

PENGGUNAAN PASIR DAN KERIKIL SILIKA DARI SISA PENAMBANGAN BATU KAPUR SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT UNTUK PERKERASAN JALAN KAKU (THE UTILIZATION OF SILICA SAND AND GRAVEL FROM LIMESTONE MINING WASTE AS AGGREGATE SUBSTITUTION FOR RIGID PAVEMENT)

Etri Suhelmidawati¹⁾, Gusri Yaldi²⁾, Zulfira Mirani³⁾, Fahmiza Yufajri⁴⁾, Muhammad Ikhsan⁵⁾

^{1),2),3),4),5)}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Padang
^{1),2),3),4),5)}Jalan Kampus, Limau Manis, Kec.Pauh, Padang 25164, Sumatera Barat

¹⁾etri.sarins@gmail.com, ²⁾gusri.yaldi@gmail.com, ³⁾raninawaf@gmail.com,

⁴⁾fahmiza.y0608@gmail.com, ⁵⁾mhdikhsan1626@gmail.com

Diterima: 28 September 2022; direvisi: 03 Maret 2023; disetujui: 06 April 2023.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penggunaan pasir dan kerikil silika terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada beton yang dihasilkan sebagai substitusi agregat kasar dan agregat halus dan guna meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat lentur pada beton pada perkerasan jalan (rigid pavement). Penelitian ini menerapkan metode eksperimen yang meliputi pengujian bahan, pengujian kuat tekan dan pengujian kuat lentur beton, sesuai dengan American Standard Testing and Material (ASTM). Dari hasil pengujian nilai kuat tekan tertinggi diperoleh dari variasi beton ke-3 dengan campuran beton 100% pasir silika + kerikil alami + sikament NN dengan nilai kuat tekan sebesar 41,14 MPa. Untuk nilai kuat lentur optimum didapat pada campuran beton dengan variasi ke-4 yaitu 100% pasir alami + kerikil silika + sikament NN dengan nilai kuat lentur 1,6 MPa. Berdasarkan hasil tersebut, variasi beton ke-4 dipilih untuk diterapkan dengan dasar nilai kuat lentur optimum dan dengan nilai kuat tekan yang melebihi dari kuat tekan rencana yaitu 32,36 MPa (f_c' rencana 30 MPa). Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 digunakan untuk merencanakan perkerasan kaku pada Jalan Simpang Anak Aia – Fly Over Bandara Internasional Minangkabau STA 22+800 s/d STA 22+800. Perhitungan tebal perkerasan didapatkan tebal perkerasan 27.5 cm. Pasir dan kerikil silika dapat digunakan untuk meningkatkan kuat tekan dari beton normal setelah penambahan material silika, dan berperan dalam menahan retak pada benda uji silinder.

Kata Kunci: pasir silika, kerikil silika, kuat tekan, kuat lentur, perkerasan kaku

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effects of using silica sand and gravel in concrete as a substitution of coarse aggregates and fine aggregates and to increase the value of compressive strength and flexural strength in concrete for road pavement. This study applied the experimental methods, including material testing, compressive strength and concrete flexural strength testing, referring to the American Standard Testing and Materials (ASTM). From the test results, the highest compressive strength value of concrete was obtained from the 3rd concrete variation with a concrete mixture of 100% silica sand + natural gravel + sikament NN with a compressive strength value of 41.14 MPa. The optimum flexural strength value is obtained from the concrete mix in the 4th variation, namely 100% natural sand + silica gravel + sikament NN with a flexural strength value of 1.6 MPa. Based on these results, the 4th concrete variation was chosen to be applied on the basis of its optimum flexural strength value and compressive strength value that exceeds the design compressive strength, namely 32.36 MPa (f_c' design 30 MPa). Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017 is used to design rigid pavement on Aia Anak Simpang Road – Minangkabau International Airport Fly Over STA 22+800 to STA 22+800. The pavement thickness obtained is 27.5 cm. Therefore, silica sand and gravel can increase the compressive strength of normal concrete after the addition of silica material, play a role in resisting cracks in cylindrical specimens.

Keywords: silica sand, silica gravel, compressive strength, flexural strength, rigid pavement

PENDAHULUAN

Penggunaan perkerasan kaku untuk jalan mulai umum diterapkan oleh penyelenggara jalan (Akbar, 2018). Kendalanya adalah struktur beton rentan terhadap retak yang disebabkan sifat bahan yang getas dan lemah terhadap tarikan. Sifat-sifat tersebut dapat mengakibatkan beton hancur atau patah tanpa diawali perubahan bentuk ketika tegangan maksimum telah dicapai (Wicaksana dkk, 2014).

Secara umum beton terdiri atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar, pengisi, dan air. Saat ini, campuran beton mengalami perkembangan dengan penggunaan bahan tambahan atau penggantian suatu bahan dalam campuran beton. Penelitian ini menggunakan material pengganti berupa pasir dan kerikil silika. Pemilihan bahan tersebut merupakan upaya untuk memanfaatkan limbah sisa penambangan dari batu kapur dan juga berdasarkan hasil pengujian properties material memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan material alami biasa. Silika adalah senyawa kimia yang dapat diperoleh berbagai sumber antara lain silika mineral, sintesis kristal, dan nabati. Silika mineral merupakan senyawa yang ditemui dalam bahan tambang/galian antara lain granit, pasir kuarsa, dan feldspar dengan kandungan kristal silika. (Adi 2018).

Penggunaan mineral silika seperti pasir silika umumnya digunakan pada industri. Pemanfaatannya beragam antara lain sebagai bahan produksi pembuatan gelas dan keramik, bahan penyaring (filter) produksi air bersih, bahan pengecoran beton, dan pembersih kerak karat besi (sandblasting). Pada pengecoran beton di batching plant, agregat halus atau pasir silika digunakan sebagai unsur utama pembuatan beton segar. Pengecoran turut menggunakan agregat kasar, air, semen, dan bahan tambah berupa aditif. Material pasir silika diperiksa di laboratorium terlebih dahulu agar kualitas dan komposisi campuran diketahui (Nadia dan Fauzi 2011).

Pasir dan kerikil silika yang digunakan disini berasal dari sisa penambangan Bukit Kapur Indarung, berlokasi di Kecamatan Lubuk Kilangan, Padang, Sumatera Barat. Bukit Kapur Indarung ini merupakan daerah tambang PT

Semen Padang yang mengandung beberapa bahan utama yaitu Limestone (batu kapur), Clay, Iron sand dan silika. Silika menjadi salah satu bahan baku pembuatan semen. Namun material Silika dari bukit Karang putih tidak memenuhi Komposisi Standard Silica Stone untuk proses pembuatan semen, hal ini berdampak pada peningkatan konsumsi silika di pabrik (Rijal 2018)

Dikarenakan keterbatasan tersebut diputuskan pasokan silika dari tambang hanya untuk memenuhi kebutuhan pabrik Indarung sedangkan di pabrik pada bulan Oktober 2016 diputuskan untuk menggunakan Pozzolan sebagai pengganti keterbatasan silika dari tambang. Dari data ini bisa disimpulkan pemakaian silika sudah kurang dalam proses pembuatan semen dan menjadi bahan yang tidak terpakai (limbah). Limbah pabrik Indarung memiliki potensi ekonomi. Pada campuran pada beton, bahan silika dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat sehingga bisa membuka peluang pekerjaan bagi masyarakat dan mampu meningkatkan ekonomi masyarakat.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai dampak penggunaan dari pasir dan kerikil silika terhadap perkerasan kaku. Uji difokuskan pada kuat tekan dan kuat lentur yang dihasilkannya sebagai substitusi agregat kasar dan halus. Hasil pengujian akan menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tekan dan kuat lentur pada beton. Hasil yang optimum dari pengujian dipilih untuk merencanakan tebal perkerasan jalan kaku yang sesuai.

HIPOTESIS

Pasir dan kerikil silika yang digunakan sebagai substitusi agregat pada campuran beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan kuat lentur beton sehingga dapat diaplikasikan untuk perkerasan jalan kaku (*rigid pavement*).

METODOLOGI

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen, yang meliputi pengujian bahan dan pengujian kuat tekan dilakukan di laboratorium bahan jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang serta pengujian kuat lentur beton di laboratorium bahan konstruksi Dinas Bina Marga, Cipta Karya dan Tata Ruang Provinsi Sumatera Barat.

Persiapan material dan pengujian dilaksanakan mengacu kepada *American Standard Testing and Material* (ASTM C33/C33M-13 2019; ASTM C125-03 2003; ASTM C31 2010; ASTM C494/C494M-05 2017; ASTM C39/C39M-01 1995) serta beberapa literatur penelitian terdahulu (ASTM C138 / C138M 2019; Statements and Size 1995; ASTM C143 2015) yang telah dilakukan sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan. Penelitian ini dilakukan guna mendapatkan komposisi campuran agregat silika sebagai bahan tambahan pada beton, dimana hasil dari penelitian ini adalah hasil kuat tekan dan kuat lentur beton.

Pada penelitian ini, terdapat lima jenis variasi persentase agregat silika yang akan ditambahkan terhadap campuran beton, dimana kelima variasi tersebut diantaranya, 100 % pasir alami + kalami, 100 % pasir alami + kalami + sikament NN, 100% silika + kerikil alami + sikament NN, 100% Pasir alami + kerikil silika + sikament NN dan 100% psilika + kerikil silika + sikament NN. Material yang digunakan pada penelitian ini, seperti semen adalah semen jenis PCC (Portland Cement Composite) produksi PT. Semen Padang, pasir dan kerikil silika

berasal dari sisa penambangan bukit kapur Indarung, sementara untuk pasir dan kerikil alami berasal dari sungai di daerah Duku, Padang Pariaman, Sumatera Barat. Untuk perencanaan tebal perkerasan kaku, penelitian ini menggunakan metoda Manual Desain Perkerasan (MDP) tahun 2017.

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku

Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan tebal perkerasan kaku dengan metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Jalan 2017, dengan data-data yang diperlukan sebagai berikut:

1. Jalan terdiri dari 4 lajur 2 arah terbagi (4/2D)
2. Jenis jalan berdasarkan fungsi yaitu jalan Kolektor dengan golongan dan IIA Sekunder.

Menentukan Umur Rencana

Penentuan umur rencana untuk perkerasan jalan pada MDP 2017 tergantung pada jenis perkerasan yang akan digunakan sesuai dengan Umur Rencana Perkerasan, maka umur rencana yaitu 40 tahun (Tabel 1) dengan mulai beroperasi pada tahun 2024.

Tabel 1. Umur rencana

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir(2)	20
	Fondasi jalan	
Perkerasan kaku	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , <i>Cement Treated Based (CTB)</i>	40
	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan.	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Menentukan Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas (i)

Menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas (i) dapat ditentukan berdasarkan tabel

perkerasan kaku untuk jalan dengan beban lalu lintas berat yang ditinjau yaitu jalan perkotaan yang berada pada pulau Sumatera dengan pertumbuhan lalu lintas 4.83% (Tabel 2).

Tabel 2. Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i) (%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan 2017

Menentukan Faktor Distribusi Arah dan Lajur

Faktor distribusi arah (DD) umumnya digunakan 0,50 kecuali pada lokasi yang jumlah kendaraan niaganya cenderung lebih tinggi pada satu arah

tertentu. Penentuan nilai faktor distribusi lajur dapat ditentukan berdasarkan Tabel Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (*i*) Pada jalan yang ditinjau terdapat 2 lajur perarah dengan distribusi lajur 80% (Tabel 3).

Tabel 3. Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

LHR Harian Rata-rata

Perhitungan tebal perkerasan lentur menggunakan data kendaraan pada hari Minggu 20 Februari 2022 pada pukul 17.00-18.00. Sepeda motor dan kendaraan ringan tidak diperhitungkan dalam perencanaan metoda MDP 2017.

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui jumlah kendaraan yang banyak dilalui pada ruas Jalan Simpang Anak Aia – Fly Over

adalah Mobil Kendaraan dengan jumlah LHR 9583 kendaraan/hari/2arah dan LHR total untuk perkerasan kaku metoda MDP 2017 adalah 12560 kendaraan/hari/2arah. Perhitungan LHR disampaikan pada apendiks. Pada Tabel 4 dijelaskan rekapitulasi perhitungan LHR kendaraan dalam satuan kendaraan/hari/dua arah .

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan LHR Tiap Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Golongan Kendaraan	LHR (kendaraan/hari/2arah)
Mobil Kendaraan	2	9583
Oplet, Mini Bus	3	63
Pick-up	4	1011
Bus Kecil	5a	38
Bus Besar	5b	0
Truk 2 Sumbu 4 Roda	6a	138
Truk 2 Sumbu 6 Roda	6b	1189
Truk 3 Sumbu	7a	525
Truk Gandeng	7b	0
Truk Semi Trailer	7c	13
Total		12560

Menentukan Volume Kelompok Kendaraan Sumbu Niaga

Perhitungan kumulatif beban (ESA5) untuk umur 20 tahun (2024-2044) dengan menggunakan VDF Tabel Faktor Distribusi

Lajur (DL) dan pertumbuhan lalu lintas 4,83%. Perhitungan ESA5 jenis kendaraan 6A diterangkan pada apendiks. Rekapitulasi nilai komulatif kelompok sumbu kendaraan niaga dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi nilai kumulatif kelompok sumbu kendaraan niaga

Jenis Kendaraan	Lintas Harian Rata-Rata (2 Arah) 2022	LHR 2024	LHR 2027	VDF5 Faktual	VDF5 Normal	ESA5 ('24-'26)	ESA5 ('27-'44)
Mobil Penumpang dan kendaraan ringan lainnya	10657	11711	13492	-	-	-	-
5B	38	42	48	1	1	0	0
6A	138	152	175	0,5	0,5	22673	353145
6B	1189	1307	1505	7,4	4,6	2891130	27992612
7A	525	577	665	18,4	7,4	3174177	19883588
7B	0	0	0	-	-	0	0
7C	13	14	16	29,5	9,6	126014	638731
						CESA5 6213993	48868077
						CESA5 2024-2044	55082070

Berdasarkan Tabel 5 nilai kumulatif kelompok sumbu kendaraan niaga 2024-2044 sebesar 55.08E+06 ESAL.

Menentukan Struktur Pondasi Jalan

Berdasarkan perhitungan nilai CBR dengan 2 metoda didapatkan hasil dengan metoda grafis 7,2% dan metoda analitis 4,81% maka nilai CBR terkecil yang digunakan dalam perencanaan yaitu metoda analitis 4,81%. Berdasarkan Tabel Faktor Distribusi Lajur didapatkan desain fondasi jalan minimum untuk CBR 4,81%, maka didapatkan kelas kekuatan tanah dasar adalah SG.4 yaitu diperlukan perbaikan tanah dasar dengan tebal minimum perbaikan 200 mm.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil dan Analisis Pengujian Saat Pencampuran Beton

Hasil dari pengujian *slump* dan bobot isi dengan pasir dan kerikil silika sebagai substitusi agregat pada campuran beton dengan pada sampel silinder dapat dilihat pada Tabel 6 dan sampel balok dapat dilihat pada Tabel 7. Pasir dan kerikil silika yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat bahwa butiran pasir dan kerikil silika lebih kasar dibandingkan pasir dan kerikil alami biasa (Gambar 2), sehingga menghasilkan berat jenis yang lebih tinggi. Sementara butiran

pasir alami banyak yang halus dan kerikil alami permukaannya cenderung bulat atau lonjong.



Gambar 1. Pasir dan kerikil silika



Gambar 2. Pasir dan kerikil alami

Nilai *slump* memiliki batas *slump* rencana yaitu 80 – 120 mm. Namun, pada pembuatan campurannya terdapat beberapa kondisi yang diakibatkan oleh penambahan zat aditif yaitu sikament NN yang memberikan sifat encer pada beton namun cepat dalam proses *setting* beton, sehingga ketika dilakukan pengujian *slump* beton maka didapatkan beton *slump* beton flow.

Tabel 6. Hasil pengujian *slump* dan bobot isi beton sampel silinder

Benda Uji	H1	H2	H3	Rata-Rata
100% pasir alami + kerikil alami	9	9,5	10	9,5
100% pasir alami + kerikil alami + sika	11	10,5	10	10,5
100% pasir silika + kerikil alami + sika	11,5	11	10	10,8
100% pasir alami + kerikil silika + sika	flow	flow	flow	0,0
100% pasir silika + kerikil silika + sika	8	8	8	8,0

Tabel 7. Hasil pengujian *slump* dan bobot isi beton sampel balok

Benda Uji	H1	H2	H3	Rata-Rata
100% pasir alami + kerikil alami	9,5	10	11	10,2
100% pasir alami + kerikil alami + sika	9	8	12	9,7
100% pasir silika + kerikil alami + sika	9	11,5	10	10,2
100% pasir alami + kerikil silika + sika	flow	flow	flow	0,0
100% pasir silika + kerikil silika + sika	flow	flow	flow	0,0

Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton

Beberapa variasi pasir dan kerikil silika sebagai substitusi agregat pada campuran beton untuk pengujian kuat tekan sebagai berikut:

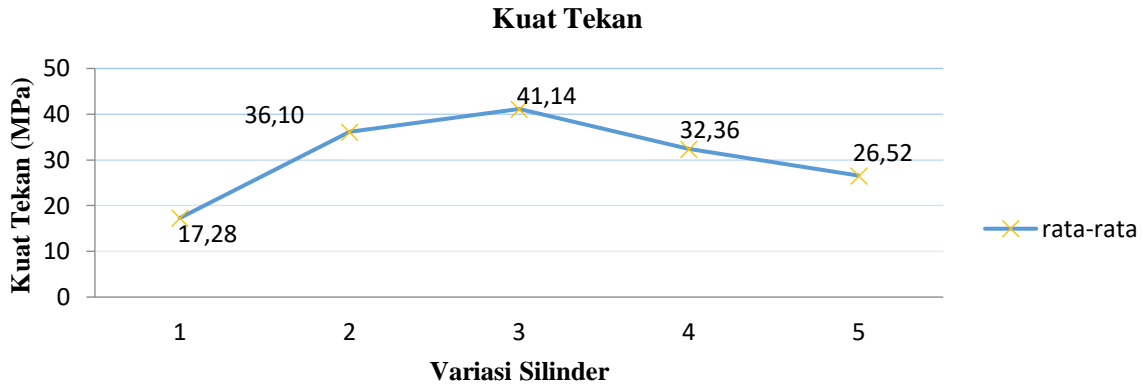
1. 100 % Pasir alami + Kerikil alami
2. 100 % Pasir alami + Kerikil alami + Sikament NN
3. 100% Pasir silika + Kerikil alami + Sikament NN
4. 100% Pasir alami + Kerikil Silika + Sikament NN
5. 100% Pasir silika + Kerikil Silika + Sikament NN

Hasil pengujian kuat tekan beton pasir dan kerikil silika sebagai substitusi agregat pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 8.

Dari grafik pada Gambar 3 dapat diketahui nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 3 (100% Pasir silika + Kerikil alami + Sikament NN) dengan nilai rata-rata kuat tekan 41,14 Mpa, kemudian beton dengan variasi ke 2 (100 % Pasir alami + Kerikil alami + Sikament NN) dengan kuat tekan 36,10 MPa dan beton variasi ke 4 (100% Pasir alami + Kerikil Silika + Sikament NN) dengan nilai kuat tekan beton 32,36 MPa, sehingga dapat memenuhi kuat tekan rencana dalam penelitian ini yaitu $F_c' 30$ MPa.

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan 28 hari

Benda Uji	Massa Sampel (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata
1	12,320	306,59	17,36	17,28
	12,245	299,63	16,96	
	12,545	309,47	17,52	
2	12,41	478,62	39,73	36,10
	12,5	439,68	36,49	
	12,565	386,65	32,09	
3	12,52	483,91	40,16	41,14
	12,50	488,41	40,54	
	12,55	514,76	42,73	
4	12,745	451,88	37,51	32,36
	12,870	374,37	31,07	
	12,885	343,22	28,49	
5	13,255	301,40	25,02	26,52
	12,880	338,48	28,09	
	12,895	318,56	26,44	



Gambar 3. Grafik hasil pengujian kuat tekan beton
Sumber: Hasil pengujian

Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Lentur Beton

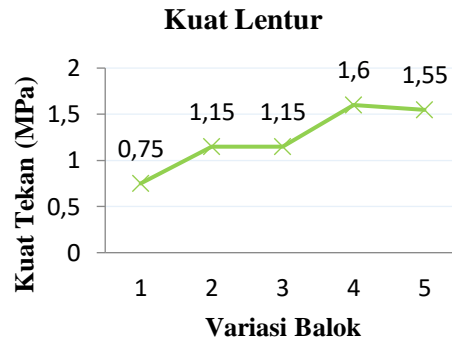
Beberapa variasi pasir dan kerikil silika sebagai substitusi agregat pada campuran beton untuk pengujian kuat lentur sebagai berikut:

1. 100 % Pasir alami + Kerikil alami
2. 100 % Pasir alami + Kerikil alami + Sikament NN
3. 100% Pasir silika + Kerikil alami + Sikament NN
4. 100% Pasir alami + Kerikil Silika + Sikament NN
5. 100% Pasir silika + Kerikil Silika + Sikament NN

Hasil pengujian kuat lentur beton pasir dan kerikil silika sebagai substitusi agregat pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 9.

Dari grafik pada Gambar 4. dapat diketahui nilai kuat lentur tertinggi terdapat pada variasi 4 (100% Kerikil Silika + Pasir

alami + Sikament NN) dengan nilai rata-rata kuat tekan 1, 6 MPa.



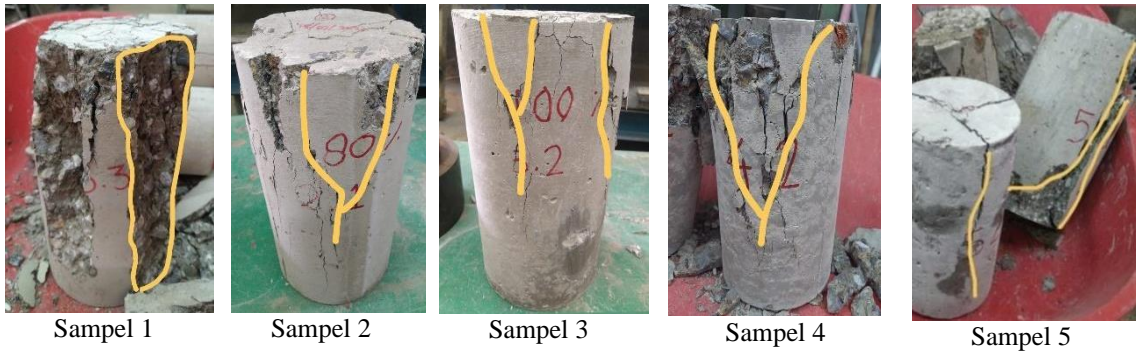
Gambar 4. Grafik hasil pengujian kuat lentur beton
Sumber: Hasil pengujian

Analisis Keretakan pada Benda Uji

Berikut beberapa hasil pola retak benda uji silinder umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 10, dokumentasi lengkap untuk pola retak benda uji 28 hari dapat dilihat pada Apendiks.

Tabel 9. Hasil pengujian kuat lentur 28 hari

Variasi	Massa Sampel (kg)	Notasi (mm)			Gaya Tekan (kN)	Kuat Lentur (MPa)
		l	b	h		
1	31,660	450	150	154	13	0,7
	31,190	450	152	153	14,4	0,8
2	33,065	450	153	153	22,1	1,2
	32,930	450	153	153	21,1	1,1
3	32,915	450	152	153	20,7	1,1
	32,625	450	150	153	21,2	1,2
4	32,905	450	150	150	27,4	1,5
	33,025	450	150	150	28,4	1,6
5	29,215	450	150	150	26,3	1,4
	29,360	450	150	150	32,6	1,8



Gambar 5. Contoh pola retak benda uji silinder 28 hari
 Sumber: Hasil pengujian

Tabel 10. Pola retak benda uji silinder umur 28 hari

Variasi	No Sampel	Tipe Pola Retak	Rata-rata
1	1	Tipe 2	Tipe 2
	2	Tipe 2	
	3	Tipe 3	
2	1	Tipe 2	Tipe 2
	2	Tipe 2	
	3	Tipe 2	
3	1	Tipe 3	Tipe 2
	2	Tipe 2	
	3	Tipe 2	
4	1	Tipe 2	Tipe 2
	2	Tipe 2	
	3	Tipe 2	
5	1	Tipe 3	Tipe 3
	2	Tipe 2	
	3	Tipe 3	

Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui bahwa pola retak rata-rata untuk variasi 1 sampai 4 merupakan tipe 2. Tipe pola retak 2 ialah pola retak mulai dari permukaan atas namun tidak sampai permukaan bawah benda uji. Tipe pola retak 1 sampai tipe 5 merupakan pola yang terdefinisi dengan baik dan benda uji sudah mencapai batas kapasitas tekannya (ASTM C33/C33M, 2013).

Pola retak benda uji balok pada saat uji lentur untuk pada variasi 1, 2 dan 3 merupakan tipe 1 yang keretakannya berada di 1/3 bentang tengah, sedangkan pada variasi 2 dan 4 merupakan tipe 2 yang keretakannya berada di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada < 5% dari bentang yang diilustrasikan seperti yang pada Gambar 6. Pola retak untuk tipe 1 dan tipe 2 nilai kuat lenturnya dapat digunakan (ASTM 2002).



Variasi 1



Variasi 2



Variasi 3



Variasi 4



Variasi 5

Gambar 6. Contoh pola retak benda uji balok
 Sumber: Hasil pengujian

Menentukan Tabel Struktur Lapis Perkerasan

Kumulatif kelompok sumbu kendaraan niaga desain yaitu $55.08E+06$ ESAL, berdasarkan dengan uraian sebagai berikut:

- Umur rencana: 40 tahun (2024 – 2064)
- Tebal pelat beton: 275 mm Lapis beton kurus (LC): 100 mm Lapis
- Pondasi Kelas A: 150 mm

PEMBAHASAN

Pengujian properties material diperoleh, rata-rata berat jenis pasir silika dalam kondisi SSD (Saturated Surface Dry) adalah sebesar 2,84 dan kerikil silika 2,63. Untuk penyerapan, pasir silika 0,73% dan kerikil silika sebesar 1,38%. Kadar air pasir silika sebesar 6,51% dan kerikil silika sebesar 2,04%. Peran pasir dan kerikil silika dapat dilihat dalam meningkatkan kuat tekan dari beton normal setelah penambahan material silika dengan hasil kuat tekan dan kuat tarik lentur optimum diperoleh sebesar 41,14 MPa dan 1,6 MPa. Penambahan pasir dan kerikil silika juga berperan dalam menahan retak pada benda uji silinder dapat dilihat dari bentuk keruntuhan yang semakin mengerucut ke atas seiring dengan penambahan variasi penggunaan material agregat silika.

Hal ini membuktikan bahwa material agregat silika yang ada pada beton menghambat jalur retak yang terjadi dimana semakin besar variasi penambahan material agregat silika maka semakin pendek jalur retak yang dihasilkan. Pada benda uji balok, pola retak adalah retak lentur. Dengan bertambahnya variasi material agregat silika, retak lentur yang dihasilkan akan semakin memanjang.

Kasiati, Wibowo dan Sukaptini (2012) menemukan bahwa kuat tekan tertinggi pada varian 0% adalah sebesar 401,27 kg/cm² yang diperoleh dari campuran pasir silika dengan pasir limbah dari cetakan besi cor dengan komposisi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% serta abu terbang (fly ash) 20%. Penelitian oleh Antonius, Andhy dan Sutopo (2017), menyatakan bahwa sifat kelecakan, kuat tarik, kuat tekan, kuat lentur, modulus elastisitas dan nilai poisson beton memiliki karakteristik yang kurang lebih sama diperoleh dengan beton K-200 hingga K-300.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perencanaan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan Pencapaian nilai kuat tekan tertinggi beton didapat pada variasi beton ke 3 dengan campuran beton 100% Pasir silika + Kerikil alami + Sikament NN dengan nilai kuat tekan sebesar 41,14 MPa. Untuk nilai kuat lentur optimum didapat pada campuran beton dengan variasi ke 4 yaitu 100% Pasir alami + Kerikil Silika + Sikament NN dengan nilai kuat lentur 1,6 MPa. Berdasarkan hasil tersebut dalam perencanaan jalan, digunakan variasi beton ke 4 sebagai variasi yang akan diterapkan dengan dasar nilai kuat lentur optimumnya dan juga dengan nilai kuat tekan yang juga melebihi dari kuat tekan rencana yaitu $32,36 \text{ MPa} > F_c' 30 \text{ MPa}$.

Perencanaan perkerasan kaku pada Jalan Simpang Anak Aia – Fly Over Bandara Internasional Minangkabau STA 22+800 s/d STA 22+800 menggunakan metoda MDP2017 didapatkan tebal perkerasan yaitu setebal 27,5 cm. Maka dapat disimpulkan hasil dari penelitian dan perencanaan tebal perkerasan kaku ini dapat digunakan sebagai alternatif pada perkerasan kaku dan juga mengurangi limbah hasil tambang berupa material agregat silika yang ada di lingkungan.

Peran pasir dan kerikil silika dapat dilihat dalam meningkatkan kuat tekan dari beton normal setelah penambahan material silika, juga berperan dalam menahan retak pada benda uji silinder dapat dilihat dari bentuk keruntuhan yang semakin mengerucut ke atas seiring dengan penambahan variasi penggunaan material agregat silika. Hal ini membuktikan bahwasanya material agregat silika yang ada pada beton menghambat jalur retak yang terjadi dimana semakin besar variasi penambahan material agregat silika maka semakin pendek jalur retak yang dihasilkan. Sementara pada benda uji balok pola retak yang dihasilkan merupakan retak lentur, dimana retak lentur yang dihasilkan semakin memanjang seiring dengan penambahan variasi material agregat silika.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan menguji variasi pasir dan kerikil silika yang berbeda seperti komposisi 25%, 50%, dan 75% dan umur pengujian 56 hari dan 91 hari baik untuk pengujian kuat tekan maupun kuat lentur, sehingga bisa dilihat dan dianalisis perbedaan hasilnya. Pemilihan komposisi ini untuk membandingkan hasil uji kuat tekan dan kuat tarik lentur dengan persentase yang berbeda, dikarenakan keterbatasan waktu pada penelitian ini, tidak semua komposisi bisa diuji. Sehingga hasil yang ada bisa lebih disempurnakan untuk perbaikan penelitian ini kedepannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai wujud penghargaan dalam penyusunan jurnal ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Padang atas dibiayainya penelitian ini dengan Dana DIPA Nomor: 160/PL9.15/PG/2022, tanggal 19 Mei 2022, dan kepada Tim Lapangan yang telah banyak membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. Fachri. 2018. Evaluasi Biaya Konsumsi Kendaraan pada Penggunaan Perkerasan Kaku Ruas Jalan Kabupaten. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret.
- Antonius, Andhy, Djoko Susilo., dan Sutopo, Rochim. 2017. "Efektivitas Pasir Kuarsa Sebagai Agregat Halus pada sifat Mekanik Beton". Prosiding Seminar Nasional, Kebijakan dan Strategi Dalam Pembangunan Infrastruktur dan Pengembangan Wilayah Berbasis Green Technology. 49-55..
- Adi, Ari Sasmoko. 2018. Analisa Penggunaan Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton. *Jurnal Riset Pembangunan* 1(1): 36-47.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2013. ASTM C33/C33M-13: *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Pennsylvania: ASTM
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2003. ASTM C125-03: Standard Terminology Relating To Concrete And Concrete Aggregates. Pennsylvania: ASTM.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2010. ASTM C31: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Pennsylvania: ASTM.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2017. ASTM C494 / C494M-05: *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. Pennsylvania: ASTM.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2019. ASTM C138 / C138M: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete eLearning Course. Pennsylvania: ASTM.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 1995. ASTM C117-13: Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No 200) Sieve on Mineral Aggregates by Washing. Pennsylvania: ASTM.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2014. ASTM C39/C39M – 01: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Pennsylvania: ASTM.
- American Standard Testing and Material (ASTM). 2015. ASTM C143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. Pennsylvania: ASTM.
- Kasti, Endang., Wibowo, Boedi., Sukaptini, Endang Sri. 2012, "Perubahan Kuat Tekan Optimum Beton pada Komposisi Campuran Pasir Silika dengan Pasir Limbah. Prosiding Manajemen dan Rekayasa Struktur". Seminar Nasional, Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah (ATPW), Surabaya.
- Nadia, dan Fauzi, A. 2011. Pengaruh Kadar Silika Pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan. *Kontruksia*, 3(1), 35–43.
- Rijal, Syamsur. 2018. "Formulasi Model Optimalisasi Komposisi Bahan Baku untk Mencapai Standar Kualitas Klinker (Studi Kasus di Indarung IV PT Semen Padang)". Thesis, Universitas Andalas.
- Wicaksana, I. Wayan Krisna., Wijoyo, Taufik Adi., Yolanda, Tricya., Chintami, R. Dian., Dzaki, Tubagus Naufal. 2014. Serat Ampas Tebu untuk Beton sebagai Usaha Meningkatkan Kuat Tarik Beton. Usulan Program Kreativitas Mahasiswa Universitas Diponegoro, Semarang.

APENDIKS

Perhitungan LHR

Tabel 11. Jumlah Kendaraan Desain Fly Over – Simpang Anak Aia

Waktu	Golongan Kendaraan									
	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
17.00-17.15	104	1	15	0	0	0	18	9	0	0
17.15-17.30	104	0	13	1	0	4	10	4	0	0
17.30-17.45	132	0	12	0	0	2	10	5	0	0
17.45-18.00	90	1	20	2	0	1	13	7	0	1
Total	430	2	60	3	0	7	51	25	0	1

Tabel 12. Jumlah Kendaraan Desain Simpang Anak Aia – Fly Over

Waktu	Golongan Kendaraan									
	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
17.00-17.15	79	0	6	0	0	2	15	4	0	0
17.15-17.30	77	2	14	0	0	0	5	7	0	0
17.30-17.45	92	1	6	0	0	1	9	4	0	0
17.45-18.00	85	0	5	0	0	1	10	2	0	0
Total	333	3	31	0	0	4	39	17	0	0

1. Penumpang (Golongan 2)

VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 430 Kendaraan

VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 333 Kendaraan

Faktor D = $VJP \text{ terbesar} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $430 / (430+333) \times 100\%$
= 56.35%

Nilai k = 8% (**Tabel Nilai Faktor k**)

LHR = $VJP1 / (k \times D)$
= $430 / (8\% \times 56.35\%)$
= 9583 kendaraan/hari/2 arah

2. Opelet dan Mini Bus (Golongan 3)

VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 2 Kendaraan

VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 3 Kendaraan

Faktor D = $VJP_{\text{terbesar}} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $3 / (3+2) \times 100\%$
= 60%

Nilai k = 8% (**Tabel Nilai Faktor k**)

LHR = $VJP2 / (k \times D)$
= $3 / (8\% \times 60\%)$
= 63 kendaraan/hari/2 arah

3. Pick-up (Golongan 4)

VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 60 Kendaraan

VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 31 Kendaraan

- Faktor D = $VJP_{\text{terbesar}} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $60 / (60+31) \times 100\%$
= 65.93%
- Nilai k = 8% (**Tabel Nilai Faktor k**)
LHR = $VJP1 / (k \times D)$
= $60 / (8\% \times 65.93\%)$
= 1011 kendaraan/hari/2 arah
4. Bus Kecil (Golongan 5a)
VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 3 Kendaraan
VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 0 Kendaraan
Faktor D = $VJP_{\text{terbesar}} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $3 / (3+0) \times 100\%$
= 100%
- Nilai k = 8% (**Tabel Nilai Faktor k**)
LHR = $VJP1 / (k \times D)$
= $3 / (8\% \times 100\%)$
= 38 kendaraan/hari/2 arah
5. Truk 2 Sumbu 4 Roda (Golongan 6a)
VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 7 Kendaraan
VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 4 Kendaraan
Faktor D = $VJP_{\text{terbesar}} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $7 / (7+4) \times 100\%$
= 63.63%
- Nilai k = 8% (**Tabel Nilai Faktor k**)
LHR = $VJP1 / (k \times D)$
= $7 / (8\% \times 63.63\%)$
= 138 kendaraan/hari/2 arah
6. Truk 2 Sumbu 6 Roda (Golongan 6b)
VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 51 kendaraan
VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 39 kendaraan
Faktor D = $VJP_{\text{terbesar}} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $51 / (51+39) \times 100\%$
= 56.6%
- Nilai k = 8% (**Tabel Nilai Faktor k**)
LHR = $VJP1 / (k \times D)$
= $51 / (8\% \times 56.6\%)$
= 1189 kendaraan/hari/2 arah
7. Truk 3 Sumbu (Golongan 7a)
VJP1 = Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia
= 25 Kendaraan
VJP2 = Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over
= 17 Kendaraan
Faktor D = $VJP_{\text{terbesar}} / (VJP_{\text{total}}) \times 100\%$
= $25 / (25+17) \times 100\%$

$$\begin{aligned}
&= 59.52\% \\
\text{Nilai k} &= 8\% \text{ (Tabel Nilai Faktor k)} \\
\text{LHR} &= \text{VJP1} / (\text{k} \times \text{D}) \\
&= 25 / (8\% \times 59.52\%) \\
&= 525 \text{ kendaraan/hari/2arah} \\
8. \text{ Truk Semi Trailer (Golongan 7c)} \\
\text{VJP1} &= \text{Jumlah kendaraan Fly Over – Simpang Anak Aia} \\
&= 1 \text{ Kendaraan} \\
\text{VJP2} &= \text{Jumlah kendaraan Simpang Anak Aia – Fly Over} \\
&= 0 \text{ Kendaraan} \\
\text{Faktor D} &= \text{VJPterbesar}/(\text{VJPtotal}) \times 100\% \\
&= 1 / (1+0) \times 100\% \\
&= 100\% \\
\text{Nilai k} &= 8\% \text{ (Tabel Nilai Faktor k)} \\
\text{LHR} &= \text{VJP2} / (\text{k} \times \text{D}) \\
&= 1 / (8\% \times 100\%) \\
&= 13 \text{ kendaraan/hari/2 arah}
\end{aligned}$$

Perhitungan ESA5 jenis kendaraan 6A

Berikut merupakan contoh perhitungan ESA5 jenis kendaraan 6A :

$$\begin{aligned}
- \text{ Lintas harian rata-rata 2 arah 2022} &= 138 \\
- \text{ Pertumbuhan lalu lintas} &= 4.83\% \\
- \text{ Nilai DD} &= 0.5 \\
- \text{ Nilai DL} &= 0.8 \\
- \text{ VDF Faktual} &= 0.5 \text{ (Tabel Faktor Distribusi Lajur (DL))} \\
- \text{ VDF Normal} &= 0.5 \text{ (Tabel Faktor Distribusi Lajur (DL))} \\
- \text{ R(24-26)} &= 2.048 \\
- \text{ R(27-44)} &= 27.69 \\
- \text{ LHR 2024} &= \text{LHR 2 arah 2021} \times (1 + 0.0483)^3 \\
&= 138 \times (1 + 0.0483)^3 \\
&= 152 \\
\square \text{ LHR 2026} &= \text{LHR 2 arah 2021} \times (1 + 0.0483)^5 \\
&= 138 \times (1 + 0.0483)^5 \\
&= 175 \\
- \text{ ESA5(24-26)} &= \text{LHR 2024} \times \text{VDF5 Faktual} \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \\
&\quad \times \text{R} \\
&= 159 \times 0.5 \times 365 \times 0.5 \times 0.8 \times 2.048 \\
&= 2.26\text{E}+04 \\
- \text{ ESA5(27-44)} &= \text{LHR 2026} \times \text{VDF5 Normal} \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \\
&\quad \times \text{R} \\
&= 175 \times 0.5 \times 365 \times 0.5 \times 0.8 \times 27.69 \\
&= 3.53\text{E}+05
\end{aligned}$$