

Pemanfaatan Limbah Pasir *Sandblasting* Sebagai Material Perkerasan Kaku

*Samuel Layang¹, Thathit Suprayogi², Wiratno¹, Okta Meilawaty³, Renna Jessica Sihombing¹, Frans Putra Ganesa¹

¹Prodi. Pendidikan Teknik Bangunan, FKIP, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, ²Prodi. Fisika, Universitas Palangka Raya,

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya

^{*)}samuel.layang@ptb.upr.ac.id

Abstract

This study aims to determine the compressive strength and flexural strength of concrete using Sandblasting Sand waste and to determine whether concrete using Sandblasting Sand waste can be used as a rigid pavement material. To achieve these objectives, experimental research was carried out in the laboratory using 10 beam specimens. The coarse aggregate used was a combination of Banjarmasin Gravel and Merak Gravel with a proportion of 50% each. There are two variations of the mixture, namely a concrete mixture using Tangkiling Sand and a concrete mixture using Sandblasting Sand. From the test results, it was obtained that the concrete mixture using Tangkiling Sand had an average compressive strength of 22.57 MPa and a flexural strength (fs) of 36.33 kg/cm². The concrete mixture using Sandblasting Sand has an average compressive strength of 26.55 MPa and flexural strength (fs) of 39.40 kg/cm². Concrete mixtures with proportions of 50% Banjarmasin Gravel and 50% Merak Gravel, both using Tangkiling Sand and Sandblasting Sand do not meet the requirements for use as rigid pavement because they do not meet the minimum flexural strength of 45 kg/cm² as required.

Keywords: Sandblasting Sand, Rigid Pavement, Compressive Strength, Flexural Strength

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan kuat lentur beton yang menggunakan limbah Pasir *Sandblasting* dan untuk mengetahui apakah beton yang menggunakan limbah Pasir *Sandblasting* dapat digunakan sebagai material perkerasan kaku. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan penelitian secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan benda uji balok yang berjumlah 10 buah. Agregat kasar yang digunakan merupakan gabungan dari Kerikil Banjarmasin dan Kerikil Merak dengan masing-masing proporsi 50%. Terdapat dua variasi campuran yaitu campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling dan campuran beton yang menggunakan Pasir *Sandblasting*. Dari hasil pengujian diperoleh campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar 22,57 MPa dan kuat lentur (fs) 36,33 kg/cm². Campuran beton yang menggunakan Pasir *Sandblasting* mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar 26,55 MPa dan kuat lentur (fs) 39,40 kg/cm². Campuran beton dengan proporsi 50% Kerikil Banjarmasin dan 50% Kerikil Merak, baik yang menggunakan Pasir Tangkiling dan Pasir *Sandblasting* tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai perkerasan kaku karena tidak memenuhi kuat lentur minimal 45 kg/cm² sebagaimana yang disyaratkan.

Kata Kunci: Pasir Sandblasting, Perkerasan Kaku, Kuat Tekan, Kuat Lentur

PENDAHULUAN

Pembangunan dengan pendekatan konsep bangunan ramah lingkungan (*green building*) dan konstruksi ramah lingkungan (*green construction*) menjadi hal penting dan terus dikembangkan oleh pemerintah. Bangunan ramah lingkungan menerapkan prinsip lingkungan dalam perancangan, pembangunan, pengoperasian dan pengelolaannya dan aspek penting dalam penanganan dampak perubahan iklim (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 8 Tahun 2010 Tentang Kriteria Dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan, 2010) dan tentunya tidak membahayakan lingkungan (Ayuningtyas et al., 2022). Konstruksi ramah lingkungan menerapkan konsep pengelolaan proyek konstruksi yang meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Konstruksi ramah lingkungan diharapkan efisien dalam penggunaan energi, material yang dapat didaur ulang (*recycle*), digunakan kembali (*reuse*) dan mengurangi penggunaan material secara berlebihan (Maulidianti et al., 2021).

Pemanfaatan limbah sebagai material konstruksi merupakan salah satu upaya untuk mendukung konstruksi ramah lingkungan. Salah satu limbah yang dapat digunakan sebagai bahan konstruksi adalah pasir *sandblasting*. Pasir

sandblasting adalah pasir silika hasil proses *blasting*. Proses *blasting* digunakan untuk perawatan dan pembersihan peralatan yang terbuat dari logam (Kang et al., 2024). Proses ini digunakan oleh perusahaan galangan kapal dalam pemeliharaan kapal dengan tujuan menghilangkan impurities (karat dan cat) yang ada di material dengan cara menyemprotkan pasir silika bertekanan tinggi untuk membersihkan karat dan biota laut yang menempel pada kapal (Rudawska et al., 2016). Proses *sandblasting* menghasilkan pasir silika yang sudah bercampur dengan beragam impurities yang kemudian dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya). Kandungan logam berat dan jumlah limbah *sandblasting* yang besar akan mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu teknologi yang dapat dilakukan untuk mengolah dan meminimasi dampak pencemaran limbah B3 adalah solidifikasi. Teknik ini memadatkan massa limbah menjadi padat dengan menggunakan bahan pengikat seperti semen, kapur, atau gipsum, untuk membentuk blok padat (Niu et al., 2024), sehingga mengurangi mobilisasi kontaminan yang terkandung di dalamnya (Alifiadi & Slamet, 2022). Pozzolan yang terkandung dalam semen merupakan bahan yang umum digunakan untuk mengikat kontaminan dalam limbah. Pozzolan adalah bahan alami atau buatan yang

sebagian besar terdiri dari silika dan alumina atau keduanya (Anrozi & Trihadiningrum, 2017). Pozzolan terkandung dalam semen Portland.

Semen portland merupakan material utama dalam pembuatan beton yang bersifat aktif ketika bereaksi dengan air. Penggunaan beton sangat luas dalam pekerjaan konstruksi antara lain jalan, jembatan, gedung, bendungan, bandara, pelabuhan, terowongan, tanggul (Van Damme, 2018). Beton merupakan bahan utama dalam perkerasan kaku (*rigid pavement*) jalan raya. Perkerasan kaku merupakan konstruksi perkerasan yang mana lapisan atas digunakan pelat beton yang terletak di atas pondasi atau di atas tanah dasar pondasi atau langsung di atas tanah dasar (*subgrade*) yang memiliki umur layanan hingga 40 tahun (Maharani & Wasono, 2018). Jenis perkerasan ini digunakan pada jalan yang dengan lalu lintas yang cukup padat dan memiliki distribusi beban yang besar, seperti jembatan layang (*fly over*) jalan tol, maupun pada persimpangan bersinyal (Rahmat et al., 2017). Perkerasan kaku memiliki keunggulan dibandingkan perkerasan lentur diantaranya biaya pemeliharaan yang lebih rendah karena memiliki kekuatan lentur yang tinggi untuk mencegah kerusakan permukaan (Tahir et al., 2025). Selain itu perkerasan kaku memiliki umur yang lebih Panjang dibanding perkerasan lentur (Rasol et al., 2020).

Penelitian ini menggunakan dua jenis agregat kasar, yaitu Kerikil Banjarmasin dan Kerikil Merak dengan prosentasi masing-masing agregat kasar sebesar 50%. Penggunaan agregat kasar gabungan dengan alasan untuk menghemat biaya karena Kerikil Merak harganya mahal dibandingkan dengan Kerikil Banjarmasin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan kuat lentur beton yang menggunakan limbah Pasir *Sandblasting* dan untuk mengetahui apakah beton yang menggunakan limbah Pasir *Sandblasting* dapat digunakan untuk perkerasan kaku.

METODE

Penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya dan UPT Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Kalimantan Tengah. Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi

1. Semen yang digunakan adalah semen portland pozzolan (PCC) yang diproduksi PT. Semen Gresik
2. *Superplasticizer* yang digunakan jenis *polycarboxylate* Dynamon NRG 1030 produksi MAPEI
3. Agregat kasar batu batu pecah yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu Batu Merak dan Batu Banjarmasin
4. Agregat halus yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu pasir silika hasil proses *blasting* PT Barito Galangan Nusantara (BGN) Banjarmasin dan Pasir Tangkiling

Dalam penelitian ini, mutu beton (f_c') yang disyaratkan sebesar 30 MPa yang diperoleh dari pengujian silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang akan diuji pada umur 28 hari. Penelitian ini menggunakan benda uji yang berbentuk silinder (10 buah) dan balok (10 buah). Benda uji silinder digunakan untuk mengetahui mutu beton yang dihasilkan dan benda uji balok untuk

digunakan untuk mengetahui kuat lentur. Terdapat 2 jenis campuran yaitu campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling dengan tambahan *superplasticizer* dan campuran beton menggunakan limbah Pasir *Sandblasting* dengan tambahan *superplasticizer*. Penggunaan *superplasticizer* dapat mengurangi rasio void dalam beton, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan (Andrade et al., 2021). *Superplasticizer* juga dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap karbonasi, serangan ion klorida serta meningkatkan impermeabilitas air (Andrade et al., 2021).

Perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan ACI 211.1-91 (*Standard Practice for Selecting proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*). Data-data perencanaan didasarkan pada hasil pengujian sifat fisik agregat kasar dan halus. Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam benda uji silinder dalam bak rendaman yang terisi air. Perawatan dilakukan selama 28 hari, hal ini untuk menjamin pengeringannya dapat merata sehingga mengurangi retak awal pada benda uji (Wang et al., 2024). Selain itu dapat menghambat proses hidrasi pada saat awal pengikatan.

Kuat tekan beton (f_c') ditentukan dengan benda uji berbentuk silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang dinyatakan dalam satuan N/mm^2 (BSI, 2002)

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan

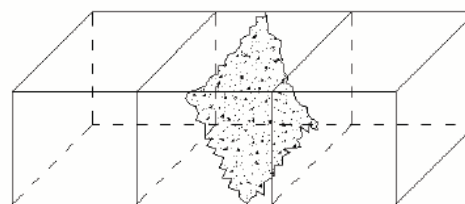
σ_c = kuat tekan beton (MPa)

P = besar beban (N)

A = luas penampang (mm^2)

Kuat lentur dirumuskan sebagai berikut (SNI 4431, 2011)

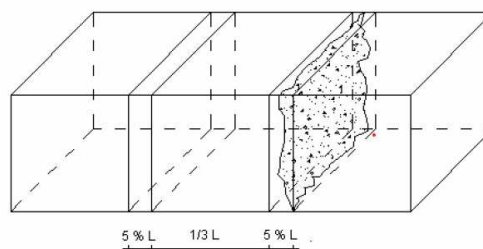
1. Jika bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) ditunjukkan pada gambar 1, maka kuat lentur beton dihitung dengan persamaan 2



Gambar 1. Patah pada 1/3 Bentang Tengah

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2)$$

2. Jika bidang patah terletak di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) ditunjukkan pada gambar 2, maka kuat lentur beton dihitung dengan persamaan 3



Gambar 2. Patah di Luar 1/3 Bentang Tengah

$$\sigma_1 = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (3)$$

dengan

σ_1 = kuat lentur benda uji (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

L = jarak antara tumpuan (mm)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

a = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Hubungan kuat tekan dan kuat tarik lentur beton dapat dihitung dengan persamaan 4 (Pd T-14-2003 Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 2003).

$$f_{ct} = K. (f_c')^{0,5} \quad (\text{MPa}) \quad (4a)$$

$$f_{ct} = 3,13. K. (f_c')^{0,5} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (4b)$$

dengan

f_c' = kuat tekan beton (MPa atau kg/cm²)

f_{ct} = kuat Tarik lentur beton (MPa atau kg/cm²)

K = konstanta (0,7 untuk agregat tidak pecah dan 0,75 untuk agregat pecah)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik Agregat

Pengujian sifat fisik agregat kasar dan halus dilakukan untuk mendapatkan data dukung yang diperlukan dalam perhitungan proporsi campuran (*mix design*). Pemeriksaan sifat fisik meliputi pemeriksaan gradasi butiran (analisa saringan), kadar air, berat jenis dan penyerapan. Masing-masing parameter pengujian tersebut dilakukan sebanyak 2 kali kemudian diambil nilai rata-rata. Hasil pengujian sifat fisik agregat dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

Parameter	Kerikil Banjarmasin	Kerikil Merak	Pasir Tangkiling	Pasir Sandblasting
Berat jenis SSD	2,70	2,57	2,66	2,78
Penyerapan (%)	0,75	1,06	0,70	1,08
Kadar Air (%)	1,06	3,97	6,43	0,28
Modulus kehalusan	6,78	7,33	2,51	2,52
Ukuran maksimum	19 mm	19 mm	-	-

Berdasarkan data pada tabel 1, berat jenis kondisi SSD (*saturated surface dry*) kerikil Banjarmasin lebih besar dibanding Batu Merak. Sebaliknya nilai penyerapan (*absorpsi*) dan kadar air kerikil Merak lebih besar dibanding Kerikil Banjarmasin. Hal ini disebabkan karena kondisi Kerikil Merak pada saat dilakukan pengujian mengandung banyak abu batu yang menempel pada kerikil sehingga menyebabkan penyerapan dan kadar air menjadi lebih besar. Dalam hal ini abu batu yang menempel pada Kerikil Merak tidak dibersihkan terlebih dahulu agar sama dengan kondisi dilapangan. Kerikil Merak memiliki ukuran yang sama dengan Kerikil Banjarmasin yang mana ukuran maksimum kedua agregat tersebut tertahan pada saringan ¾" (19 mm). Menurut ASTM C.33, nilai modulus kehalusan agregat kasar 7,49 – 9,55. Berdasarkan hasil pengujian nilai modulus kehalusan Kerikil Banjarmasin dan Kerikil Merak tidak memenuhi syarat. Berat jenis kondisi SSD (*saturated surface dry*) dan penyerapan Pasir

Sandblasting lebih besar dibanding Pasir Tangkiling. Sebaliknya nilai kadar air Pasir Tangkiling lebih besar dibanding Pasir *Sandblasting*. ASTM mensyaratkan nilai modulus kehalusan pasir 2,3 – 3,1 (ASTM C33/C33M – 18, 2010). Berdasarkan ketentuan ini Pasir Tangkiling dan Pasir *Sandblasting* memenuhi syarat untuk digunakan sebagai agregat halus.

Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton berdasarkan pedoman standar untuk beton normal, beton berat, dan beton massal (ACI 211.1-91, 2002). Data-data perencanaan didasarkan pada hasil pengujian sifat fisik agregat kasar dan halus. Campuran beton direncanakan dengan mutu 30 MPa. Hasil perencanaan campuran beton untuk 1 m³ dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Campuran Beton dengan Pasir Tangkiling

PC (kg)	Kr. Bjm (kg)	Kr. Merak (kg)	Pasir Tangkiling (kg)	Air (kg)	Superplasticizer (ltr)
690	462	465	640	160	3,10

Berdasarkan hasil perhitungan, campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling mempunyai kandungan semen (PC) sebesar 690 kg/m³. Jumlah air sebesar 160 kg/m³ sehingga memiliki nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,232. Kerapatan beton segar sebesar 2420 kg/m³ sehingga dapat dikategorikan sebagai beton normal.

Tabel 3. Campuran Beton dengan Pasir *Sandblasting*

PC (kg)	Kr. Bjm (kg)	Kr. Merak (kg)	Pasir Sandblasting (kg)	Air (kg)	Superplasticizer (ltr)
690	461	466	640	160	3,10

Untuk campuran beton yang menggunakan limbah Pasir *Sandblasting* mempunyai kandungan semen (PC) dan jumlah air yang sama dengan campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling.

Kuat Tekan Beton

Pengujian benda uji silinder menggunakan alat uji tekan seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Pengujian Benda Uji Silinder

Hasil pengujian benda uji silinder dapat dilihat pada tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hanya terdapat satu benda uji yang mendekati kuat tekan rencana 30 MPa, sedangkan benda uji lainnya mempunyai kuat tekan kurang dari 30 MPa. Kuat tekan rata-rata sebesar 25,41 MPa, dengan kata lain kuat tekan rata-rata benda uji hanya mencapai 85% dari kuat tekan rencana.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton (Pasir Tangkiling)

Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
1	12,40	530,00	29,99
2	12,70	420,00	23,77
3	12,70	400,00	22,64
4	12,50	435,00	24,62
5	12,40	460,00	26,03
Rata-rata	12,54		25,41

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian benda uji yang menggunakan limbah Pasir Sandblasting. Kuat tekan yang dihasilkan masing-masing benda uji kurang dari kuat tekan rencana (30 MPa), dengan kuat tekan rata-rata 18,33 MPa atau hanya sekitar 61% dari kuat tekan rencana.

Tabel 5. Kuat Tekan Beton (Pasir Sandblasting)

Benda Uji	Berat Benda Uji (kg)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
1	11,80	425,00	24,05
2	11,90	287,00	16,24
3	11,90	305,00	17,26
4	12,00	295,00	16,69
5	11,80	308,00	17,43
Rata-rata	11,88		18,33

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu beton, salah satunya adalah ukuran agregat kasar yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis saringan, modulus kehalusan Kerikil Banjarmasin (6,78) dan Kerikil Merak (7,33) tidak memenuhi persyaratan sebagaimana yang disyaratkan oleh ASTM C.33 dengan nilai modulus agregat kasar 7,49 – 9,55. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Amelia dkk (2018) yang menyatakan bahwa besar butiran agregat kasar mempengaruhi nilai kuat tekan beton yang dicapai baik untuk beton berbentuk kubus maupun agregat kasar yang memiliki ukuran butir maksimum lebih besar memiliki nilai kuat tekan yang besar daripada agregat kasar yang memiliki ukuran lebih kecil (Amelia et al., 2021). Salah satu cara yang dapat dilakukan agar nilai modulus kehalusan agregat kasar memenuhi persyaratan adalah dengan mencampurkan agregat kasar yang memiliki ukuran yang lebih besar.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi mutu beton adalah kualitas air yang digunakan dalam campuran beton. Dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian kimia sehingga tidak diketahui apakah ada kandungan kimia atau organis yang dapat mempengaruhi mutu beton. Selain itu Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Portland Composite Cement* (PCC) karena jenis semen ini yang banyak tersedia di Kota Palangka Raya. Penelitian yang dilakukan oleh Firnanda dkk (2015) memberikan hasil bahwa kuat tekan beton yang menggunakan Ordinary Portland Cement (OPC) tipe I menghasilkan kuat tekan

yang lebih besar dibanding PCC (Firnanda et al., 2015). Hal ini terjadi akibat perbedaan unsur penyusun. PCC menggunakan tambahan bahan anorganik (Intara, 2014) sedangkan OPC tidak menggunakan bahan anorganik.

Dari tabel 4 dan 5, dapat pula diketahui kerapatan (*density*) beton dengan menggunakan data berat masing-masing benda uji. Campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling mempunyai berat rata-rata 12,54 kg untuk volume silinder 0,0053 m³. Sehingga dapat diketahui nilai rata-rata kerapatan beton sebesar 2365 kg/m³. Pada Campuran beton yang menggunakan Pasir Sandblasting mempunyai berat rata-rata 11,88 kg dengan nilai rata-rata kerapatan beton sebesar 2241 kg/m³. Kerapatan campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling dan Pasir Sandblasting berkisar antara 2200-2400 kg/m³ sehingga dapat disimpulkan termasuk dalam beton normal.

Kuat Lentur Balok Beton

Kuat lentur balok diperoleh dari pengujian balok berukuran panjang 600 mm, lebar 150 mm, tinggi 150 mm berdasarkan SNI 4431:2011 tentang cara uji kuat lentur beton normal dengan 2 titik pembebanan. Hasil pengujian balok ditunjukkan pada tabel 6 dan 7. Dari hasil uji lentur, semua benda uji balok baik campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling dan Pasir Sandblasting, patah terjadi pada 1/3 bentang tengah sehingga untuk menghitung kuat lentur balok menggunakan persamaan 2.

Tabel 6. Kuat Lentur Beton (Pasir Tangkiling)

Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Kuat Lentur (MPa)
1	27,00	3,60
2	26,90	3,59
3	26,40	3,52
4	26,80	3,57
5	26,50	3,53
Rata-rata		3,56

Berdasarkan tabel 6 diketahui bahwa kuat lentur balok beton yang menggunakan Pasir Tangkiling berkisar antara 3,52 – 3,60 MPa dengan nilai rata-rata kuat lentur 3,56 MPa.

Hasil pengujian kuat lentur untuk campuran beton yang menggunakan Pasir Sandblasting ditunjukkan pada tabel 7. Dari tabel ini dapat diketahui bahwa kuat lentur balok beton yang menggunakan Pasir Sandblasting berkisar antara 3,81 – 3,93 MPa dengan nilai rata-rata kuat lentur 3,86 MPa.

Tabel 7. Kuat Lentur Beton (Pasir Sandblasting)

Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Kuat Lentur (MPa)
1	29,50	3,93
2	28,80	3,84
3	28,60	3,81
4	29,10	3,88
5	28,90	3,85
Rata-rata		3,86

Pengujian lentur balok ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pengujian Lentur Balok Beton

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik lentur beton ditentukan berdasarkan Pd T-14-2003 tentang Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Perhitungan konversi kuat lentur menggunakan persamaan 4.

Tabel 8. Konversi Kuat Lentur (f_s') ke Kuat Tekan (f_c')

Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur (kg/cm^2) f_s	Kuat Tekan (MPa) f_c'
Campuran Beton yang Menggunakan Pasir Tangkiling			
1	3,60	36,71	23,04
2	3,59	36,57	22,87
3	3,52	35,89	22,03
4	3,57	36,44	22,70
5	3,53	36,03	22,19
	Rata-rata	36,33	22,57
Campuran Beton yang Menggunakan Pasir Sandblasting			
1	3,93	40,11	27,50
2	3,84	39,16	26,21
3	3,81	38,89	25,85
4	3,88	39,57	26,76
5	3,85	39,29	26,40
	Rata-rata	39,40	26,55

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 (revisi 3) mutu beton untuk perkerasan kaku dinyatakan dalam *flexural strength* (f_s) atau kuat lentur, dengan kuat lentur minimal 45 kg/cm^2 atau setara dengan $4,5 \text{ MPa}$. Dari tabel 8 dapat diketahui bahwa semua benda uji memiliki nilai f_s kurang dari 45 kg/cm^2 . Dengan demikian campuran beton dengan proporsi 50% Kerikil Banjarmasin dan 50% Kerikil Merak, baik yang menggunakan Pasir Tangkiling dan Pasir Sandblasting tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai perkerasan kaku. Campuran beton yang menggunakan Pasir Sandblasting memiliki kuat lentur yang lebih besar dibanding beton yang menggunakan Pasir Tangkiling.

Kuat tekan yang diperoleh dari hasil pengujian silinder (tabel 4 dan 5) memiliki kecenderungan yang berbeda dari nilai kuat tekan yang diperoleh dari hasil konversi kuat lentur. Kuat tekan dari pengujian silinder beton yang menggunakan Pasir Tangkiling memiliki kuat tekan yang lebih besar dibanding campuran beton yang menggunakan Pasir Sandblasting. Namun kuat tekan hasil konversi dari kuat lentur, campuran beton yang menggunakan Pasir Sandblasting mempunyai kuat tekan

yang lebih besar dibanding campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling. Secara teori kuat lentur berbanding lurus dengan kuat tekan. Semakin besar kuat tekan, semakin besar pula kuat lentur, demikian pula sebaliknya. Dalam hal ini, paling tidak ada dua kemungkinan penyebabnya. Pertama, distribusi agregat kasar pada benda uji silinder dan benda uji balok tidak sama selama proses pemadatan. Kemungkinan kedua adalah pengaruh keandalan alat ukur.

Karakterisasi Limbah dan Dukungan Green Construction

Pemanfaatan limbah Pasir Sandblasting sebagai substitusi agregat halus merupakan upaya nyata dalam mendukung konsep green construction. Namun, mengingat limbah ini dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) karena mengandung impurities dan logam berat, validasi kelayakan penggunaannya harus dilengkapi dengan analisis komposisi kimia.

Analisis komposisi kimia (misalnya, menggunakan XRF atau EDS) dari Pasir Sandblasting sangat diperlukan untuk:

1. Mengukur Potensi Pozzolanik: Menentukan kandungan Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3) dalam limbah. Jika kandungannya tinggi, ini akan menjelaskan peningkatan kuat tekan dan kuat lentur yang lebih baik dibandingkan Pasir Tangkiling ($26,55 \text{ MPa}$ vs $22,57 \text{ MPa}$)¹¹, karena limbah dapat berfungsi sebagai material pozzolan, bereaksi dengan CaOH_2 hasil hidrasi semen.
2. Mendukung Klaim Solidifikasi: Memberikan indikasi bahwa kontaminan logam berat dari proses *blasting* telah terikat (tersolidifikasi) secara efektif dalam matriks beton. Solidifikasi adalah teknik utama untuk meminimasi dampak pencemaran limbah B3

KESIMPULAN

1. Campuran beton yang menggunakan Pasir Tangkiling mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar $22,57 \text{ MPa}$ dan kuat lentur rata-rata $36,33 \text{ kg/cm}^2$
2. Campuran beton yang menggunakan Pasir Sandblasting mempunyai kuat tekan rata-rata sebesar $26,55 \text{ MPa}$ kuat lentur rata-rata $39,40 \text{ kg/cm}^2$
3. Campuran beton dengan proporsi 50% Kerikil Banjarmasin dan 50% Kerikil Merak, baik yang menggunakan Pasir Tangkiling dan Pasir Sandblasting tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai perkerasan kaku karena tidak memenuhi kuat lentur minimal 45 kg/cm^2 sebagaimana yang disyaratkan.

Berdasarkan fakta bahwa campuran beton Pasir Sandblasting memiliki kuat lentur tertinggi ($39,40 \text{ kg/cm}^2$) namun masih di bawah persyaratan minimal perkerasan kaku (45 kg/cm^2), maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

- 1) Optimasi Agregat Kasar: Melakukan uji coba dengan meningkatkan porsi agregat kasar yang lebih besar (misalnya, Kerikil Merak) atau menggabungkannya dengan agregat kasar yang modulus kehalusannya memenuhi syarat ASTM C.33 untuk meningkatkan interkunci dan kekuatan beton secara keseluruhan.
- 2) Penyesuaian FAS dan Workability: Mengurangi kandungan semen (PC) atau sedikit menaikkan FAS hingga batas maksimal yang diizinkan untuk semen PCC, dan menyesuaikan dosis *superplasticizer* untuk meningkatkan *workability*. Hal ini bertujuan untuk menghindari anomali pemadatan yang menyebabkan kuat tekan silinder rendah (18,33 MPa).
- 3) Penggunaan Aditif Pozzolan Tambahan: Menambahkan material aditif pozzolan yang terbukti aktif secara kimia, seperti abu terbang (*fly ash*) atau *silica fume*, ke dalam campuran. Kombinasi limbah *sandblasting* dan *fly ash* berpotensi menghasilkan kekuatan lentur yang dibutuhkan, karena keduanya menyediakan kandungan silika yang tinggi

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Palangka Raya yang telah memberikan dukungan dana untuk kegiatan penelitian ini, Kepala Laboratorium Bahan dan Konstruksi Provinsi Kalimantan Tengah yang telah memberikan bantuan untuk pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- Alifiadi, R., & Slamet, A. (2022). Utilization of Sandblasting Waste as an Alternative Material for Paving Blocks. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(12), 4399–4407.
<https://doi.org/10.55927/mudima.v2i12.1911>
- Amelia, R., Suhendra, S., & Amalia, K. R. (2021). Hubungan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(2), 225.
<https://doi.org/10.33087/talentsipil.v4i2.79>
- Andrade, H. D., de Carvalho, J. M. F., Costa, L. C. B., da Fonseca Elói, F. P., do Carmo e Silva, K. D., & Peixoto, R. A. F. (2021). Mechanical performance and resistance to carbonation of steel slag reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 298, 123910.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123910>
- Anrozi, R., & Trihadiningrum, Y. (2017). Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25134>
- ASTM C33/C33M – 18. (2010). *Concrete Aggregates 1. i(C)*, 1–11. <https://doi.org/10.1520/C0033>
- Ayuningtyas, U., Agus, M., Leopold, A., Adi, N., Aggraeni, P., Pribadi, T., Nugroho, A., & Tjahyo, N. (2022). Pemanfaatan Fly ash dan Bottom Ash sebagai Material Konstruksi Ramah Lingkungan dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau. *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat 2022*, 51–56.
- BSI. (2002). SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. In *Badan Standardisasi Indonesia*.
- Firanda, A., Kurniawandy, A., & Ermiyati. (2015). Kuat Tekan Beton dan Waktu Ikat Semen Portland Komposit (PCC). 3, 103–111.
- Intara, I. W. (2014). Perbedaan Umur Pencapaian Kuat Tekan Beton Dari Perekat Semen OPC, PPC Dan PCC. *Jurnal Logic*, 14(2), 82–86.
- Kang, S., Lee, S., & Lee, J. (2024). Thermal performance enhancement in two-phase closed thermosyphon with sandblasted evaporator surface. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 159, 108027.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.108027>
- Maharani, A., & Wasono, S. B. (2018). Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pantai Prigi – Popoh Kab. Tulungagung). *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 1(2), 89–94.
<https://doi.org/10.25139/jprs.v1i2.1202>
- Maulidianti, N. A., Mulyani, E., & Nuh, M. (2021). Identifikasi Konsep Green Construction Pada Perencanaan Gedung Perpustakaan Pusat Universitas Tanjungpura. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 8(1), 1–8.
<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/44606>
- Niu, X., Elakneswaran, Y., & Hiroyoshi, N. (2024). Surface chemistry and radionuclide anion immobilisation potential of phosphoric acid-activated metakaolin-based geopolymers. *Cement and Concrete Research*, 181, 107549.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107549>
- Peraturan menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 8 tahun 2010 Tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan, 1 (2010).
- Rahmat, Hendriyani, I., & Dito, R. D. (2017). Kajian Kuat Lentur Beton pada Perkerasan Kaku Jalan Tol Balikpapan-Samarinda. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), 50–60.
- Rasol, M. A., Pérez-Gracia, V., Fernandes, F. M., Pais, J. C., Santos-Assunção, S., Santos, C., & Sossa, V. (2020). GPR laboratory tests and numerical models to characterize cracks in cement concrete specimens, exemplifying damage in rigid pavement. *Measurement*, 158, 107662.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107662>
- Rudawska, A., Danczak, I., Müller, M., & Valasek, P. (2016). The effect of sandblasting on surface properties for adhesion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 70, 176–190.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.06.010>
- SNI 4431, B. S. N. (2011). SNI 4431-2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–16.
- Tahir, M. F. M., Abdullah, M. M. A. B., Rahim, S. Z. A., Embong, R., Tajudin, M. A. F. M. A., Zailani, W. W. A., & Ghazali, C. M. R. (2025). 6 - Potential of geopolymers in rigid pavement application: materials, preparation, and basic properties. In M. M. Al Bakri Abdullah, R. Abd Razak, W. M. Wan Ibrahim, & M. A. A. Mohd Salleh (Eds.), *Recent Developments of Geopolymer Materials* (pp. 129–146). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-24068-3.00006-6>
- Van Damme, H. (2018). Concrete Material Science: Past, Present, and Future Innovations. *Cement and Concrete Research*, 112(May), 5–24.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.002>
- Wang, J., Li, H., Ma, C., Cai, C., & Wang, J. (2024). Effect of surface curing condition on the humidity field and moisture transfer in concrete. *Construction and Building Materials*, 411, 134701.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134701>
- Pd T-14-2003 Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, 56 (2003).