

EVALUASI PENGARUH POLIMER TERHADAP KUAT TEKAN BETON DAN STABILISASI TANAH PADA APLIKASI PERKERASAN KAKU

Lirawati¹, Muhammad Syukur², Muhammad Agisna Faredzi³

Program Studi Teknik Sipil Universitas Pakuan^{1,2,3}

E-mail : lirawati.0424057903@unpak.ac.id¹, muhammadsyukur2001@gmail.com²,
agisnamuhammad4@gmail.com³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara eksperimental pengaruh penambahan polimer terhadap kinerja mekanik beton dan efektivitasnya dalam stabilisasi tanah untuk aplikasi perkerasan kaku. Metode yang digunakan adalah pendekatan laboratorium dengan membandingkan beton normal (BN) mutu rencana 20 MPa dan beton modifikasi polimer pada variasi 2,5%–20%, serta pengujian tanah yang distabilisasi polimer pada tiga jenis tanah berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton normal mampu mencapai kuat tekan rata-rata 20,911 MPa pada umur 28 hari, sementara penambahan polimer justru menyebabkan penurunan kuat tekan secara signifikan hingga 72,11% pada variasi 20%. Fenomena ini mengindikasikan bahwa dalam sistem semen, polimer cenderung mengganggu proses hidrasi dan pembentukan struktur mikro C-S-H, sehingga menurunkan kualitas ikatan pasta semen-agregat (Tang et al., 2020). Sebaliknya, pada material tanah, penambahan polimer menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan dibandingkan tanah alami, dengan nilai optimum pada tanah campuran polimer sebesar 41 kN, yang menunjukkan peningkatan kohesi melalui mekanisme *particle bonding* (Consoli et al., 2017). Selain itu, karakteristik agregat dengan nilai absorpsi tinggi (hingga 31,908%) teridentifikasi sebagai faktor kritis yang memengaruhi rasio air-semen efektif dan berpotensi menurunkan performa beton. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan polimer lebih prospektif untuk aplikasi geoteknik non-struktural seperti stabilisasi tanah dan lapisan subgrade, dibandingkan sebagai bahan tambah pada beton struktural, sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap jenis dan kadar polimer untuk mencapai sinergi yang efektif dalam sistem berbasis semen

Kata Kunci : *Polimer; Kuat Tekan Beton; Stabilisasi Tanah; Perkerasan kaku*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi di Indonesia mendorong percepatan pembangunan infrastruktur transportasi, khususnya jalan sebagai tulang punggung mobilitas dan distribusi logistik nasional. Kualitas infrastruktur jalan menjadi faktor kunci dalam mendukung efisiensi sistem transportasi serta pemerataan

pembangunan wilayah. Dalam praktik konstruksi modern, perkerasan kaku (*rigid pavement*) berbasis beton banyak digunakan karena kemampuannya dalam mendistribusikan beban lalu lintas secara efektif ke tanah dasar. Selain itu, beton memiliki keunggulan berupa kuat tekan tinggi, stabilitas terhadap perubahan suhu, serta ketahanan yang baik terhadap pengaruh lingkungan, sehingga umur layan perkerasan menjadi lebih panjang

dibandingkan perkerasan lentur (Huang, 2004). Namun demikian, kinerja beton sangat dipengaruhi oleh kualitas material penyusun dan desain campuran, terutama rasio air-semen yang berpengaruh langsung terhadap porositas dan durabilitas beton (Neville, 2011).

Permasalahan utama yang sering terjadi pada perkerasan jalan adalah penurunan kinerja akibat pengaruh air dan kelembaban. Infiltrasi air ke dalam struktur beton maupun tanah dasar dapat menyebabkan degradasi ikatan antar partikel, peningkatan porositas, serta penurunan kapasitas dukung struktur secara keseluruhan. Menurut Park et al. (2020) menyatakan bahwa kelembaban yang tinggi dapat mempercepat kerusakan perkerasan melalui mekanisme penurunan *bond strength* dan peningkatan deformasi permanen. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketahanan terhadap air menjadi aspek kritis dalam desain material perkerasan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi material yang tidak hanya meningkatkan kekuatan mekanik, tetapi juga mampu mengurangi permeabilitas dan meningkatkan durabilitas terhadap lingkungan agresif.

Salah satu pendekatan inovatif yang berkembang adalah penggunaan bahan tambah berbasis polimer dalam beton dan stabilisasi tanah. Polimer berperan dalam meningkatkan kohesi antar partikel, mengurangi rongga, serta meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air melalui mekanisme *particle bonding*. Dalam beton, aplikasi polimer dikenal sebagai *polymer-modified concrete* yang terbukti mampu meningkatkan kuat tekan, daktilitas, dan ketahanan terhadap abrasi (Latifi et al., 2016). Penelitian oleh Al-Jumali et al. (2022) menunjukkan bahwa penambahan polimer sebesar 10% terhadap berat semen dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 29 MPa pada umur 28 hari serta memperbaiki sifat daktilitasnya. Selain itu, pada stabilisasi tanah, polimer mampu meningkatkan kekakuan dan daya dukung tanah dasar

sehingga mendukung kinerja perkerasan kaku secara keseluruhan (Consoli et al., 2017). Oleh karena itu, integrasi penggunaan polimer pada beton dan tanah dasar menjadi strategi yang potensial dalam meningkatkan kualitas dan umur layan infrastruktur jalan di tengah tuntutan pembangunan yang cepat dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*), yang mengalami proses pengerasan melalui reaksi hidrasi. Reaksi ini menghasilkan produk hidrasi seperti calcium silicate hydrate (C-S-H) yang berperan dominan terhadap kekuatan beton. Kuat tekan beton ($f'c$) umumnya dijadikan parameter utama dalam evaluasi kinerja beton dan dicapai pada umur 28 hari sesuai standar desain struktural (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Secara umum, beton memiliki keunggulan berupa kuat tekan tinggi, durabilitas baik, serta fleksibilitas dalam pembentukan geometri struktur. Namun demikian, beton memiliki kelemahan inheren seperti kuat tarik rendah, sifat getas, dan kecenderungan retak akibat tegangan tarik maupun penyusutan (Neville, 2011). Oleh karena itu, optimalisasi komposisi campuran serta pemanfaatan material tambahan menjadi strategi penting dalam meningkatkan performa beton modern.

Kinerja beton sangat dipengaruhi oleh sifat beton segar dan beton keras, khususnya *workability* dan hubungan rasio air-semen (*w/c ratio*). *Workability* yang baik memungkinkan beton mudah dikerjakan tanpa mengalami segregasi dan *bleeding*, sehingga menghasilkan struktur yang homogen. Faktor-faktor yang mempengaruhi *workability* meliputi kadar air, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, serta bentuk dan tekstur permukaan agregat (Nugraha, 2004).

Selain itu, rasio air-semen memiliki hubungan terbalik terhadap kuat tekan beton, dimana peningkatan nilai w/c akan meningkatkan porositas dan menurunkan kekuatan beton (Mehta & Monteiro, 2014). Fenomena lain seperti *shrinkage* dan *cracking* juga perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi durabilitas jangka panjang. Menurut Nawy (2010), proses *curing* yang tidak optimal akan menghambat hidrasi semen sehingga menurunkan kekuatan dan meningkatkan permeabilitas beton. Oleh sebab itu, pengendalian parameter campuran dan metode perawatan menjadi kunci dalam menghasilkan beton berkinerja tinggi.

Dalam konteks rekayasa perkerasan jalan, tanah sebagai material dasar memiliki peran penting dalam mendukung beban struktur di atasnya. Tanah merupakan sistem tiga fase yang terdiri dari partikel padat, air, dan udara, sehingga sifat mekaniknya sangat dipengaruhi oleh kadar air, kepadatan, dan struktur butiran (Das, 2010). Klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS (ASTM D2487) bertujuan untuk menentukan karakteristik teknik serta kelayakannya sebagai tanah dasar. Untuk meningkatkan kualitas tanah, salah satu metode yang berkembang adalah stabilisasi menggunakan bahan polimer. Polimer mampu meningkatkan kohesi antar partikel tanah, mengurangi permeabilitas, serta meningkatkan kekuatan tekan melalui mekanisme pengikatan partikel (*particle bonding*) (Latifi et al., 2016; Consoli et al., 2017). Dalam aplikasi pada beton, material polimer juga dikenal sebagai *polymer modified concrete* yang terbukti mampu meningkatkan ketahanan terhadap abrasi, penetrasi air, serta memperbaiki sifat mekanik material (Ohama, 1995). Oleh karena itu, penggunaan polimer menjadi pendekatan inovatif dalam meningkatkan performa material konstruksi, baik pada beton maupun tanah, khususnya dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental laboratorium untuk mengevaluasi secara kuantitatif pengaruh penambahan cairan polimer terhadap kuat tekan beton dan stabilisasi tanah. Beton dengan mutu rencana $f_c' 20$ MPa digunakan sebagai kontrol, kemudian dibandingkan dengan variasi beton dan tanah yang dimodifikasi polimer pada beberapa persentase terhadap berat semen. Variabel bebas meliputi jenis tanah (tanah merah, tanah pasir, dan tanah campuran) serta kadar polimer, sedangkan variabel terikat berupa kuat tekan material. Seluruh pengujian dilaksanakan dalam kondisi terkontrol di laboratorium guna menjamin konsistensi dan reproduibilitas hasil. Pendekatan ini dinilai relevan karena mampu mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara komposisi material dan respons mekanik secara langsung, sebagaimana direkomendasikan dalam studi beton dan material komposit modern.

Material yang digunakan meliputi semen Portland tipe I, agregat halus, agregat kasar, air, serta polimer sintesis, dengan tiga variasi tanah sebagai media stabilisasi. Seluruh material terlebih dahulu diuji karakteristik fisiknya (kadar lumpur, berat jenis, kadar air, dan gradasi) mengacu pada standar ASTM sebagai dasar perencanaan campuran (*mix design*). Perancangan campuran beton mengikuti Badan Standardisasi Nasional melalui SNI 7656:2012, sedangkan pembuatan dan pemadatan benda uji mengacu pada SNI 2493:2011. Beton dirawat (*curing*) selama 28 hari, sementara tanah-polimer dikeringkan selama 24 jam sebelum pengujian. Evaluasi dilakukan melalui uji slump untuk beton segar dan uji kuat tekan berdasarkan SNI 1974:2011. Data dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi pengaruh variasi polimer terhadap perubahan sifat mekanik

dan pola keruntuhan. Pendekatan ini sejalan dengan temuan terkini yang menekankan pentingnya optimasi kadar polimer untuk menghindari degradasi sifat mekanik akibat ketidakseimbangan interaksi material (Saikia & de Brito, 2014).

HASIL PENELITIAN

Karakteristik material menunjukkan bahwa agregat halus dan agregat kasar secara umum memenuhi persyaratan dasar sebagai bahan penyusun beton, khususnya ditinjau dari aspek kebersihan dan distribusi gradasi. Nilai kadar lumpur agregat halus sebesar 0,214% berada jauh di bawah ambang batas standar, sehingga tidak berpotensi mengganggu proses hidrasi maupun ikatan pasta semen-agregat. Nilai modulus kehalusan agregat halus sebesar 2,42 mengindikasikan kategori pasir sedang yang mampu menghasilkan kepadatan kemasan (*packing density*) yang relatif optimal. Namun demikian, temuan krusial dalam penelitian ini adalah tingginya nilai absorpsi agregat, yaitu 31,908% untuk agregat halus dan 20,241% untuk agregat kasar. Nilai ini secara teknis tergolong sangat tinggi dan menyimpang dari rentang umum agregat normal, sehingga mengindikasikan adanya porositas internal yang signifikan. Kondisi ini berimplikasi langsung pada meningkatnya kebutuhan air efektif serta potensi ketidakstabilan rasio air-semen (*w/c ratio*), yang pada akhirnya dapat menurunkan kinerja mekanik beton apabila tidak dilakukan koreksi yang memadai dalam *mix design*. Temuan ini konsisten dengan laporan *American Concrete Institute* yang menegaskan bahwa variasi kadar air akibat absorpsi tinggi merupakan salah satu sumber utama deviasi kekuatan beton (ACI 211.1R-91; Neville, 2011).

Dari aspek perencanaan campuran, pendekatan metode SNI 7657:2012 menghasilkan komposisi beton dengan

kebutuhan semen sebesar 326,46 kg/m³ dan rasio air-semen sebesar 0,582 untuk mencapai kuat tekan rencana 27 MPa. Nilai ini secara teoritis masih berada dalam rentang beton mutu menengah, namun harus dicermati bahwa kondisi agregat dengan absorpsi tinggi berpotensi menyebabkan nilai *w/c* efektif menjadi lebih rendah dari yang direncanakan akibat penyerapan air oleh agregat. Hal ini dapat berdampak pada penurunan *workability* sekaligus ketidakhomogenan campuran. Di sisi lain, nilai berat volume beton segar sebesar ±2345 kg/m³ menunjukkan bahwa campuran masih berada dalam kategori beton normal. Fenomena ini sejalan dengan hasil penelitian yang dipublikasikan oleh Elsevier dalam jurnal *Construction and Building Materials*, yang menyatakan bahwa karakteristik fisik agregat, khususnya porositas dan absorpsi, memiliki pengaruh dominan terhadap performa reologi dan densitas beton segar maupun keras (Tang et al., 2020).

Dari sisi kinerja mekanik, hasil pengujian menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara beton normal dan tanah polimer. Beton normal mencapai beban rata-rata sebesar 369,3 kN pada umur 28 hari, yang mengindikasikan kapasitas struktural yang tinggi dan sesuai dengan mutu rencana. Sebaliknya, tanah polimer menunjukkan peningkatan kekuatan dibandingkan tanah alami, namun tetap berada pada level yang jauh lebih rendah, dengan nilai tertinggi pada variasi tanah campuran polimer (TCP) sebesar 41 kN. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa polimer berperan dalam meningkatkan kohesi antar partikel melalui pembentukan matriks pengikat yang memperkuat struktur mikro tanah. Namun demikian, jika dibandingkan dengan beton berbasis semen, mekanisme ini belum mampu menghasilkan kekuatan yang setara. Hal ini menyatakan bahwa stabilisasi polimer lebih efektif pada material granular dibandingkan matriks semen (Tang et al., 2020). Oleh karena itu,

implikasi praktis dari penelitian ini menunjukkan bahwa tanah polimer lebih sesuai untuk aplikasi non-struktural seperti lapisan perkerasan ringan atau subgrade, sementara beton normal tetap menjadi pilihan utama untuk elemen struktural.

Dari sisi kinerja mekanik, hasil pengujian menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara beton normal dan tanah polimer. Beton normal mencapai beban rata-rata sebesar 369,3 kN pada umur 28 hari, yang mengindikasikan kapasitas struktural yang tinggi dan sesuai dengan mutu rencana. Sebaliknya, tanah polimer menunjukkan peningkatan kekuatan dibandingkan tanah alami, namun tetap berada pada level yang jauh lebih rendah, dengan nilai tertinggi pada variasi tanah campuran polimer (TCP) sebesar 41 kN. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa polimer berperan dalam meningkatkan kohesi antar partikel melalui pembentukan matriks pengikat yang memperkuat struktur mikro tanah. Namun demikian, jika dibandingkan dengan beton berbasis semen, mekanisme ini belum mampu menghasilkan kekuatan yang setara. Oleh karena itu, implikasi praktis dari penelitian ini menunjukkan bahwa tanah polimer lebih sesuai untuk aplikasi non-struktural seperti lapisan perkerasan ringan atau subgrade, sementara beton normal tetap menjadi pilihan utama untuk elemen struktural.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari, diperoleh bahwa beton normal (BN) mampu mencapai kuat tekan rata-rata sebesar 20,911 MPa, sehingga memenuhi mutu rencana yang ditetapkan. Sebaliknya, penambahan polimer dalam campuran beton menunjukkan penurunan kuat tekan yang konsisten dan signifikan seiring dengan peningkatan kadar polimer. Nilai kuat tekan tertinggi pada beton campuran polimer diperoleh pada variasi 2,5%

sebesar 15,872 MPa (penurunan $\pm 24,10\%$), sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi 20% sebesar 5,832 MPa (penurunan $\pm 72,11\%$). Pola degradasi ini mengindikasikan bahwa pada kondisi penelitian ini, polimer tidak berfungsi sebagai penguat matriks beton, melainkan cenderung mengganggu proses hidrasi semen serta menurunkan kualitas ikatan antara pasta semen dan agregat. Secara mikrostruktural, fenomena ini dapat dijelaskan melalui pembentukan polimer yang menghambat pertumbuhan kristal hidrasi seperti C-S-H gel, sebagaimana dilaporkan dalam studi *Construction and Building Materials* oleh Elsevier (Tang et al., 2020). Temuan ini juga sejalan dengan konsep yang dikemukakan oleh American Concrete Institute bahwa perubahan komposisi kimia dan rasio air-semen efektif akibat bahan tambahan non-semen dapat berdampak negatif terhadap kekuatan tekan beton (ACI 211.1R-91).

Di sisi lain, hasil pengujian pada material tanah yang distabilisasi dengan polimer menunjukkan adanya peningkatan kekuatan dibandingkan tanah alami, meskipun nilainya masih jauh di bawah beton normal. Nilai kuat tekan rata-rata Tanah Merah Polimer (TMP), Tanah Pasir Polimer (TPP), dan Tanah Campuran Polimer (TCP) masing-masing sebesar 17,75 kN, 27,5 kN, dan 41 kN pada umur 48 jam, dengan TCP sebagai variasi paling optimal. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme kerja polimer lebih efektif dalam meningkatkan kohesi dan stabilitas pada sistem granular dibandingkan pada matriks semen. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan polimer lebih prospektif untuk aplikasi geoteknik seperti stabilisasi tanah dan lapisan subgrade, dibandingkan sebagai bahan tambah pada beton struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Concrete (ACI 211.1R-91)*.
- Al-Jumali, A. A., et al. (2022). Mechanical properties of polymer-modified concrete. *Construction and Building Materials*.
- ASTM D2487. *Standard Practice for Classification of Soils (USCS)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Consoli, N. C., Festugato, L., & Heineck, K. S. (2017). *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(4).
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering (7th ed.)*.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design (2nd ed.)*.
- Kurniawan, Septyanto, And Andika SRS Putra. "Recycle Concrete Agregate Terhadap Kuat Tekan Beton Berbasis Analytical Hierarchy Process." *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil 12.2 (2023): 201-215*.
- Latifi, N., Horpibulsuk, S., Meehan, C. L., & Abd Majid, M. Z. (2016). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(2).
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.)*. McGraw-Hill.
- Nawy, E. G. (2010). *Concrete Construction Engineering Handbook*.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete (5th ed.)*.
- Nugraha, P. (2004). *Teknologi Beton*. Andi Offset.
- Ohama, Y. (1995). *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*.
- Park, S., et al. (2020). *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- Saikia, N., & de Brito, J. (2014). *Use of polymer in concrete*. *Construction and Building Materials*.
- SNI 1974:2011. *Uji kuat tekan beton*.
- SNI 2493:2011. *Pembuatan benda uji beton*.
- SNI 7656:2012. *Mix design beton normal*.
- Tang, C. S., et al. (2020). *Polymer stabilization of soils*. *Construction and Building Materials (Elsevier, Scopus indexed)*.