



Pengaruh Variasi Gradasi Pada Agregat Terhadap Nilai Kuat Tekan *Cement Treated Base* (CTB)

Karenia A. Ponamon^{#a}, Theo K. Sendow^{#b}, Mecky R. E. Manoppo^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^akareniaPONAMON14@gmail.com, ^btheosendow@unsrat.ac.id, ^cmeckymanoppo@unsrat.ac.id

Abstrak

Cement Treated Base (CTB) merupakan lapis fondasi yang dapat meningkatkan kinerja dan umur layan perkerasan jalan. Salah satu faktor yang memengaruhi kinerja CTB adalah gradasi agregat karena berpengaruh terhadap kepadatan dan kuat tekan campuran. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi gradasi agregat terhadap kuat tekan CTB serta menentukan kombinasi gradasi dan kadar semen yang menghasilkan kuat tekan tertinggi. Penelitian dilakukan secara eksperimen di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi menggunakan agregat lokal dari Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara. Gradasi agregat disusun berdasarkan Kurva Fuller, yaitu batas atas, tengah, dan bawah, dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5%. Pengujian meliputi karakteristik agregat, pemadatan, dan kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) pada umur 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa gradasi batas tengah menghasilkan kuat tekan tertinggi pada seluruh variasi kadar semen. Nilai tertinggi sebesar 12,64 MPa diperoleh pada gradasi batas tengah dengan kadar semen 5%, sedangkan nilai terendah sebesar 4,00 MPa diperoleh pada gradasi batas bawah dengan kadar semen 3%.

Kata kunci: Cement Treated Base (CTB), gradasi agregat, kurva fuller, kuat tekan bebas (Unconfined Compressive Strength/UCS), kadar semen

1. Pendahuluan

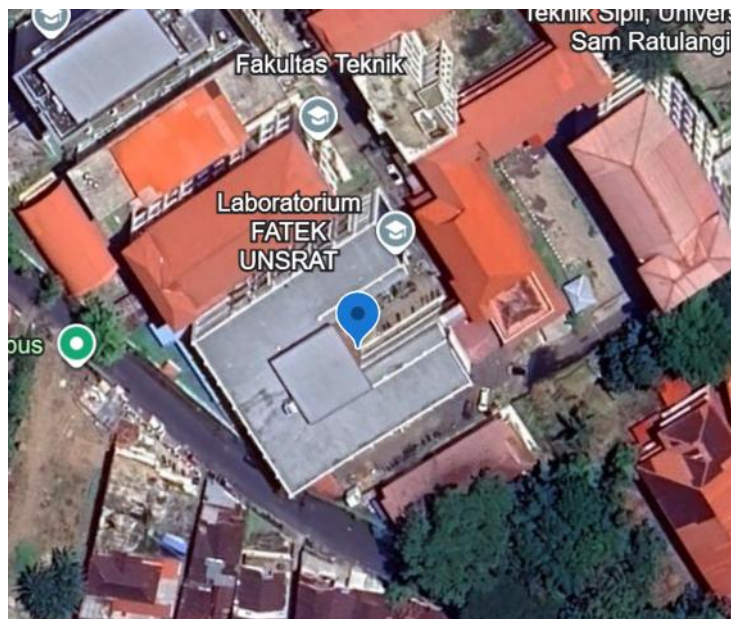
Peningkatan lalu lintas kendaraan dan kondisi jalan yang rusak menunjukkan perlunya peningkatan kualitas konstruksi perkerasan jalan. Di Provinsi Sulawesi Utara, sekitar 22% atau 2.339,47 km jalan berada dalam kondisi rusak berat, sedangkan hanya sekitar 53% dalam kondisi baik. Salah satu upaya meningkatkan kinerja perkerasan adalah penggunaan *Cement Treated Base* (CTB) sebagai lapis fondasi. CTB merupakan campuran agregat, semen, dan air yang dipadatkan untuk menghasilkan lapis fondasi dengan daya dukung dan stabilitas yang lebih tinggi (Bina Marga, 2018). Kinerja CTB dipengaruhi oleh kadar semen dan gradasi agregat. Gradasi yang baik menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat sehingga rongga campuran berkurang dan kepadatan serta kuat tekan dapat meningkat. Dalam pelaksanaannya, variasi gradasi agregat dari sumber material dapat menyebabkan ketidaksesuaian terhadap gradasi yang disyaratkan. Agregat yang diperoleh dari *quarry* umumnya berupa campuran berbagai ukuran butiran dan tidak selalu memiliki distribusi yang seragam, sehingga diperlukan pengaturan komposisi agar diperoleh gradasi yang sesuai. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah Kurva Fuller untuk menyusun distribusi ukuran agregat secara lebih teratur. Penelitian ini menggunakan agregat lokal dari Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara, dengan variasi gradasi berdasarkan Kurva Fuller yang terdiri atas batas atas, batas tengah, dan batas bawah. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi gradasi agregat dan kadar semen terhadap kuat tekan CTB serta menentukan kombinasi yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi. Variasi gradasi tersebut dikombinasikan dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5%, kemudian diuji menggunakan *Unconfined Compressive Strength* (UCS) pada umur perawatan 28 hari. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi teknis mengenai pengaruh susunan gradasi terhadap kekuatan CTB serta menjadi dasar

pemanfaatan agregat lokal secara lebih optimal dalam pembangunan perkerasan jalan di Sulawesi Utara.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengujian karakteristik agregat, perencanaan campuran, pembuatan dan perawatan benda uji, pengujian kuat tekan, serta analisis data. Kadar air campuran ditentukan berdasarkan hasil pengujian pemadatan. Benda uji kemudian dirawat dengan metode perendaman selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*).

2.1. Lokasi Penelitian dan Pengambilan Material



Gambar 1. Lokasi Penelitian (GoogleEarth,2026)

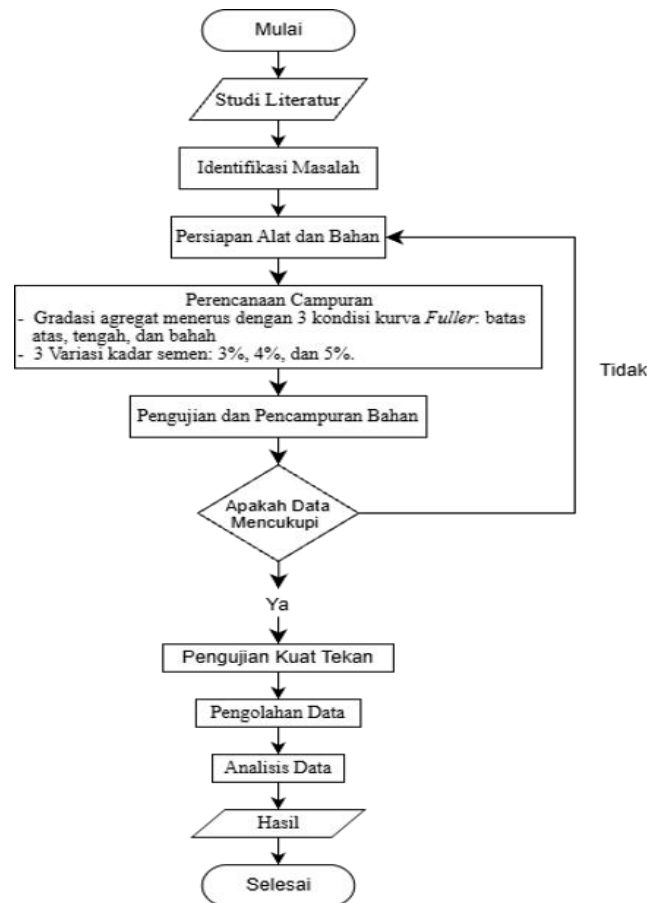


Gambar 2. Lokasi Pengambilan Material (GoogleEarth,2026)

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, dengan agregat lokal yang diperoleh dari Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara.

2.2. Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitiandilakukan sesuai dengan Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

No.	Keterangan	Jumlah
1	Variasi Gradasi Agregat	3 (Batas Atas, Tengah, dan Bawah)
2	Variasi Kadar Semen	3 (3%, 4%, dan 5%)
3	Ulangan di tiap Variasi	3x Ulangan
Total sampel yang dibuat		27 Benda Uji

Penelitian ini menggunakan bahan berupa semen Portland Tipe I/PPC, agregat, dan air, dan alat cetakan silinder (150 mm × 300 mm), penumbuk, timbangan digital, oven, piknometer 500ml, saringan uji. Perencanaan campuran dilakukan dengan menyusun tiga variasi gradasi menerus berdasarkan Kurva Fuller, yaitu batas atas, batas tengah, dan batas bawah, yang masing-masing dikombinasikan dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5%. Metode perawatan benda uji dalam penelitian ini adalah rendam.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pemeriksaan Material

Hasil pemeriksaan material dalam penelitian ini, meliputi agregat kasar, agregat sedang, agregat halus. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh material memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi II) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Penelitian didasarkan pada proses penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium. Hasil penelitian disajikan kedalam bentuk grafik atau tabel untuk menjelaskan hasil tersebut secara lebih jelas.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Abrasi

KEAUSAN AGREGAT			
<u>DENGAN MESIN LOS ANGELES</u>			
AASHTO T 96-87; SNI 2417:2008			
Mhs. Penelitian	:	Karenia Alysia Ponamon	
Tanggal Diuji	:	Jumat, 28 November 2025	
Lokasi Pengujian	:	Laboratorium Perkerasan Jalan - Teknik Sipil UNSRAT	
Jenis Material	:	Bahan Material LPA Kelas A	
Ukuran Saringan		Indeks	Sample I
Lolos	Tertahan		Berat (gr)
3"	2 1/2"		
2 1/2"	2		
2	1 1/2"		
1 1/2"	1"		1255.0
1"	3/4"		1251.8
3/4"	1/2"		1250.4
1/2"	3/8"		1252.9
3/8"	1/4"		
1/4"	#4		
#4	#8		
Total		A	5010.1
Tertahan #12 (100 Putaran)		B	4641.3
Keausan 100 Putaran (%)		(A-B)/A*100	7.361130516
Tertahan #12 (400 Putaran)		C	3865.1
Keausan 400 Putaran (%)		(A-C)/A*100	22.85

Berdasarkan hasil pengujian, nilai keausan agregat kasar yang didapat pada putaran 400 sebesar 22,85%, berada di bawah batas maksimum 40% sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Dengan demikian, nilai yang didapat dari pengujian abrasi agregat kasar tersebut memenuhi syarat sebagai campuran *Cement Treated Base* (CTB).

Tabel 3. Hasil pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN <u>AGREGAT</u> AASHTO T 85-88; SNI 1970:2016					
Mhs. Penelitian	:	Karenia Alysia Ponamon			
Tanggal Diuji	:	Jumat, 28 November 2025			
Lokasi Pengujian	:	Laboratorium Perkerasan Jalan - Teknik Sipil UNSRAT			
Jenis Material	:	Bahan Material LPA Kelas A			
No	Pengujian	Indeks	Sample		Rata-Rata
			I	II	
1	Berat Sample Kondisi SSD (gr)	S	500.0	500.0	-
2	Berat Sample OD (gr)	A	473.0	481.2	-
3	Berat Pikonometer + Air (gr)	B	686.5	685.5	-
4	Berat Pikonometer + Sample + Air (gr)	C	959.7	974.3	-
5	Berat Jenis Bulk (S_d) (gr/cc)	$A/(B+S-C)$	2.086	2.278	2.182
6	Berat Jenis SSD (s_s) (gr/cc)	$S/(B+S-C)$	2.205	2.367	2.286
7	Berat Jenis Semu (S_a) (gr/cc)	$A/(B+A-C)$	2.367	2.501	2.434
8	Penyerapan Air (S_w) (%)	$(S-A)/A \times 100$	5.708	3.907	4.808

Berdasarkan Tabel 3, nilai rata-rata berat jenis agregat halus meliputi bulk 2,182 gr/cc, SSD 2,286 gr/cc, dan semu 2,434 gr/cc, yang tergolong normal dan cukup baik untuk campuran CTB. Nilai penyerapan air sebesar 4,808% menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air ke dalam pori-porinya.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT AASHTO T 85-88; SNI 1969:2016					
Mhs. Penelitian : Karenia Alysia Ponamon Tanggal Diuji : Rabu, 26 November 2025 Lokasi Pengujian : Laboratorium Perkerasan Jalan - Teknik Sipil UNSRAT Jenis Material : Bahan Material LPA Kelas A					
No	Pengujian	Indeks	Sample		Rata- Rata
			I	II	
1	Berat Sample Dalam Air (gr)	A	3082.6	3086.4	-
2	Berat Sample SSD (gr)	B	5005.4	4977.4	-
3	Berat Sample OD (gr)	C	4959.8	4959.9	-
4	Berat Jenis Bulk (S_d) (gr/cc)	C/(B-A)	2.579	2.623	2.601
5	Berat Jenis SSD (s_d) (gr/cc)	B/(B-A)	2.603	2.632	2.618
6	Berat Jenis Semu (S_a) (gr/cc)	C/(C-A)	2.642	2.647	2.645
7	Penyerapan Air (S_w) (%)	(B-C)/C*100	0.919	0.353	0.636

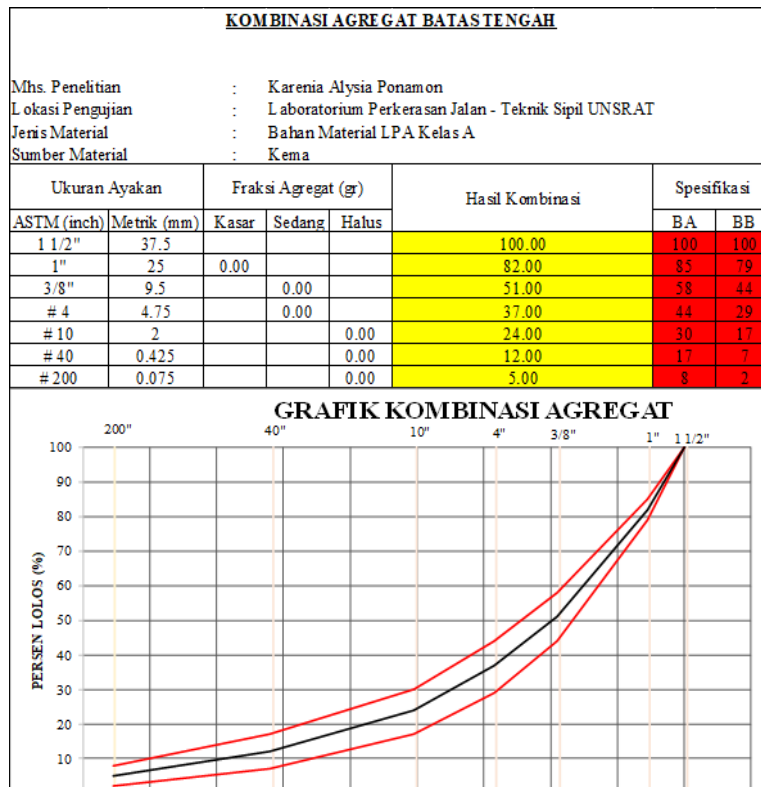
Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat kasar tersebut memiliki kepadatan dan kualitas yang baik serta memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran CTB, sehingga mendukung terbentuknya campuran yang padat dan stabil.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan Analisa Saringan

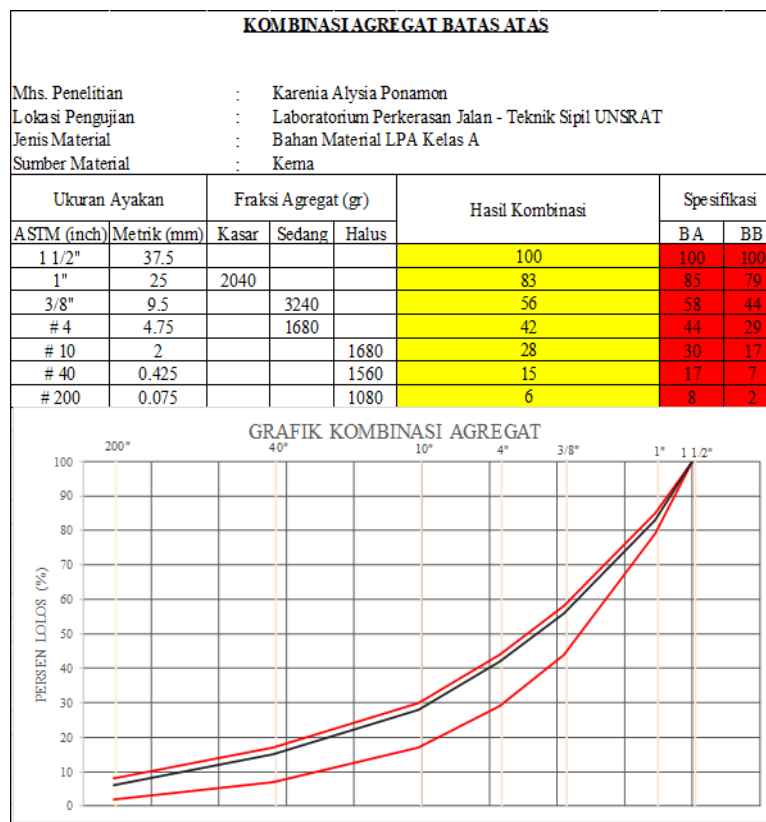
ANALISA SARINGAN AGREGAT AASHTO T 27-74; SNI ASTM C 136-06							
Mhs. Penelitian : Karenia Alysia Ponamon Lokasi Pengujian : Laboratorium Perkerasan Jalan - Teknik Sipil UNSRAT Jenis Material : Bahan Material LPA Kelas A Sumber Material : Kema							
Berat Awal A = 5000 (gr)							
Ukuran Ayakan		Benda uji A					
		Berat Tertahan (gr)		Persentase tertahan (%)	Persentase Lolos (%)	Spesifikasi	
ASTM (Inch)	Metrik (mm)	Perayakan	Kumulatif				
1½"	37.50	0.0	0.0	0.00	100.00	100	100
1"	25.40	464.8	464.8	9.30	90.70	85	79
¾"	19.00	1943.2	2408.0	48.16	51.84	58	44
#4	4.75	745.4	3153.4	63.07	36.93	44	29
#10	2.00	859.1	4012.5	80.25	19.75	30	17
#40	0.425	602.3	4614.8	92.30	7.70	17	7
#200	0.075	264.5	4879.3	97.59	2.41	8	2

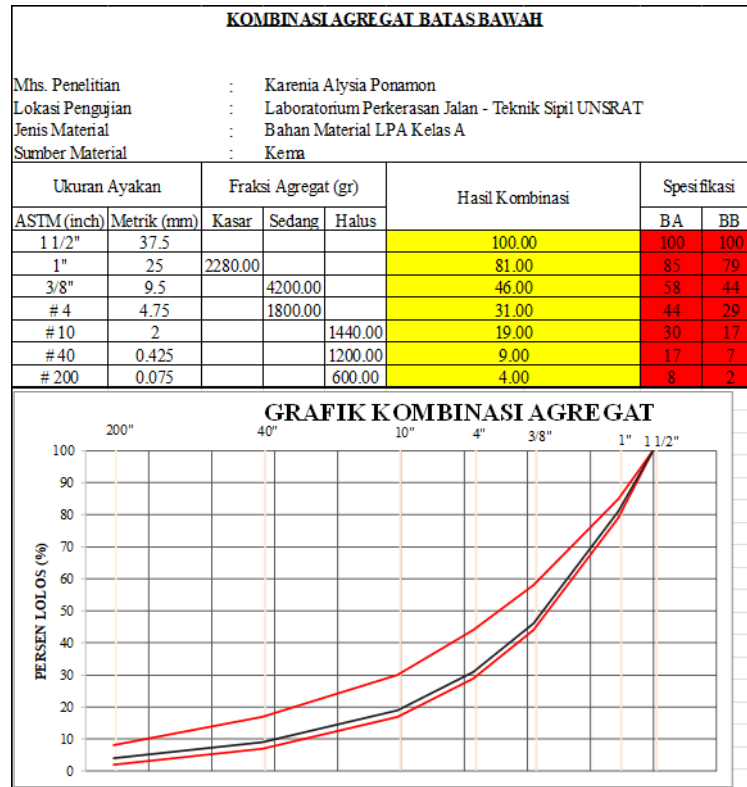
Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat menunjukkan bahwa kombinasi agregat yang digunakan pada tahap awal belum memenuhi spesifikasi gradasi Cement Treated Base(CTB). Dikarenakan hasil pengujian analisa saringan tidak memenuhi spesifikasi, maka dilakukan perbaikan menggunakan Kurva Fuller sebagai acuan dalam proses perbaikan.

Tabel 6. Hasil Kombinasi Agregat Batas Tengah



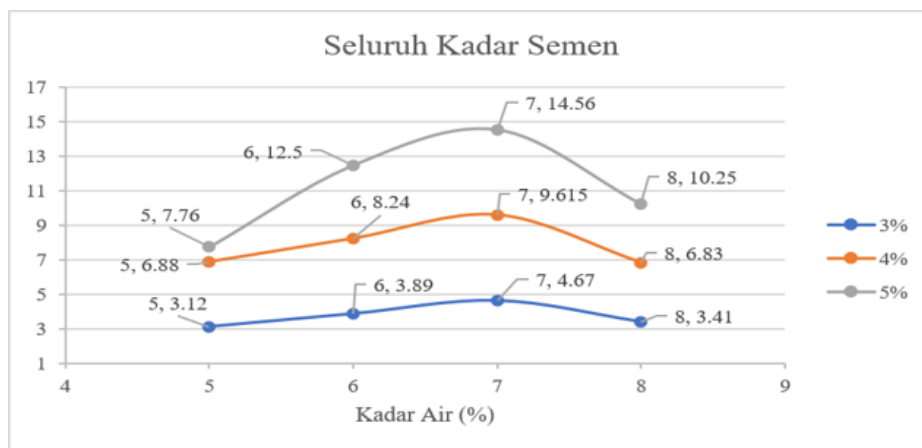
Tabel 7. Hasil Kombinasi Agregat Batas Atas



Tabel 8. Hasil Kombinasi Agregat Batas Atas

Kombinasi agregat ditentukan berdasarkan hasil analisis saringan dengan mengatur proporsi agregat kasar, sedang, dan halus agar kurva gradasi gabungan berada dalam batas spesifikasi dan mendekati kurva Fuller.

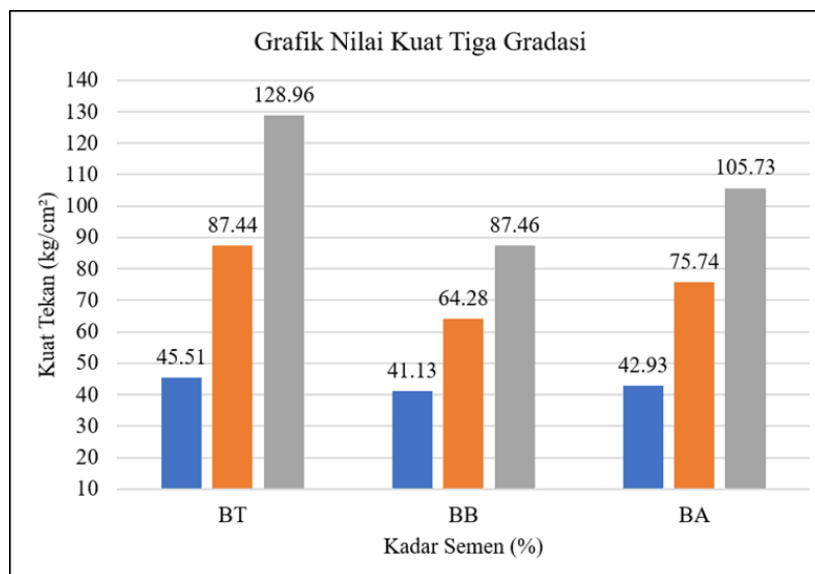
Penyesuaian dilakukan dengan metode *trial and adjustment* hingga diperoleh tiga variasi gradasi, yaitu batas atas, batas tengah, dan batas bawah, yang seluruhnya memenuhi rentang gradasi CTB.

**Gambar 4.** Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Nilai Kuat Tekan CTB pada Seluruh Variasi Kadar Semen

Penentuan kadar air dilakukan dengan membuat benda uji pada variasi kadar air 5%, 6%, 7%, dan 8% dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5%, kemudian diuji kuat tekannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat hingga kadar air 7% dan menurun pada kadar air 8%.

Tabel 9. Hasil Uji Kuat Tekan

HASIL KUAT TEKAN GRADASI BATAS ATAS									
(MPa)	4.44	3.99	4.21	8.01	6.82	7.45	11.59	9.66	9.86
	4.2			7.4			10.4		
(kg/cm²)	42.93			75.74			105.73		
HASIL KUAT TEKAN GRADASI BATAS TENGAH									
(MPa)	4.67	4.17	4.55	9.62	7.44	8.67	14.56	10.71	12.67
	4.5			8.6			12.6		
(kg/cm²)	45.51			87.44			128.96		
HASIL KUAT TEKAN GRADASI BATAS BAWAH									
(MPa)	4.20	3.80	4.10	6.41	6.20	6.30	8.62	8.60	8.51
	4.0			6.3			8.6		
(kg/cm²)	41.13			64.28			87.46		

**Gambar 5.** Nilai Kuat Tekan Gradasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kadar semen dari 3% hingga 5% meningkatkan nilai kuat tekan pada seluruh variasi gradasi. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada gradasi batas tengah dengan kadar semen 5%, yaitu 12,6 MPa (128,96 kg/cm²), sedangkan nilai terendah diperoleh pada gradasi batas bawah dengan kadar semen 3%, yaitu 4,0 MPa (41,13 kg/cm²). Secara keseluruhan, gradasi batas tengah menghasilkan kuat tekan tertinggi, diikuti gradasi batas atas dan batas bawah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar semen dan susunan gradasi agregat yang lebih rapat berkontribusi terhadap peningkatan kuat tekan CTB.

3.2. Pembahasan

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan setelah *curing* selama 28 hari pada tiga variasi gradasi agregat, yaitu batas atas, batas tengah, dan batas bawah, dengan kadar semen 3%, 4%, dan 5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kadar semen pada seluruh variasi gradasi menghasilkan peningkatan kuat tekan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar semen, semakin banyak produk hidrasi yang terbentuk sehingga ikatan antarbutir agregat menjadi lebih kuat.

Variasi gradasi juga memengaruhi kuat tekan CTB. Gradasi batas tengah menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi pada seluruh kadar semen karena distribusi ukuran agregat yang lebih seimbang mampu menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat dan mengurangi rongga dalam campuran. Nilai tertinggi diperoleh pada kombinasi gradasi batas tengah dengan kadar semen 5%, yaitu 12,6 MPa (128,96 kg/cm²), sedangkan nilai terendah diperoleh pada gradasi batas bawah dengan kadar semen 3%, yaitu 4,0 MPa (41,13 kg/cm²). Hasil ini sejalan dengan penelitian Kurnia et al. (2024) dan Utami Sylvia Lestari et al. (2025) yang menunjukkan bahwa keseimbangan

gradasi agregat berpengaruh terhadap kepadatan dan kuat tekan campuran.

Berdasarkan perbandingan dengan spesifikasi yang digunakan dalam penelitian, kombinasi kadar semen 4% dan 5% pada seluruh variasi gradasi memenuhi persyaratan, sedangkan pada kadar semen 3% hanya gradasi batas tengah yang memenuhi. Dengan demikian, kombinasi gradasi batas tengah dan kadar semen 5% memberikan kinerja kuat tekan terbaik pada penelitian ini.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi gradasi agregat berpengaruh terhadap kuat tekan CTB, karena memengaruhi kepadatan, rongga, dan penguncian antaragregat.
 - a. Gradasi batas atas relatif padat karena lebih banyak agregat halus, tetapi luas permukaan yang dilapisi semen lebih besar.
 - b. Gradasi batas tengah memberikan hasil terbaik karena distribusi agregat lebih seimbang, sehingga menghasilkan kepadatan dan penguncian antaragregat yang lebih baik.
 - c. Gradasi batas bawah menghasilkan kuat tekan lebih rendah karena dominasi agregat kasar menyebabkan rongga antarbutir lebih besar.
2. Peningkatan kadar semen dari 3% hingga 5% meningkatkan kuat tekan CTB pada seluruh variasi gradasi.
 - a. Gradasi batas atas mengalami peningkatan kuat tekan seiring penambahan semen, tetapi belum menghasilkan kekuatan paling optimal karena distribusi butiran belum mencapai kondisi kepadatan terbaik.
 - b. Gradasi batas tengah menunjukkan kinerja paling baik karena struktur agregat yang padat memungkinkan pasta semen mengikat agregat secara lebih efektif.
 - c. Gradasi batas bawah juga mengalami peningkatan kuat tekan dengan bertambahnya kadar semen, tetapi peningkatannya lebih rendah dibandingkan gradasi batas tengah. Hal ini disebabkan oleh distribusi agregat yang lebih kasar dan masih terdapat rongga antarbutir yang cukup besar sehingga penambahan semen belum sepenuhnya mengatasi kondisi campuran yang kurang padat.

Secara keseluruhan, gradasi agregat dan kadar semen saling memengaruhi kinerja CTB. Meskipun kadar semen 5% menghasilkan kuat tekan tertinggi, gradasi batas tengah dengan kadar semen 4% direkomendasikan sebagai kombinasi yang lebih efisien karena telah memenuhi persyaratan.

Referensi

- Asrie, A., dkk. (2024). Pengaruh variasi kadar semen terhadap kuat tekan *Cement Treated Base (CTB)*. Betarokhmah, N. A. (2023). Pengaruh kadar semen dan variasi gradasi agregat pada campuran lapis fondasi agregat semen terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas.
- Fuller, W. B., & Thompson, S. E. (1907). *The laws of proportioning concrete*. Transactions of the American Society of Civil Engineers.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design (2nd ed.)*. Pearson Prentice Hall.
- Lestari, U. S., Yasruddin, Prakoso, P. B., Markawie, Rahman, F., & Rahmah, M. R. H. (2025). Analisis penggunaan bahan lokal sebagai lapis pondasi agregat semen (CTB) kelas B untuk perkerasan jalan.
- Kurnia, R. D. I., Suhaimi, S., Ismy, R., & Mukhlis, M. (2024). Pengaruh variasi kombinasi agregat campuran terhadap gradasi dan kuat tekan beton K-250.
- Rorong, C. (2022). Desain campuran *Cement Treated Base (CTB)* dengan menggunakan agregat Quarry Lolak.
- Sukirman, S. (2010). Perkerasan jalan raya.