

OPTIMASI DOSIS MEKP DAN COBALT TERHADAP POT LIFE DAN KUAT TEKAN MORTAR POLIMER VINYL ESTER

Anizar Rizqi Kurniawan¹, Bobby Asukmajaya R.², Nawir Rasidi³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

Email: anizarrizqi@gmail.com, bobbyasukma@polinema.ac.id², nawir.rasidi@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Infrastruktur dermaga yang terpapar lingkungan laut rentan mengalami kerusakan akibat penetrasi ion klorida yang memicu korosi tulangan dan spalling beton. Kondisi ini menuntut material perbaikan cepat dengan kekuatan awal tinggi yang mampu mengembalikan fungsi operasional struktur dalam waktu singkat. Mortar polimer berbasis resin vinyl ester menjadi kandidat unggul karena karakteristik pengerasan cepatnya tanpa proses curing termal tambahan. Penelitian ini mengkaji pengaruh dosis Metil Etil Keton Peroksida (MEKP) sebesar 3,5% dan variasi dosis Cobalt Naphthenate (0,6%; 0,8%; 1,0%) terhadap berat resin vinyl ester Ripoxy R-804J-500 terhadap karakteristik pengerasan dan kuat tekan. Pengujian *pot life* mengacu pada ASTM D2471-99 menggunakan alat stirrer 200 rpm, sementara pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji kubus 5×5×5 cm pada umur 3 jam, 24 jam, dan 28 hari mengacu pada SNI 03-6825-2002. Hasil menunjukkan bahwa pada dosis MEKP 3,5%, peningkatan dosis Cobalt tidak memengaruhi *pot life* yang tetap stabil pada 8 menit, namun menurunkan suhu eksoterm dari 174,6°C menjadi 167,1°C. Kuat tekan pada umur 3 jam berkisar 754,06–769,02 kg/cm², umur 24 jam mengalami penurunan menjadi 695,65–766,29 kg/cm², dan umur 28 hari mengalami pemulihan menjadi 791,48–838,31 kg/cm². Fenomena penurunan kuat tekan pada umur 24 jam mengindikasikan adanya suhu lingkungan yang menyebabkan pembentukan rantai polimer pendek dan retak termal akibat suhu eksoterm tinggi.

Kata kunci : mortar polimer vinyl ester; MEKP; cobalt; pot life; kuat tekan; suhu lingkungan

ABSTRACT

Pier infrastructure exposed to marine environments are vulnerable to damage caused by chloride ion penetration, which triggers reinforcement corrosion and concrete spalling. This condition demands a rapid-repair material with high early strength capable of restoring operational function in a short time. Vinyl ester resin-based polymer mortar serves as a superior candidate due to its rapid hardening characteristics without additional thermal curing. This study examines the effect of 3.5% Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP) dosage with variations of Cobalt Naphthenate dosage (0.6%, 0.8%, and 1.0%) by weight of Ripoxy R-804J-500 vinyl ester resin on curing characteristics and compressive strength. Pot life testing referred to ASTM D2471-99 using a 200 rpm stirrer, while compressive strength testing was performed on 5×5×5 cm cube specimens at the ages of 3 hours, 24 hours, and 28 days in accordance with SNI 03-6825-2002. The results showed that at 3.5% MEKP dosage, increasing Cobalt dosage did not affect pot life which remained stable at 8 minutes, but decreased exothermic temperature from 174.6°C to 167.1°C. Compressive strength at 3 hours ranged from 754.06–769.02 kg/cm², at 24 hours decreased to 695.65–766.29 kg/cm², and at 28 days recovered to 791.48–838.31 kg/cm². The decrease in compressive strength at 24 hours indicates suhu lingkungan causing short polymer chain formation and thermal cracking due to high exothermic temperature.

Keywords : vinyl ester polymer mortar; MEKP; cobalt; pot life; compressive strength; environmental temperature

1. PENDAHULUAN

Dermaga merupakan infrastruktur vital dalam kegiatan pelayaran dan logistik maritim yang umumnya berada di lingkungan laut dengan kondisi ekstrem, terutama pada area pasang surut. Struktur ini secara kontinu terpapar air laut dengan kandungan ion klorida tinggi serta mengalami siklus

basah-kering akibat perubahan muka air. Seiring waktu, daya lekat antara beton dan tulangan baja berkurang sehingga tulangan tidak lagi bekerja secara optimal dalam menahan beban struktur. Kondisi ini umumnya ditandai dengan munculnya retak pada permukaan beton yang selanjutnya dapat berkembang menjadi pengelupasan atau spalling beton.

Ion klorida yang masuk ke dalam pori-pori beton merusak lapisan pasivasi pada tulangan baja sehingga mempercepat terjadinya korosi, yang pada akhirnya menurunkan kapasitas struktur secara signifikan.

Sistem infrastruktur vital harus segera dikembalikan ke kondisi operasional setelah mengalami kerusakan untuk mengurangi waktu henti dan mencegah kerugian ekonomi maupun operasional yang berantai. Metode perbaikan konvensional berbasis semen Portland umumnya memerlukan waktu curing yang lama untuk mencapai sifat mekanik yang memadai, sehingga kurang sesuai untuk aplikasi perbaikan cepat (*rapid repair*). Material perbaikan cepat tidak hanya dituntut mampu mencapai kekuatan awal tinggi dalam waktu singkat, tetapi juga harus tetap bertahan sepanjang umur layanan struktur.

Beton polimer muncul sebagai solusi alternatif yang menjanjikan karena memiliki sifat pengeringan cepat dan kekuatan tekan yang tinggi. Mortar polimer berbasis resin vinyl ester secara khusus menonjol karena ketahanannya terhadap serangan kimia, degradasi lingkungan, dan penyerapan air yang rendah, menjadikannya ideal untuk aplikasi di sektor kelautan. Resin vinyl ester merupakan polimer termoset yang disintesis dari reaksi resin epoksi dengan asam monokarboksilat, menghasilkan molekul oligomer dengan ikatan rangkap reaktif pada terminalnya yang membentuk jaringan terikat silang melalui polimerisasi radikal bebas.

Proses curing resin vinyl ester pada temperatur ruang memerlukan sistem inisiasi yang terdiri dari inisiator dan akselerator. Metil Etil Keton Peroksida (MEKP) berfungsi sebagai inisiator yang menghasilkan radikal bebas melalui dekomposisi termal, sementara Cobalt Napthenate berperan sebagai akselerator yang mempercepat pembentukan radikal bebas tersebut pada suhu ruang. Interaksi antara MEKP dan Cobalt merupakan faktor krusial yang mengendalikan kinetika polimerisasi, yang secara langsung memengaruhi *pot life*, suhu eksoterm, dan perkembangan kuat tekan material.

Berdasarkan tinjauan pustaka, terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang menjadi landasan dilakukannya kajian ini. Pertama, penelitian Rochman et al. menggunakan resin vinyl ester namun membatasi pengujian pada satu titik dosis MEKP-Cobalt (4,5% MEKP dan 1% Cobalt) tanpa melakukan variasi sistematis. Kedua, Farsane et al. memang mengkaji variasi dosis inisiator dan akselerator secara kuantitatif, tetapi pada resin unsaturated polyester yang memiliki distribusi gugus ester berbeda dengan vinyl ester. Ketiga, tidak ada studi sebelumnya yang secara spesifik mengevaluasi efek dosis MEKP tinggi (3,5%) dengan variasi

Cobalt terhadap karakteristik curing dan perkembangan kuat tekan multi-umur pada mortar polimer vinyl ester.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh dosis MEKP 3,5% dengan variasi dosis Cobalt Napthenate (0,6%; 0,8%; dan 1,0%) terhadap karakteristik pengerasan (*pot life* dan suhu eksoterm) serta perkembangan kuat tekan mortar polimer vinyl ester pada umur 3 jam, 24 jam, dan 28 hari. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman mendalam mengenai fenomena suhu lingkungan pada dosis inisiator tinggi dan kontribusi teoretis bagi pengembangan material perbaikan struktur cepat berbasis vinyl ester.

2. METODE

2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) Resin vinyl ester Ripoxy R-804J-500 (Resonac Asia Pacific) dengan berat jenis 1,04 g/cm³ dan viskositas 0,20–0,35 Pa.s; (2) Inisiator MEKP (Kawagaci Kimia Indonesia) dengan berat jenis 1,130 g/cm³ dan titik nyala 50°C; (3) Akselerator Cobalt Napthenate/Octoate (Yukalic) dengan densitas 0,870–0,910 g/cm³. Berikut material yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Gambar 1**



Gambar 1 Material yang digunakan dalam Penelitian

2.2 Desain Campuran

Penelitian ini difokuskan pada dosis MEKP 3,5% dengan tiga variasi dosis Cobalt, sebagaimana disajikan pada **Tabel 1**. Pemilihan dosis MEKP 3,5% didasarkan pada hasil studi pendahuluan yang menunjukkan bahwa dosis ini berada pada batas atas rentang yang umum digunakan dalam aplikasi komersial (1%–4%), sehingga diharapkan dapat mengungkap waktu kerja (*pot life*) dan kuat tekan yang optimal.

Tabel 1 Rincian Komposisi Material Benda Uji Pot Life

Kode	MEKP (%)	Cobalt (%)	MEKP (gr)*	Cobalt (gr)*
P.13	3,5	0,6	3,64	0,62
P.14	3,5	0,8	3,64	0,83
P.15	3,5	1,0	3,64	1,04

*Per 100 ml resin vinyl ester (104 gr)

2.3 Pembuatan Benda Uji

Benda uji pot life dibuat dengan mencampurkan 100 ml resin vinyl ester (setara dengan 104 gram) dengan MEKP dan Cobalt sesuai komposisi pada **Tabel 1**. Pencampuran dilakukan menggunakan alat stirrer 200 rpm selama 60 detik untuk memastikan homogenitas.

Benda uji kuat tekan berbentuk kubus 5×5×5 cm dibuat sesuai SNI 03-6835-2002. Kebutuhan material untuk setiap komposisi dihitung berdasarkan volume benda uji (125 cm³) dengan faktor pengali 1,2, dikalikan berat jenis resin (1,04 g/cm³), menghasilkan kebutuhan total 468 gram resin per tiga benda uji (tiga benda uji untuk masing-masing umur pengujian: 3 jam, 24 jam, dan 28 hari).

2.4 Pengujian Pot Life

Pengujian pot life mengacu pada ASTM D2471-99 menggunakan alat stirrer 200 rpm. Setelah pencampuran, suhu awal campuran diukur menggunakan thermogun dan pencatatan waktu dimulai. Pengukuran suhu dan observasi kondisi material dilakukan setiap 2 menit hingga material mencapai fase padat (180 menit). Kondisi material diklasifikasikan menjadi lima fase: (1) *Pot Life* (cair, dapat dialirkan); (2) *Soft Gel* (mengental awal, dapat ditekan ringan); (3) *Semi Hard Gel* (tekstur sedikit padat); (4) *Hard Gel* (mulai padat, memiliki daya lekat); (5) Padat (tidak dapat ditekan).



Gambar 2 Pengujian Pot Life

Tabel 2 Hasil Pengujian Pot Life dan Suhu Eksoterm

Kode	MEKP (%)	Cobalt (%)	Pot Life (menit)	Soft Gel (menit)	Semi Hard Gel (menit)	Hard Gel (menit)	Padat (menit)	Suhu Eksoterm (°C)
P.13	3,5	0,6	8	8-10	10-12	12-44	44-180	174,6
P.14	3,5	0,8	8	8-12	12-14	14-40	40-180	168,3
P.15	3,5	1,0	8	8-12	12-14	14-40	40-180	167,1

2.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji kubus 5×5×5 cm menggunakan mesin *compressive strenght*. Pengujian dilaksanakan pada tiga umur: 3 jam, 24 jam, dan 28 hari. Beban maksimum dicatat dan kuat tekan dihitung dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana:

σ = kuat tekan (N/mm²)

P_{max} = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

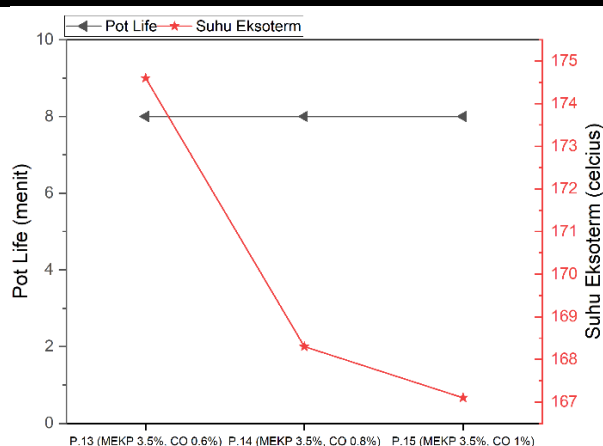


Gambar 3 Pengujian Kuat Tekan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Pot Life dan Suhu Eksoterm

Tabel 2 menyajikan hasil pengujian pot life dan suhu eksoterm untuk ketiga komposisi dengan dosis MEKP 3,5%.



Gambar 4 Grafik Hasil Pot Life dan Suhu Eksoterm

3.1.1 Analisis Pot Life

Hasil pengujian menunjukkan fenomena yang menarik: pada dosis MEKP 3,5%, variasi dosis Cobalt dari 0,6% menjadi 1,0% tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap *pot life* yang tetap stabil pada 8 menit untuk ketiga komposisi. Hal ini berbeda dengan tren yang diamati pada dosis MEKP lebih rendah, di mana peningkatan dosis Cobalt secara konsisten memperpendek *pot life*. Misalnya, pada dosis MEKP 1,5%, peningkatan Cobalt dari 0,6% menjadi 1,0% memperpanjang *pot life* dari 50 menit menjadi 82 menit.

Stabilitas *pot life* pada 8 menit untuk ketiga komposisi dengan MEKP 3,5% mengindikasikan bahwa pada dosis inisiator yang sangat tinggi, laju pembentukan radikal bebas telah mencapai titik saturasi yang tidak lagi dipengaruhi secara signifikan oleh variasi dosis akselerator dalam rentang 0,6%–1,0%. MEKP pada konsentrasi 3,5% menghasilkan radikal bebas dalam jumlah yang sangat besar segera setelah pencampuran, sehingga proses gelasi berlangsung sangat cepat terlepas dari konsentrasi Cobalt.

Dari perspektif aplikasi praktis, *pot life* 8 menit berada di bawah batas minimum 30 menit yang ditetapkan ASTM C881 untuk material perbaikan struktur. Kondisi ini membatasi waktu pengerjaan di lapangan dan meningkatkan risiko kegagalan aplikasi jika tidak dilakukan dengan sangat cepat dan terkontrol. Namun, untuk aplikasi khusus seperti injeksi retak atau precast element dengan sistem

Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Umur 3 Jam, 24 Jam, dan 28 Hari

Kode	MEKP (%)	Cobalt (%)	Kuat Tekan 3 Jam (kg/cm ³)	Kuat Tekan 24 Jam (kg/cm ³)	Kuat Tekan 28 Hari (kg/cm ³)
P.13	3,5	0,6	769,02	766,29	827,43
P.14	3,5	0,8	754,06	726,87	838,31
P.15	3,5	1,0	760,87	695,65	791,48

3.2.1 Kuat Tekan Umur 3 Jam

Pada umur 3 jam, ketiga komposisi dengan MEKP 3,5% menghasilkan kuat tekan yang relatif seragam dengan rentang 754,06–769,02 kg/cm². Nilai ini setara dengan 74,0–

pencampuran otomatis, *pot life* yang sangat singkat ini dapat menjadi keunggulan karena mempercepat waktu pengerasan dan mengurangi waktu henti produksi.

3.1.2 Analisis Suhu Eksoterm

Suhu eksoterm tertinggi tercatat pada komposisi P.13 (MEKP 3,5%, Cobalt 0,6%) sebesar 174,6°C, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh 15 komposisi yang diuji dalam studi ini. Peningkatan dosis Cobalt menjadi 0,8% dan 1,0% secara berturut-turut menurunkan suhu eksoterm menjadi 168,3°C dan 167,1°C. Penurunan suhu eksoterm sebesar 6,3°C–7,5°C dengan penambahan Cobalt mengindikasikan perubahan mekanisme reaksi polimerisasi. Pada dosis MEKP 3,5% dengan Cobalt 0,6%, konsentrasi radikal bebas yang terbentuk sangat tinggi namun laju reaksi masih terkendali cukup baik sehingga energi eksotermik terkonsentrasi dalam volume reaksi yang relatif homogen. Peningkatan dosis Cobalt mempercepat laju pembentukan radikal bebas lebih jauh, yang menyebabkan reaksi berlangsung lebih eksplosif di awal periode gelasi. Kondisi ini mengakibatkan konsumsi monomer yang sangat cepat di fase awal, sehingga pada fase puncak eksotermik, jumlah monomer yang tersedia untuk bereaksi berkurang dan total energi yang dilepaskan menurun. Selain itu, pembentukan rantai polimer pendek akibat suhu lingkungan mengurangi jumlah ikatan silang yang terbentuk, yang berkontribusi pada penurunan total energi eksotermik.

Suhu eksoterm 174,6°C pada P.13 mendekati batas toleransi termal matriks vinyl ester. Pada suhu di atas 150°C, terdapat risiko degradasi termal pada ikatan ester dan vinil, serta penguapan monomer stirena yang belum bereaksi. Degradasi ini dapat membentuk void mikroskopis dan mengurangi integritas matriks polimer. Namun, pada komposisi P.13, suhu puncak tercapai pada fase hard gel (menit ke-12–44) di mana material sudah memiliki kekakuan awal yang cukup untuk menahan tekanan internal dari penguapan monomer, sehingga kerusakan struktural minimal.

3.2 Perkembangan Kuat Tekan

Tabel 3 menyajikan hasil pengujian kuat tekan pada umur 3 jam, 24 jam, dan 28 hari untuk ketiga komposisi.

75,5 MPa, yang jauh melampaui batas minimum ASTM C881 sebesar 55 MPa untuk material perbaikan struktur. Kemampuan mencapai kekuatan struktural tinggi dalam

waktu sangat singkat merupakan karakteristik kunci mortar polimer vinyl ester sebagai material perbaikan cepat.

Komposisi P.13 (Cobalt 0,6%) menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 3 jam sebesar 769,02 kg/cm². Meskipun perbedaan dengan P.14 (754,06 kg/cm²) dan P.15 (760,87 kg/cm²) tidak signifikan secara statistik, tren ini konsisten dengan suhu eksoterm tertinggi pada P.13. Suhu eksoterm yang lebih tinggi mengindikasikan derajat polimerisasi yang lebih tinggi pada fase awal, yang menghasilkan lebih banyak ikatan silang dan rantai polimer yang lebih panjang. Ikatan silang yang padat pada fase awal memberikan kerangka struktural yang kuat untuk menahan beban tekan meskipun proses curing belum sempurna.

Perbandingan dengan komposisi MEKP lebih rendah menunjukkan bahwa kuat tekan umur 3 jam pada MEKP 3,5% (754–769 kg/cm²) lebih rendah dibandingkan MEKP 2,5% (873–933 kg/cm²) dan MEKP 3,0% (869–937 kg/cm²). Fenomena ini mengkonfirmasi adanya suhu lingkungan pada dosis MEKP 3,5%. Konsentrasi radikal bebas yang terlalu tinggi menyebabkan terminasi rantai dini dan pembentukan rantai polimer pendek, yang mengurangi efisiensi pembentukan jaringan silang tiga dimensi. Meskipun material mengeras sangat cepat (pot life hanya 8 menit), kualitas jaringan polimer yang terbentuk tidak optimal dari segi kekuatan mekanis.

3.2.2 Kuat Tekan Umur 24 Jam

Fenomena paling menarik terjadi pada umur 24 jam, di mana ketiga komposisi mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan umur 3 jam. P.13 turun dari 769,02 menjadi 766,29 kg/cm² (penurunan 0,4%), P.14 turun dari 754,06 menjadi 726,87 kg/cm² (penurunan 3,6%), dan P.15 mengalami penurunan paling signifikan dari 760,87 menjadi 695,65 kg/cm² (penurunan 8,6%).

Penurunan kuat tekan antara umur 3 jam dan 24 jam merupakan fenomena yang tidak umum pada material polimer. Pada dosis MEKP 3,5%, reaksi polimerisasi berlangsung sangat cepat dan eksotermik, menghasilkan suhu internal yang sangat tinggi (hingga 174,6°C pada P.13). Namun, fluktuasi suhu lingkungan selama proses curing yang tidak terkontrol menyebabkan distribusi suhu internal yang tidak merata antar benda uji. Kondisi ini menghasilkan gradien termal yang bervariasi, sehingga derajat polimerisasi dan pembentukan ikatan silang tidak seragam. Perbedaan laju pendinginan akibat variasi suhu lingkungan juga berkontribusi pada pembentukan tegangan residual yang tidak konsisten, yang pada akhirnya mengakibatkan hasil kuat tekan yang beragam pada umur 24 jam.

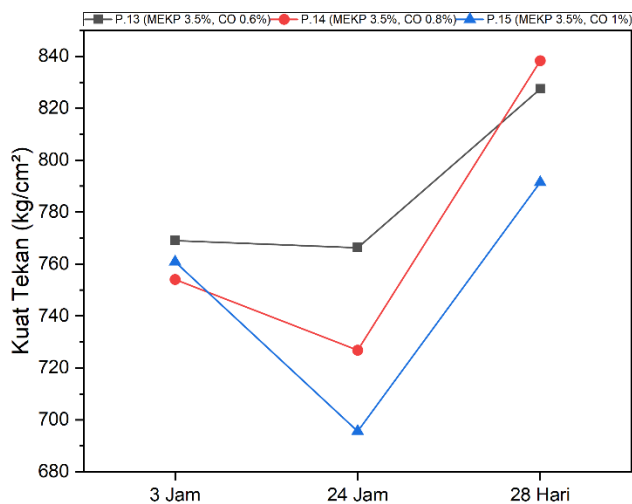
Fenomena pemulihan kuat tekan pada umur 28 hari mengindikasikan bahwa proses polimerisasi masih berlanjut. Namun, fluktuasi nilai kuat tekan antar komposisi tetap

terjadi, yang diduga masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama periode curing lanjutan. Variasi suhu ruang yang tidak tercatat secara sistematis selama penelitian berpotensi menjadi sumber ketidakpastian utama dalam hasil pengujian.

3.2.3 Kuat Tekan Umur 28 Hari

Pada umur 28 hari, kuat tekan mengalami pemulihan dengan tren yang bervariasi. P.13 meningkat dari 766,29 menjadi 827,43 kg/cm² (peningkatan 8,0%), P.14 meningkat dari 726,87 menjadi 838,31 kg/cm² (peningkatan 15,3%), dan P.15 meningkat dari 695,65 menjadi 791,48 kg/cm² (peningkatan 13,7%). Pemulihan kuat tekan ini mengindikasikan bahwa proses polimerisasi masih berlanjut setelah umur 24 jam, meskipun pada laju yang sangat lambat. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada P.14 (15,3%), yang mengindikasikan bahwa komposisi ini memiliki potensi curing jangka panjang yang lebih baik dibandingkan P.13 dan P.15. Pada P.14, kombinasi MEKP 3,5% dan Cobalt 0,8% menghasilkan laju polimerisasi yang cukup cepat untuk memberikan kekuatan awal namun tidak terlalu eksplosif sehingga menyebabkan kerusakan struktural yang parah. Kondisi ini memungkinkan terjadinya curing lanjutan (post-curing) yang membentuk ikatan silang tambahan dan memperbaiki kerusakan mikrostruktural yang terjadi pada fase awal.

Meskipun mengalami pemulihan, kuat tekan umur 28 hari pada ketiga komposisi MEKP 3,5% (791–838 kg/cm²) tetap lebih rendah dibandingkan komposisi optimal MEKP 2% dengan Cobalt 0,6% (P.4) yang mencapai 945,63 kg/cm². Perbedaan ini diduga tidak hanya disebabkan oleh suhu lingkungan, tetapi juga oleh variabilitas suhu lingkungan selama proses curing. Suhu ruang yang fluktuatif mempengaruhi laju reaksi eksoterm dan kinetika polimerisasi, sehingga menghasilkan derajat curing yang tidak konsisten antar benda uji. Kondisi ini menunjukkan bahwa mortar polimer vinyl ester dengan dosis MEKP tinggi sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan, yang menjadi pertimbangan penting dalam aplikasi lapangan. Hasil pengujian kuat tekan umur 3 jam, 24 jam, 28 hari disajikan pada grafik **Gambar 5** sebagai berikut.



Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Umur 3 Jam, 24 Jam, dan 28 Hari

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada dosis MEKP 3,5%, variasi dosis Cobalt Napthenate dari 0,6% menjadi 1,0% tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap pot life yang tetap stabil pada 8 menit. Stabilitas ini mengindikasikan bahwa pada dosis inisiator sangat tinggi, laju pembentukan radikal bebas telah mencapai titik saturasi yang tidak lagi dipengaruhi oleh variasi dosis akselerator dalam rentang tersebut.
2. Suhu eksoterm tertinggi tercatat pada komposisi P.13 (MEKP 3,5%, Cobalt 0,6%) sebesar 174,6°C, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh komposisi yang diuji. Peningkatan dosis Cobalt menjadi 0,8% dan 1,0% menurunkan suhu eksoterm menjadi 168,3°C dan 167,1°C akibat konsumsi monomer yang lebih cepat di fase awal dan pembentukan rantai polimer pendek.
3. Kuat tekan pada umur 3 jam berkisar antara 754,06–769,02 kg/cm², yang melampaui batas minimum ASTM C881 namun lebih rendah dibandingkan komposisi MEKP 2,5% dan 3,0%. Penurunan kuat tekan pada umur 24 jam (695,65–766,29 kg/cm²) dan fluktuasi pada umur 28 hari (791,48–838,31 kg/cm²) diduga akibat suhu lingkungan yang tidak terkontrol selama proses curing, sehingga menghasilkan distribusi suhu internal yang tidak merata dan mengakibatkan hasil kuat tekan yang beragam antar benda uji.
4. Komposisi P.13 (MEKP 3,5%, Cobalt 0,6%) menghasilkan kinerja paling konsisten dengan kuat tekan 28 hari sebesar 827,43 kg/cm² dan suhu eksoterm tertinggi 174,6°C. Meskipun demikian, dosis MEKP 3,5% secara umum tidak direkomendasikan untuk aplikasi perbaikan struktur

karena pot life yang terlalu singkat (8 menit) dan sensitivitas terhadap variasi suhu lingkungan yang dapat menurunkan konsistensi hasil kuat tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Rochmaochman, T., et al., "The performance of novel polymer mortar containing vinyl ester resin reinforced by fly ash and iron sand under compressive, tensile, and flexural test," *J. Build. Eng.*, vol. 76, p. 107205, 2023.
- 2) Farsane, M., et al., "Experimental evaluation of the curing of unsaturated polyester resin at various amounts of methyl ethyl ketone peroxide, cobalt octoate and porcelain powder," *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 11, no. 10, pp. 58–66, 2020.
- 3) Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-6835-2002: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: BSN, 2002.
- 4) ASTM International, ASTM D2471-99: Standard Test Method for Gel Time and Peak Exothermic Temperature of Reacting Thermosetting Resins. West Conshohocken, PA: ASTM International, 1999.
- 5) ASTM International, ASTM C881: Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2006.