

Pemanfaatan Limbah Plastik *Polyurethane* Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton Perkerasan Kaku

The Utilization of Polyurethane Plastic Waste on the Physical and Mechanical Properties of Rigid Pavement Concrete

Hengki Harianto¹, Anas Puri^{2*}, Elizar², Mohd. Syahminan²

¹ Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru, Indonesia

² Dosen Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru, Indonesia

* Penulis korespondensi : anaspuri@eng.uir.ac.id

Tel.: +62-85-32-958-2788

Diterima: Jul 10, 2025; Direvisi: Okt 25, 2025; Disetujui: Okt 31, 2025

DOI: 10.25299/saintis.2025.vol25(02).18820

Abstrak

Penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah plastik *polyurethane* sebagai bahan tambah pada campuran beton. Hal ini dalam upaya menambah khazanah alternatif pemanfaatan limbah plastik dalam rangka mengurangi limbah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *polyurethane* terhadap sifat fisik dan mekanik beton mutu rencana f'_c 36 MPa. Penelitian dilakukan melalui eksperimen di laboratorium. Sampel beton dibuat dengan variasi penambahan *polyurethane* 0%, 0,5% dan 1% terhadap berat campuran beton normal. Selanjutnya campuran tersebut diuji workabilitas dan dibuat benda uji silinder dan balok beton. Benda uji dilakukan uji kuat tekan dan kuat tarik lentur pada umur 7, 14, 28 dan 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *polyurethane* tidak memberikan pengaruh terhadap workabilitas beton. Berat isi beton rerata pada umur 28 hari berkisar antara 24,27 kN/m³ sampai 24,45 kN/m³ dan berat isi beton berdasarkan benda uji balok sedikit lebih besar dibanding dari benda uji silinder. Penambahan *polyurethane* menurunkan kuat tekan beton secara tidak signifikan dan masih 113% di atas kuat tekan rencana. Adapun kuat tarik lentur beton, penambahan *polyurethane* meningkatkan kuat tarik lentur beton cukup signifikan mencapai 26% pada penambahan 1% *polyurethane* dan 28% pada penambahan 0,5% *polyurethane*. Persentase optimum *polyurethane* terhadap campuran beton dalam penelitian ini adalah 0,5%.

Kata Kunci: beton, kuat tekan, kuat tarik lentur, perkerasan kaku, *polyurethane*

Abstract

This study tries to utilize polyurethane plastic waste as an additive in concrete mixtures. This is in an effort to add to the treasure of alternative use of plastic waste to reduce waste. The aims of this study is to determine the effect of the addition of polyurethane on the physical and mechanical properties of concrete for the design quality of the f'_c 36 MPa. The research was conducted through experiments in the laboratory. Concrete samples were made with variations in the addition of 0%, 0.5% and 1% polyurethane to the weight of normal concrete mixture. The mixture was tested for workability and made a test piece for concrete cylinders and concrete blocks. The test pieces were tested for compressive strength and flexural strength at the age of 7, 14, 28 and 56 days. The results showed that the addition of polyurethane did not affect the workability of concrete. The average weight of concrete content at 28 days of age ranges from 24.45 kN/m³ to 24.27 kN/m³ and the weight of concrete content based on the block test piece is slightly larger than that of the cylinder test piece. The addition of polyurethane decreases the compressive strength of concrete insignificantly and is still 113% above the planned compressive strength. As for the flexural strength of concrete, the addition of polyurethane significantly increases the flexural strength of concrete reaching 26% at the addition of 1% polyurethane and 28% at the addition of 0.5% polyurethane. The optimum percentage of polyurethane to concrete mixture in this study was 0.5%.

Keywords: concrete, compressive strength, flexural strength, *polyurethane*

PENDAHULUAN

Permasalahan klasik pada konstruksi perkerasan kaku adalah retak dini akibat beban lalu lintas berat dan perubahan suhu yang ekstrem. Beton konvensional cenderung memiliki kekakuan tinggi namun ketahanan tarik yang rendah. Untuk itu, pengembangan inovasi material aditif seperti limbah plastik *polyurethane* (PU) dalam bentuk lempengan kubus berukuran 10 mm × 10 mm × 2 mm menjadi alternatif menarik untuk meningkatkan

ketahanan lentur beton. Bentuk ini dipilih untuk memastikan stabilitas bentuk dan distribusi merata.

Dalam penelitian ini, PU padat tidak berperan sebagai material reaktif terhadap semen, namun sebagai pengisi mekanis yang memberikan efek peningkatan daktilitas tanpa mengganggu proses hidrasi. Studi Hossain et al. [1] dan Coppola et al. [2] mengindikasikan bahwa PU dapat memberikan kontribusi positif terhadap perilaku mekanik beton. Zhang dan Sun [3] bahkan menunjukkan bahwa kombinasi PU dengan kawat prategang memperkuat

balok beton secara signifikan dalam uji lentur. Tidak hanya menggunakan beton, untuk meningkatkan kenyamanan pengguna jalan di atas permukaan perkerasan kaku dilapisi aspal. Keunggulan dari perkerasan kaku dibanding perkerasan lentur (*asphalt*) adalah bagaimana distribusi beban disalurkan ke lapis *subgrade*. Perkerasan beton kaku memiliki modulus elastisitas tinggi, dan akan membuat pendistribusian beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas diperoleh dari slab beton. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari lapisan-lapisan tebal pondasi bawah, pondasi, dan lapisan permukaan [4][5].

Dalam pembangunan konstruksi jalan beton semen memerlukan bahan-bahan seperti semen, pasir, dan kerikil yang diaduk menjadi beton dan saat ini sudah banyak para ilmuwan yang meneliti material-material alternatif yang dapat mengurangi penggunaan material-material pokok. Seperti limbah plastik, tekstil, cangkang kelapa, kulit pohon dan lain sebagainya yang memberikan kesan *green road* (jalan ramah lingkungan), namun ada juga penelitian material pada bahan buatan / kimia seperti *block foam* yang digunakan untuk pengganti bebatuan gunung sebagai timbunan dasar (*sub base*), *epoxy concrete* sebagai lantai, aspal buatan dan bahan-bahan buatan lainnya yang tidak bersumber dari alam. Material lainnya yang dapat digunakan adalah *polyurethane* (PU). PU merupakan polimer campuran antara plastik dan karet yang memiliki sifat mirip dengan karet, namun dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Dengan karakteristik PU yang memiliki tingkat kekerasan yang tinggi, diharapkan dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap campuran beton, sehingga penggunaan material batu alam dan pasir dapat dikurangi [6].

Polyurethane yang berasal dari pencampuran dua bahan kimia yaitu *polyol* dengan *isocyanate*, dimana *polyol* terbuat dari minyak bumi atau minyak nabati dan *isocyanate* merupakan elektorfil atau regen yang tertarik pada elektron. Salah satu senyawa pembentuk PU yang terbuat dari minyak bumi maupun minyak nabati menjadikan PU dapat tersedia sebagai bahan aditif yang akan digunakan pada beton maupun untuk keperluan lainnya.

Martinelli, dkk. [7] menambahkan PU pada beton semen. Coppola, Magliulo dan Di Maio [8] meneliti tentang *polyurethane-cement hybrid foam* pada kondisi tekanan, tarikan dan geser. Hosain, Liu dan Wong [9] dan Haleem, Liu dan Yu [10] meneliti sifat mekanik komposit semen *polyurethane* (*polyurethane cement composit*, PUC). Zhang dan

Sun [3] pemanfaatan PUC dan *wire mesh* sebagai perkuatan balok. Gao dan Sun [11] meneliti PUC terhadap fatiq dan prediksi umurnya terhadap suhu tinggi maupun rendah. Selain sebagai bahan beton dan perkuatan struktur, PU juga dimanfaatkan sebagai *coating* yang mempunyai performa tinggi [12]. PUC-semen juga dimanfaatkan untuk *cementing* sumur pemboran [13].

Penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh meningkatnya limbah industri seperti gasket berbasis PU yang belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya mengurangi beban lingkungan, tetapi juga membuka peluang baru dalam teknik rekayasa bahan konstruksi. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya bernilai ilmiah, tetapi juga membawa misi ekologis dan ekonomis.

Penelitian ini dikembangkan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penambahan bahan campuran pada beton dan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik pada benda uji. Kesamaan dengan penelitian sebelumnya yaitu menggunakan bahan PU dan pengujian perkuatan spesimen [14][15][16][17][18][19]. Adapun perbedaannya adalah penelitian ini menggunakan material penyusun beton yang biasa digunakan di Pekanbaru dan limbah PU di Kota Pekanbaru, Provinsi Riau.

Penelitian ini hanya melakukan analisa dengan menambahkan bahan limbah PU solid yang didapat dari sisa-sisa penggunaan gasket pada pekerjaan pemipaan (*waste construction*). Penelitian yang dilakukan berupa eksperimen di laboratorium. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh penambahan PU terhadap sifat fisik dan sifat mekanik beton serta mengetahui persentase optimal PU. Sifat fisik yang dikaji adalah *workabilitas* dan berat isi beton kering. Adapun sifat mekanik yang dikaji adalah kuat tekan dan kuat tarik lentur beton.

METODOLOGI

Polyurethane (PU) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah konstruksi dan dibentuk dalam ukuran lempengan kubus 10 mm × 10 mm × 2 mm. Bentuk ini berbeda dari bentuk serbuk atau granul halus yang biasa digunakan dalam modifikasi mortar, dan dirancang untuk menahan gaya tarik mikro yang bekerja pada beton. Distribusi PU dalam beton diatur sedemikian rupa untuk menghindari konsentrasi lokal yang dapat menyebabkan kelemahan struktural.

Rasio air semen dipertahankan pada 0,42 untuk semua variasi campuran. Pemilihan kadar 0,5% dan 1% PU dilakukan berdasarkan studi awal yang mempertimbangkan keseimbangan antara sifat homogenitas campuran dan kontribusi mekanis PU. Pemilihan mutu beton 36 MPa sebagai rencana desain mengacu pada kebutuhan teknis minimum untuk jalan kelas menengah hingga berat seperti jalan provinsi dan jalan akses industri.

Seluruh pengujian dilakukan berdasarkan prosedur SNI terkait, serta mempertimbangkan standar validasi kuat tekan dan kuat lentur untuk beton struktural kelas jalan. Seluruh prosedur perawatan benda uji dilakukan dengan metode *curing* rendam penuh, yaitu perendaman benda uji dalam bak air bersuhu ruang hingga umur pengujian tercapai. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan hidrasi sempurna dari pasta semen, sehingga hasil yang diperoleh benar-benar merefleksikan pengaruh PU dan bukan akibat variasi kelembaban lingkungan.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah agregat batu pecah berasal dari Pangkalan Koto Baru, Sumatera Barat, pasir sungai dari *quary* Danau Binkuang Kampar, Provinsi Riau, semen OPC merek Semen Padang, air sumur bor dan PU. PU yang digunakan berbentuk lempengan kubus dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 2 mm dengan prosentase penambahan PU adalah 0%, 0,5% dan 1% terhadap berat campuran rencana beton normal. Gambar 1 memperlihatkan bentuk PU yang digunakan.



Gambar 1. Bentuk *polyurethane* (PU) yang digunakan berukuran 10 mm x 10 mm x 2 mm.

Alat

Peralatan uji yang digunakan adalah alat uji properties bahan, mistar, timbangan, alat uji slump,

cetakan silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, cetakan balok beton 150 mm x 150 mm x 600 mm, alat uji tekan, alat uji kuat tarik lentur, alat pengaduk beton, dan kamera.

Cara Penelitian

Penelitian dimulai dengan persiapan bahan dan alat. Selanjutnya dilakukan uji properties bahan dan rencana campuran beton (*mixed design*) untuk mutu rencana $f'_c = 36$ MPa. Rencana campuran dibuatkan campuran beton normal (tanpa tambahan PU), kemudian dilakukan uji workabilitas menggunakan uji slump. Tiap variasi PU dilakukan 3 (tiga) kali pengujian slump. Setelah campuran beton memenuhi workabilitas, kemudian dibuat benda uji silinder dan balok masing-masing sebanyak 3 (tiga) buah untuk tiap variasi PU dan variasi umur pengujian. Terdapat 36 buah benda uji silinder dan 36 buah benda uji kuat tarik lentur. Benda uji diuji kuat tekan dan kuat tarik lentur pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari setelah dilakukan perawatan dengan cara direndam di dalam air. Adapun untuk beton dengan tambahan PU, dilakukan dengan prosedur yang sama. Secara umum, pengujian-pengujian mengacu ke SNI [20][21][22][23]. Gambar 2 memperlihatkan foto pelaksanaan uji kuat tarik lentur menggunakan benda uji berbentuk balok. Selanjutnya hasil pengujian tersebut dianalisa untuk mengetahui pengaruh penambahan PU terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur beton dan mengetahui persentase optimal PU yang berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan dan kuat tarik lentur beton.



Gambar 2. Foto pelaksanaan uji kuat tarik lentur menggunakan benda uji berbentuk balok.

Tabel 1. *Mixed design* beton

No.	Uraian	Satuan	Nilai
1.	Faktor Air Semen	-	0,42
2.	Air	Kg	216,00
3.	Semen	Kg	514,29
4.	Agregat Kasar	Kg	1.104,20
5.	Agregat Halus	Kg	510,51
6.	<i>Polyurethane</i> (0,5%)	Kg	11,73
7.	<i>Polyurethane</i> (1%)	Kg	23,45

Mixed Design

Mixed design beton adalah pemilihan bahan campuran beton dengan mempertimbangkan kuantitas atau perbandingan dari setiap materialnya agar beton mencapai kualitas disyaratkan. *Mixed design* mengacu pada SNI 7656-2012. Faktor air semen (fas) yang digunakan sebesar 0,42 dengan mutu beton rencana $f'_c = 36$ MPa. Untuk 1 m³ beton diperoleh komposisi bahan-bahan beton berupa semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan PU sebagaimana Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan yang disajikan pada bagian ini meliputi pengaruh *polyurethane* terhadap workabilitas beton, berat isi, kuat tekan dan kuat tarik lentur beton. Adapun kuat tekan dan kuat tarik lentur beton juga ditinjau terhadap umur beton, serta rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekannya.

Pengaruh *Polyurethane* Terhadap Workabilitas Beton

Workabilitas beton ditunjukkan dengan nilai slump sebagaimana Tabel 2. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan *polyurethane* dalam bentuk lempengan kubus tidak mempengaruhi workabilitas beton. Sifat beton yang mengandung *polyurethane*

masih sama dengan beton normal. Hal ini karena PU tidak bereaksi terhadap air dan tidak menyerap kelembaban dari pasta semen. Perilaku ini konsisten dengan studi oleh Hossain et al. [1] yang melaporkan bahwa PU cenderung lembam dalam campuran basah.

Tabel 2. Nilai slump beton

No.	Kadar <i>polyurethane</i> (PU) (%)	Nilai rerata slump (mm)
1	0	160
2	0,5	159
3	1	161

Pengaruh *Polyurethane* Terhadap Berat Isi Beton

Berat isi rerata yang diperoleh dari benda uji silinder beton untuk berbagai umur dan kadar *polyurethane* diberikan pada Tabel 3. Berat isi rerata pada umur 28 hari berkisar antara 24,45 kN/m³ sampai 24,27 kN/m³. Berat isi rerata yang diperoleh dari benda uji balok beton untuk berbagai umur dan kadar *polyurethane* diberikan pada Tabel 4. Berat isi rerata pada umur 28 hari berkisar antara 25,48 kN/m³ sampai 25,78 kN/m³. Berat isi beton berdasarkan benda uji balok sedikit lebih besar dibanding dari benda uji silinder. Penambahan *polyurethane* cenderung tidak berpengaruh terhadap berat isi beton. Berat isi *polyurethane* padat berkisar 11 kN/m³ sampai dengan 12 kN/m³.

Pengaruh *Polyurethane* Terhadap Kuat Tekan Beton

Dalam sub bab ini diuraikan hasil pengujian kuat tekan beton (f'_c) pada benda uji silinder guna mengetahui pengaruh penambahan *polyurethane* terhadap kuat tekan beton mutu f'_c 36 MPa. Hasil uji kuat tekan beton normal (tanpa penambahan *polyurethane*) dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3. Hasil uji kuat tekan beton dengan penambahan *polyurethane* dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 4.

Tabel 3. Berat isi beton benda uji silinder

Umur beton (hari)	Berat isi beton rerata (kN/m ³) untuk variasi kadar <i>polyurethane</i> (%)		
	0	0,5	1
7	24,52	24,65	24,65
14	23,96	24,21	23,96
28	23,45	24,27	23,83
56	24,27	24,15	24,33

Tabel 4. Berat isi beton benda uji balok

Umur beton (hari)	Berat isi beton rerata (kN/m ³) untuk variasi kadar <i>polyurethane</i> (%)		
	0	0,5	1
7	25,56	25,63	24,37
14	26,00	26,15	25,06
28	25,53	25,78	25,48
56	25,33	25,98	24,57

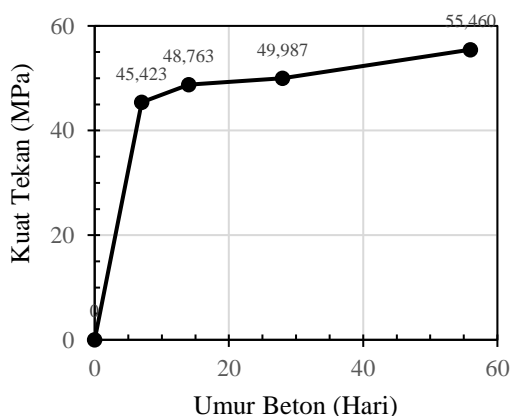
Tabel 5. Hasil uji kuat tekan beton normal

No.	Jenis Campuran	Nilai Kuat tarik lentur beton rerata (MPa)			
		Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari	Umur 56 hari
1	Beton Normal (+0%)	45,423	48,763	49,987	55,460

Tabel 6. Hasil uji kuat tekan beton untuk berbagai variasi kadar *polyurethane*

No.	Kadar <i>Polyurethane</i> (%)	Nilai Kuat tarik lentur beton rerata (MPa)			
		Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari	Umur 56 hari
1	0	45,42	48,76	49,99	55,46
2	0,5	39,99	41,31	48,76	50,93
3	1	38,86	39,80	48,10	49,04

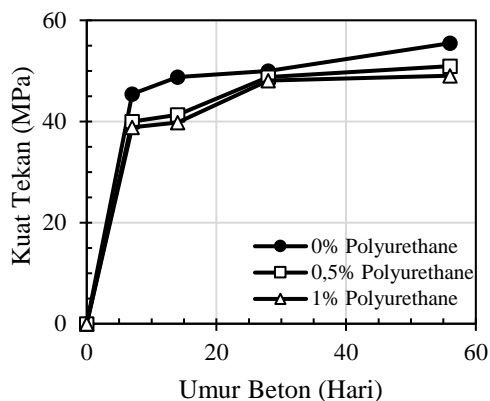
Dari Tabel 5 dapat diketahui pada umur beton 7 hari, kuat tekan beton sudah mencapai 45,423 MPa dan melampaui kuat tekan rencana 36 MPa. Peningkatan kuat tekan terjadi pada setiap pertambahan umur beton. Umur 28 hari, kuat tekan beton sudah melebihi kuat tekan rencana dengan kenaikan kuat tekan beton sebesar 38,85%. Kuat tekan mencapai 55,46 MPa pada umur beton 56 hari. Gambar 3 memperlihatkan hubungan kuat tekan beton normal terhadap umur beton. Secara sederhana, tampak bahwa kuat tekan beton mempunyai perilaku sebagai beton dengan kuat tekan awal tinggi.



Gambar 3. Hubungan kuat tekan rerata dan umur beton normal

Tabel 6 menyajikan rekapitulasi hasil uji kuat tekan beton untuk berbagai variasi kadar *polyurethane*. Penambahan *polyurethane* mempengaruhi kuat tekan rerata beton pada berbagai umur. Penambahan *polyurethane* tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan kuat tekan beton pada umur 28 hari (sebagaimana terlihat pada Tabel 6) dibandingkan beton normal. Namun penurunan kuat tekan tersebut cenderung relatif meningkat pada umur 56 hari.

Gambar 4 memperlihatkan hubungan kuat tekan dengan umur beton. Penambahan tiap kadar *polyurethane* memperlihatkan peningkatan kuat tekan seiring dengan peningkatan umur beton. Beton dengan penambahan *polyurethane* masih termasuk kuat tekan awal tinggi. Namun kenaikan kuat tekan menuju umur 14 hari cenderung rendah dan naik kembali setelah melewati umur hari. Secara umum bahwa penambahan *polyurethane* tidak memberikan pengaruh signifikan pada kuat tekan beton. Kuat tekan beton pada umur 28 hari masih melebihi kuat tekan rencana beton.

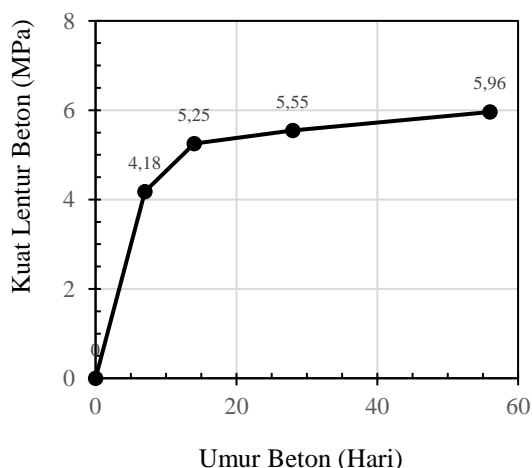


Gambar 4. Hubungan kuat tekan rerata dan umur beton untuk berbagai variasi *polyurethane*

Terdapat sedikit penurunan nilai kuat tekan pada penambahan 1% PU. Diduga, bentuk fisik PU yang padat dan relatif besar menghambat aliran pasta semen di sekitar PU, menyebabkan terbentuknya zona transisi yang lemah. Coppola et al. [2] juga mencatat bahwa bentuk dan ukuran PU memiliki pengaruh langsung terhadap kekompakan dan daya ikat dalam campuran beton.

Pengaruh *Polyurethane* Terhadap Kuat Tarik Lentur Beton

Hasil pengujian kuat tarik lentur beton (f_s) beton normal mutu rencana $f_s = 4,5$ MPa diberikan pada Gambar 5. Beton normal memiliki hasil uji kuat tarik lentur beton yang semakin meningkat pada tiap pertambahan umur. Kuat tarik lentur beton sudah mencapai 4,18 MPa (92,89%) pada umur 7 hari dan sangat mendekati kuat tarik lentur rencana 4,5 MPa.

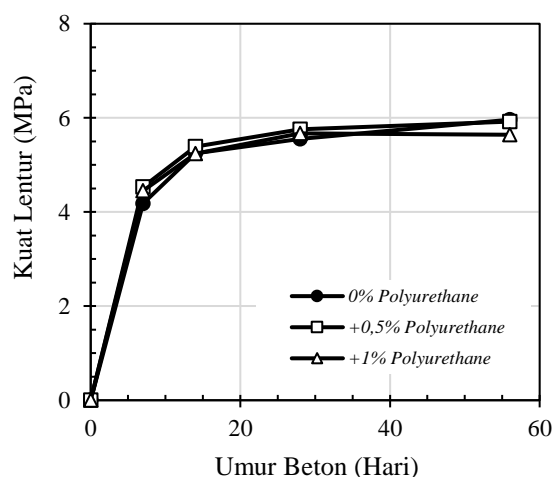


Gambar 5. Hubungan kuat tarik lentur rerata dan umur beton normal

Peningkatan kuat tarik lentur terjadi pada setiap pertambahan umur beton. Umur 28 hari, kuat tarik lentur beton normal sudah melebihi kuat tarik lentur rencana dengan kenaikan sebesar 23,33%. Secara umum, kuat tarik lentur beton normal cenderung mencapai kuat tarik lentur awal tinggi yang mengikuti perilaku kuat tekannya.

Hasil uji pengaruh penambahan *polyurethane* pada kuat tarik lentur beton diberikan pada Tabel 7 dan Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa beton dengan penambahan 0,5% *polyurethane* mengalami peningkatan kuat tarik lentur beton tiap penambahan umur beton. Bahkan kuat tarik lentur rata – rata pada setiap umur beton sedikit lebih tinggi dibandingkan beton normal.

Kuat tarik lentur beton dengan penambahan *polyurethane* pada umur 28 hari sebesar 5,76 MPa melebihi kuat tarik lentur rencana 4,5 MPa, terjadi peningkatan sebesar 28%. Beton dengan penambahan *polyurethane* 1% mengalami peningkatan hasil uji kuat tarik lentur tiap penambahan umur beton. Terjadi kenaikan kuat tarik lentur 26% pada umur 28 hari. Secara umum kuat tarik lentur cenderung meningkat dengan penambahan *polyurethane*. Persentase optimum penambahan *polyurethane* yang berpengaruh pada kuat tarik lentur beton adalah sebesar 0,5%. Namun penambahan 0,5% *polyurethane* ini cenderung sedikit menurunkan kuat tekan beton (akan tetapi masih di atas 113% kuat tekan rencana).



Gambar 6. Hubungan kuat tarik lentur rerata dan umur beton untuk berbagai variasi *polyurethane*

Tabel 7 Hasil uji kuat tarik lentur beton untuk berbagai variasi kadar *polyurethane*

No.	Kadar <i>Polyurethane</i> (%)	Nilai Kuat tarik lentur beton rerata (MPa)			
		Umur 7 hari	Umur 14 hari	Umur 28 hari	Umur 56 hari
1	0	4,18	5,25	5,55	5,96
2	0,5	4,53	5,39	5,76	5,92
3	1	4,45	5,24	5,67	5,64

Tabel 8 Rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari

No.	Kadar <i>Polyurethane</i> (%)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tarik lentur (MPa)	Rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekan (%)
1	0	49,99	5,55	11,10
2	0,5	48,76	5,76	11,81
3	1	48,10	5,67	11,79

Pada pengujian kuat tarik lentur, peningkatan signifikan terjadi terutama pada penambahan PU sebesar 0,5%. Nilai kuat tarik lentur meningkat hingga 28% dari beton normal, menunjukkan bahwa PU memberikan efek tahan lentur yang nyata. Zhang dan Sun [3] mendukung fenomena ini, di mana PU dalam struktur beton mampu meredam gaya tarik mikro dan memperpanjang waktu retak awal. Artinya retak awal lebih lambat terjadi dibanding beton normal. Salah satu temuan penting adalah bahwa meskipun *polyurethane* tidak meningkatkan kuat tekan secara signifikan, ia berkontribusi besar dalam peningkatan kuat tarik lentur, yang merupakan aspek penting untuk menahan gaya tarik transversal pada pelat perkerasan kaku.

Rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekan beton diberikan pada Tabel 8. Penambahan *polyurethane* cenderung berpengaruh pada rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekan beton. Rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekan tetap stabil pada kisaran 11,10–11,81%, menunjukkan tidak adanya gangguan struktural besar dalam matriks beton akibat penambahan PU. Distribusi PU yang baik dan bentuk fisik yang terkontrol menjadi kunci dalam pencapaian kestabilan ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang ada, penelitian ini menunjukkan bahwa *polyurethane* (PU) dalam bentuk lempengan kubus 10 mm × 10 mm × 2 mm dapat diterapkan sebagai bahan aditif dalam campuran beton perkerasan kaku untuk meningkatkan kuat tarik lentur. *Polyurethane* tidak

mempengaruhi workabilitas beton. Berat isi beton rerata pada umur 28 hari berkisar antara 24,45 kN/m³ sampai 24,27 kN/m³. Berat isi beton berdasarkan benda uji balok sedikit lebih besar dibanding dari benda uji silinder. Meskipun penambahan PU sedikit menurunkan kuat tekan, nilai tersebut tetap di atas mutu rencana, sekitar 113%. Kuat tarik lentur beton dengan penambahan PU meningkat signifikan (28%), khususnya pada kadar 0,5%. Dengan bentuk yang tidak larut dan bersifat elastomerik, PU berfungsi sebagai elemen penyerap gaya tarik internal. Rasio kuat tarik lentur terhadap kuat tekan tetap stabil pada kisaran 11,10–11,81%, menunjukkan tidak adanya gangguan struktural besar. Dengan demikian, penggunaan PU lempengan dapat dikembangkan sebagai bagian dari inovasi beton ramah lingkungan berbasis limbah industri. Dengan demikian, penerapan *polyurethane* padat dari limbah konstruksi dapat menjadi salah satu alternatif aditif yang efektif dalam desain beton perkerasan kaku. Disarankan agar penelitian lanjutan mencakup uji ketahanan jangka panjang, seperti terhadap keausan, siklus termal, serta pengujian skala penuh untuk jalan raya. Implementasi pada skala lapangan dengan metode pencampuran skala besar perlu divalidasi untuk memastikan distribusi PU dalam campuran merata dan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Material Beton dan Struktur Fakultas

Teknik Universitas Islam Riau atas izin penggunaan fasilitas untuk penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. K. Hossain, G. W. Liu, and Y. W. Yong. Experimental study to investigate mechanical properties of new material polyurethane-cement composite (PUC). *Construction and Building Materials*, vol. 50, pp. 200–208, 2014.
- [2] O. Coppola, G. Magliulo, and E. Di Maio. Mechanical characterization of a polyurethane-cement hybrid foam in compression, tension, and shear. *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 29, no. 2, 2017.
- [3] K. Zhang dan Q. Sun. Experimental Study of Reinforced Concrete T-Beams Strengthened with a Composite of Prestressed Steel Wire Ropes Embedded in Polyurethane Cement (PSWR–PUC). *International Journal of Civil Engineering*, Volume 16, pages 1109–1123. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.11.008>
- [4] Romanides et al., “SNI 03-4431-1997,” ICASSP, vol. 21, no. 3, pp. 12–42, 1997, [Online]. Available: [http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Overview of Arc Hydro terrainpreprocessingworkflows.pdf%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.003%0Ahttp://sites.tufts.edu/gis/files/2013/11/Watershed and Drainage-Delineation-by-Pour Point.pdf%0Awww](http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Overview%20of%20Arc%20Hydro%20terrainpreprocessingworkflows.pdf%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.003%0Ahttp://sites.tufts.edu/gis/files/2013/11/Watershed%20and%20Drainage-Delineation-by-Pour%20Point.pdf%0Awww)
- [5] J. O. Simanjuntak, T. E. Saragi, R. A. Sidabutar, H. Pasaribu, and R. P. Simbolon, “Beton Bermutu Dan Ramah Lingkungan Dengan Memanfaatkan Limbah Abu Ban Bekas,” vol. 2, no. 2, pp. 141–149, 2021.
- [6] “Beton Mapei.” [Online]. Available: <https://www.mapei.com/id/en/news-and-events/event-detail/2022/09/01/inovasi-mapei-hadirkan-perkuatan-struktur-dengan-material-komposit>.
- [7] A.E. Martinelli, D.M.A. Mello, F.M. Lima, U.T. Bzerra, E.P. Marinho, D.M. Henrique. Addition of Polyurethane to Portland Cement, *Materials Science Forum* Vols. 498-499 (2005) pp 401-406, doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.498-499.401.
- [8] K.H. Haleem, G.W. Liu dan W.Y. Yu. Experimental study to investigate mechanical properties of new material polyurethane-cement composite (PUC). *Construction Building Materials*, 50 (15): 200–208. 2014. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.09.035.
- [9] H. Gao dan Q. Sun. Study on Fatigue Test and Life Prediction of Polyurethane Cement Composite (PUC) under High or Low Temperature Conditions, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2020, Article ID 2398064, 14 pages <https://doi.org/10.1155/2020/2398064>
- [10] D.K. Chattopadhyay and K. V. S. N. Raju. Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications. *Progress in Polymer Science*, vol. 32, no. 3, pp. 352–418, 2007.
- [11] I.B. da Silva, A.E. Martinelli, W.R.M. de Souza, J.C. de Oliveira Freitas and M.A.F. Rodrigues. Dilatometric behavior and crystallographic characterization of Portland-polyurethane composites for oil well high-temperature cementing applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 169, pp. 553–559, 2018.
- [12] B. S. N. SNI 4431, “SNI 4431-2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan,” *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 1–16, 2011.
- [13] B. S. Nasional, “Sni 7656:2012,” *Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Bet. Norm. Bet. Berat dan Bet. Massa*, 2012.
- [14] D. Gunaran and A. Makmur, “Pengaruh Penambahan Polyurethane Terhadap Stabilitas Campuran Beraspal Berpori,” *J. HPJL*, vol. 2, no. 2, pp. 91–98, 2016.
- [15] P. R. Candra, H. Siswanto, and B. Rahardjo, “Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Polyurethane,” *Media Tek Sipil*, vol. 19, no. 1, pp. 11–16, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.22219/jmts.v19i1.14681>
- [16] A. Junianto, R. M. R. M. Ramadhan, J. P. Utari, Kusdiyono, D.A. Pawiro dan Junaidi, “Kajian Perbaikan Struktur Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Pressure Grouting Dengan Material Polyurethane dan Epoxy (Studi Kasus: Ruas Jalan Patriot–Perintis Kemerdekaan Kota Pekalongan),” *Wahana Tek Sipil*, 24 (1) 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/wahana/article/view/1604>
- [17] J. Lei, F. Feng, S. Xu, W. Wen, and X. He, “Study on Mechanical Properties of Modified Polyurethane Concrete at Different

- Temperatures,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 6, 2022, doi: 10.3390/app12063184.
- [18] J. Pandya, S. Shah, and S. Dave, “Feasibility of Utilization of Industrial Polyurethane (PU) Rubber Waste in Geopolymer Concrete.,” vol. 1, pp. 285–278, 2018, doi: 10.29007/2xq2.
- [19] A. U. Zhafiira, E. Purwanto, and L. Irianti, “Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur pada Campuran Beton dengan Penambahan Serat Kawat Bendrat Berkait”, *JRSDD*, vol. 5, no. 4, Jun. 2017.
- [20] S. N. I. A. C136:2012, “SNI ASTM C136:2012. Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar,” *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–24, 2012.
- [21] D. Cahyadi, Lasino, A. Amir Husein, W. Santoso, and Sudaryanto, “Pedoman Tata Cara Penentuan Campuran Beton Normal Dengan Semen OPC PPC dan PCC,” *Pupr.* pp. 1–36, 2016.

This page is intentionally blank