berat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik stabilitas termal pada 5% dan 10% kehilangan berat polimer blend

C. Pengujian Waktu Kering

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D1640 [4]. Waktu kering yang didapatkan dari coating *phenolic*, *epoxy*, maupun paduan dari kedua bahan tersebut menunjukkan hasil

yang bervariasi. Waktu kering yang didapat adalah berkisar antara 20 sampai 140 menit seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian waktu kering

No	Sampel	Waktu Kering
1	100P0E	20 menit
2	80P20E	25 menit
3	60P40E	30 menit
4	40P60E	45 menit
5	20P80E	80 menit
6	0P100E	140 menit

Dibutuhkan waktu yang lebih lama agar *epoxy* benar-benar kering karena tingkat kereaktifan antara gugus-gugus kimianya yang rendah. Tingkat kereaktifitas ini merupakan fungsi dari waktu. Semakin tinggi reaktifitas suatu polimer dalam membentuk ikatan, maka semakin cepat reaksi kimianya. Hal berbeda akan terjadi apabila digunakan panas untuk mereaksikan *epoxy*. Saat menerima panas, tingkat reaktifitas dari gugus-gugus kimia *epoxy* meningkat dan mempercepat waktu kering dari *epoxy*. Dengan pemanasan, ikatan crosslinking resin *epoxy* lebih mudah terbentuk.

Sedangkan semakin banyak komposisi *phenolic* justru semakin mempercepat waktu kering dari film coating. Ini disebabkan oleh reaktifitas gugus-gugus kimia dari *phenolic* yang tinggi, sehingga waktu yang diperlukan untuk saling bereaksi menjadi lebih cepat. Paduan dari sistem coating antara *phenolic* dan *epoxy* menunjukkan tren waktu kering yang semakin lama seiring dengan bertambahnya komposisi *epoxy*.

D. Pengujian Ketahanan Panas

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D1360 [5]. Pengujian ketahanan panas dilakukan pada temperatur 40⁰ dan 80⁰ C di dalam oven selama 24 jam. Hasil uji ketahanan panas disajikan pada Tabel 4.

Pada pemanasan dengan temperatur 40⁰ C selama 24 jam tidak terjadi perubahan pada semua spesimen. Ini menandakan bahwa coating ini dapat berfungsi dengan baik apabila digunakan pada temperatur kerja 40⁰ C.

Hasil yang berbeda muncul pada pengujian dengan temperatur 80⁰ C. Pada sampel 80P20E sampai sampel 40P60E terjadi perubahan fisik pada permukaan coating, yakni berupa perubahan warna yang awalnya jingga menjadi kecoklatan. Perubahan ini dimungkinkan karena coating terbakar saat menerima panas dari lingkungannya. Akan tetapi perubahan warna ini dirasa tidak terlalu berpengaruh pada performa coating. Ini ditunjukkan oleh pengujian ketahanan termal yang dilakukan sebelumnya yakni TGA bahwa tidak terjadi perubahan yang sangat berarti apabila coating diekspose pada temperatur 40-80⁰C. Pada pengujian TGA saat temperatur 40 dan 80⁰C pengurangan berat dari sampel hampir mendekati 0%. Dari hasil pengujian panas diatas dapat disimpulkan bahwa seluruh sampel coating aman untuk digunakan pada pipa overhead debutanizer dengan temperatur kerja 40 dan 80⁰C .

Tabel 4. Hasil pengujian ketahanan panas

Temperatur	Sampel	Hasil
40 ⁰ C	100P0E	Tidak terjadi perubahan
	80P20E	Tidak terjadi perubahan
	60P40E	Tidak terjadi perubahan
	40P60E	Tidak terjadi perubahan
	20P80E	Tidak terjadi perubahan
	0P100E	Tidak terjadi perubahan
80 ⁰ C	100P0E	Tidak terjadi perubahan
	80P20E	Warna berubah kecoklatan
	60P40E	Warna berubah kecoklatan
	40P60E	Warna berubah kecoklatan
	20P80E	Tidak terjadi perubahan
	0P100E	Tidak terjadi perubahan

E. Pengujian Fleksibilitas

Pengujian fleksibilitas yang dilakukan mengacu pada metode ASTM D522 [6]. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian fleksibilitas

No	Sampel	Hasil	Bentuk retakan
1	100P0E	Tidak retak	-
2	80P20E	Tidak retak	-
3	60P40E	Tidak retak	-
4	40P60E	Retak	Terdapat 4 retakan, panjang maksimal 17,5 mm dan lebar maksimal 6 mm
5	20P80E	Retak	Terdapat 6 retakan, panjang maksimal 15 mm dan lebar maksimal 5 mm
6	0P100E	Tidak retak	-

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi *epoxy* maka fleksibilitas coating menjadi semakin berkurang. Retak pada sampel 40P60E dan 20P80E terjadi akibat komposisi keduanya yang terlalu getas. Ini diakibatkan oleh sifat dari resin *epoxy* yang keras dan kaku. Penambahan resin *phenolic* juga terbukti efektif untuk menaikkan sifat fleksibilitas dari coating. Ini dilihat dari sampel 100P0E, 80P20E dan 60P40E yang tidak mengalami keretakan pada pengujian. Hasil ini membuktikan bahwa resin *phenolic* memiliki ketahanan retak yang baik sesuai dengan yang disebutkan oleh Surdia pada tahun 1999. Paduan resin ini mampu tahan retak pada komposisi maksimum 60P40E yaitu 60:40.

Dari pengujian fleksibilitas ini dapat disimpulkan bahwa penambahan *phenolic* pada komposisi coating dapat meningkatkan fleksibilitas dari polimer blend.

F. Pengujian Ketahanan Asam

Pengujian yang dilakukan mengacu pada standar NACE TM0174 [7]. Uji ketahanan asam dilakukan untuk melihat respon dari coating apabila terkena larutan asam. Pengujian dilakukan dengan mencelupkan spesimen pada asam kuat yaitu HCl dengan pH 1 (konsentrasi 1 Molar) selama 7 hari. Hasil dari pengujian asam dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian ketahanan asam

No	Sampel	Hasil
1	100P0E	Coating bergelembung
2	80P20E	Tidak terjadi perubahan
3	60P40E	Tidak terjadi perubahan
4	40P60E	Tidak terjadi perubahan
5	20P80E	Coating terlepas dari substrat
6	0P100E	Coating terlepas dari substrat

Rusakanya coating ini disebabkan oleh kurangnya kemampuan *phenolic* dan *epoxy* dalam bertahan di lingkungan asam kuat HCl. HCl dapat berdifusi ke dalam lapisan film dan berakhir pada lapisan *interface* antara substrat dan lapisan film. Akibatnya, pada *interface* akan terkumpul molekul air, dan akan terus meningkat sehingga pada bagian *interface* adesinya menjadi kurang baik. Reaksi korosi dimulai pada bagian tersebut karena adanya elektrolit yang terakumulasi. Reaksi tersebut menyebabkan terbentuknya *blister* (pelepuhan), di mana adesi antara *coating* dan substrat menjadi rusak. *Blister* ini tumbuh dan berkembang, sehingga pada sampel 20P80E dan 0P100E terjadi peristiwa delaminasi katodik (terlepasnya coating dari substrat).

G. Pengujian Ketahanan Abrasi

Uji tingkat ketahanan abrasi dilakukan dengan metode *abrasive falling sand test* yang dilakukan dengan cara menjatuhkan pasir silika di atas spesimen yang telah dicoating [8]. Hasil uji ketahanan abrasi tersebut disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian ketahanan abrasi

Sampel	Tebal terabrasi (mikron per liter)
100P0E	6,8
80P20E	2,5
60P40E	2,0
40P60E	2,15
20P80E	2,15
0P100E	1,66

Tren yang didapatkan pada grafik menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi *phenolic* akan menyebabkan ketahanan abrasi berkurang. Sebaliknya semakin banyak komposisi *epoxy* akan meningkatkan ketahanan terhadap abrasi. Hal ini disebabkan oleh ikatan crosslinking *epoxy* yang menyebabkan sifat bahan tersebut lebih keras dan kaku. Penambahan katalis jenis amine juga dapat mengeraskan

epoxy karena terdapat ikatan NH_2 di dalamnya. Dengan semakin meningkatnya komposisi *epoxy*, maka kekerasan dari coating juga akan bertambah.

Dari hasil pengujian ketahanan abrasi, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan komposisi *epoxy* akan meningkatkan ketahanan abrasi dari coating.

III. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian FTIR yang telah dilakukan, terjadi ikatan pada pencampuran *phenolic* dan *epoxy*. Penambahan komposisi *epoxy* pada sampel cenderung meningkatkan ketahanan abrasi dan stabilitas termal. Sedangkan pada penambahan komposisi *phenolic* akan cenderung meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan asam serta mempercepat waktu kering. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perbandingan komposisi *phenolic* dan *epoxy* yang menghasilkan performa coating yang ideal berturut-turut adalah 60:40.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PT Pertamina RU V Balikpapan yang telah bersedia memberikan fasilitas berupa pengambilan data di perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surdia, Tata. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita. Jakarta (1999).
- [2] Sturiale, dkk. 2006. Enhancement of the Adhesive Joint Strength of the Epoxy-Amine System via the Addition of a Resole-Type Phenolic Resin. International Journal of Adhesion & Adhesives 27 (2007) 156-164
- [3] Zhang, dkk. Novel Flame Retardancy effects of DOPO-POSS on Epoxy Resins. Polymer Degradation and Stability 96 (2011) 2167-2173
- [4] _____. "Standard Test Methods for Drying, Curing, or Film Formation of Organic Coatings at Room Temperature". D 1640, Annual Book ASTM Standar (1995).
- [5] _____. "Standard Test Methods for Fire Retardancy of Paint". D 1360, Annual Book ASTM Standar (1998).
- [6] _____. "Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings". D 522, Annual Book ASTM Standar (1993)..
- [7] _____. "Standard Test Methods Laboratory Methods for the Evaluation of Protective Coating and Lining Materials in Immersion Service". TM 0174, NACE International (1996).
- [8] _____. "Standard Test Methods for Abrasion Resistance of Organic Coatings by Falling Abrasive". D 968, Annual Book ASTM Standar (1993).