



Pengaruh Variasi Kadar Semen Terhadap Kuat Tekan *Cement Treated Base* (CTB)

Lindsay N. S. Limbong^{#a}, Theo K. Sendow^{#b}, Steve Ch. N. Palenewen^{#c}

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

Abstrak

Lapis pondasi (base course) berperan penting dalam menahan dan menyalurkan beban lalu lintas pada struktur perkerasan jalan. Salah satu material alternatif yang dapat digunakan sebagai lapis pondasi adalah Cement Treated Base (CTB), yaitu agregat yang distabilisasi dengan semen untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran, nilai kuat tekan dan pengaruh variasi kadar semen 3%, 4%, 5%, dan 6% menggunakan agregat dari Quarry Kakaskasen. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan gradasi gabungan hasil pendekatan Fuller (63% agregat kasar dan 37% agregat halus) pada kadar air pencampuran 8%, dipadatkan, kemudian dirawat (curing) selama 28 hari sebelum diuji menggunakan Compression Testing Machine. Proporsi campuran pada berat total 12.000 gram per benda uji menghasilkan berat semen sebesar 360 gram (3%), 480 gram (4%), 600 gram (5%), dan 720 gram (6%). Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan bebas meningkat secara konsisten seiring bertambahnya kadar semen, yaitu 76,85 kg/cm² (3%), 111,22 kg/cm² (4%), 135,93 kg/cm² (5%), dan 164,14 kg/cm² (6%). Kadar semen 6% menghasilkan kuat tekan tertinggi dan ditetapkan sebagai kadar semen optimum pada rentang penelitian 3%-6%.

Kata kunci: Cement Treated Base, kadar semen, kuat tekan bebas, agregat, quarry Kakaskasen

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan berperan penting dalam mendukung kelancaran aktivitas suatu daerah. Salah satu komponen utama perkerasan jalan adalah lapisan pondasi (base course), yang berfungsi menahan dan menyalurkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya. Salah satu material alternatif untuk lapis pondasi adalah Cement Treated Base (CTB), yaitu agregat yang distabilisasi dengan semen guna meningkatkan kekuatan dan kestabilan pondasi. Kadar semen pada campuran CTB sangat memengaruhi kinerjanya. Semakin tinggi kadar semen, semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Sebaliknya, kadar semen yang terlalu rendah menghasilkan kuat tekan yang tidak memadai untuk menahan beban lalu lintas sedang hingga berat. Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) menetapkan kadar semen untuk Lapis Fondasi Agregat Semen Kelas A berkisar 3%-5% dari berat kering agregat, namun kadar optimumnya sangat bergantung pada karakteristik dan gradasi material pada masing-masing lokasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran CTB pada penambahan kadar semen 3%, 4%, 5%, dan 6% terhadap berat total campuran serta mengetahui pengaruh variasi kadar semen tersebut terhadap kuat tekan bebas CTB menggunakan agregat dari Quarry Kakaskasen. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai kadar semen yang menghasilkan kuat tekan tertinggi untuk kondisi material dan metode pengujian yang digunakan, sekaligus menjadi referensi bagi pemanfaatan material lokal Sulawesi Utara pada konstruksi lapis pondasi jalan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado. Material yang digunakan terdiri atas agregat dari Quarry Kakaskasen, Semen PPC, dan air. Sebelum

digunakan, agregat terlebih dahulu diuji karakteristiknya, meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, serta keausan (abrasi) dengan mesin Los Angeles, mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 5. Benda uji berbentuk silinder dibuat dengan mencampurkan agregat, semen, dan air sesuai proporsi rencana, kemudian dipadatkan sebanyak 145 tumbukan per lapisan pada 5 lapisan di dalam cetakan. Setiap benda uji dirawat (curing) dengan metode perendaman selama 28 hari, kemudian diuji kuat tekan bebasnya menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) hingga benda uji hancur. Setiap variasi kadar semen diwakili oleh 3 (tiga) benda uji, dan nilai kuat tekan yang dilaporkan merupakan nilai rata-rata dari ketiga sampel tersebut. Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata kuat tekan bebas setiap variasi kadar semen, menyusun grafik hubungan kadar semen dan kuat tekan, serta menentukan kadar semen optimum berdasarkan nilai kuat tekan tertinggi pada rentang penelitian 3%-6%.

2.1 Lokasi Penelitian dan Pengambilan Material



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material
(Sumber: Google Map, 2026)

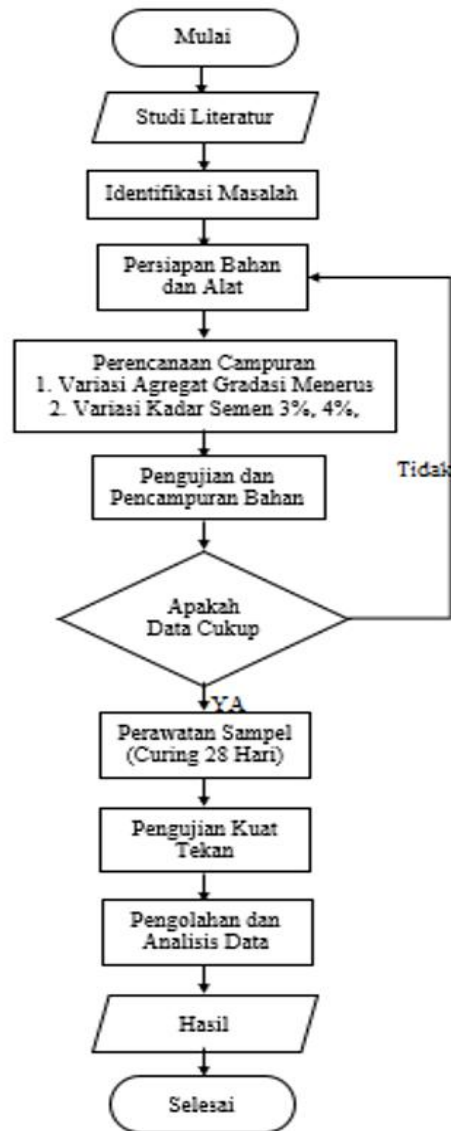


Gambar 2. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Map, 2026)

Pengambilan agregat yang digunakan diperoleh dari Kakaskasen Satu, Kec. Tomohon Utara, Kota Tomohon, Sulawesi Utara. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai dengan tahapan berikut,



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Jumlah Benda Uji

No.	Perlakuan	Jumlah
1.	Kadar Semen 3%	3
2.	Kadar Semen 4%	3
3.	Kadar Semen 5%	3
4.	Kadar Semen 6%	3
Total Benda Uji		12

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya diolah sesuai dengan jenis pengujian. Seluruh data yang diperoleh kemudian disajikan dalam tabel dan grafik agar tersusun rapi. Dengan demikian hasil pengujian yang diperoleh dapat dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini mencakup kuat tekan bebas, pengaruh tiap kadar semen, perbandingan tiap kadar semen, dan kadar semen optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penyajian Hasil

Sebelum digunakan material diuji terlebih dahulu untuk memeriksa apakah material yang akan digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 dan Standar Nasional Indonesia.

Pemeriksaan material meliputi pemeriksaan abrasi, berat jenis dan analisa saringan. Proses penelitian dilakukan di laboratorium perkerasan jalan Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Abrasi

No	Ukuran Saringan		Indeks	Sample
	Lolos	Tertahan		I
				Berat (gr)
4	1 1/2"	1"		1251,1
5	1"	3/4"		1254,5
6	3/4"	1/2"		1250,8
7	1/2"	3/8"		1251,2
11	Total		A	5007,6
12	Tertahan #12 (100 Putaran)		B	4384,5
13	Keausan 100 Putaran (%)		(A-B)/A *100	12,44308651
15	Tertahan #12 (400 Putaran)		C	3046,9
16	Keausan 500 Putaran (%)		(A-C)/A *100	39,15

Pengujian abrasi dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles, yaitu alat untuk menguji ketahanan agregat terhadap keausan. Semakin kecil nilai abrasi yang dihasilkan, maka semakin baik kualitas agregat. Hal itu dikarenakan tingkat ketahanan agregat yang tinggi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air (Agregat Kasar)

No	Pengujian	Indeks	Sample		Rata- Rata
			I	II	
1	Berat Sample Dalam Air (gr)	A	2907,5	2907,6	-
2	Berat Sample SSD (gr)	B	5105,4	5102,3	-
3	Berat Sample OD (gr)	C	4964,9	4960,7	-
4	Berat Jenis Bulk (S_d) (gr/cc)	$C/(B-A)$	2,259	2,260	2,260
5	Berat Jenis SSD (S_s) (gr/cc)	$B/(B-A)$	2,323	2,325	2,324
6	Berat Jenis Semu (S_a) (gr/cc)	$C/(C-A)$	2,413	2,416	2,415
7	Penyerapan Air (S_w) (%)	$(B-C)/C * 100$	2,830	2,854	2,842

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air menunjukkan bahwa agregat kasar tersebut memiliki kualitas yang baik karena hasil pengujiannya tidak melewati batas maksimum. Nilai yang didapatkan tidak boleh melebihi persyaratan yaitu pada nilai 3%.

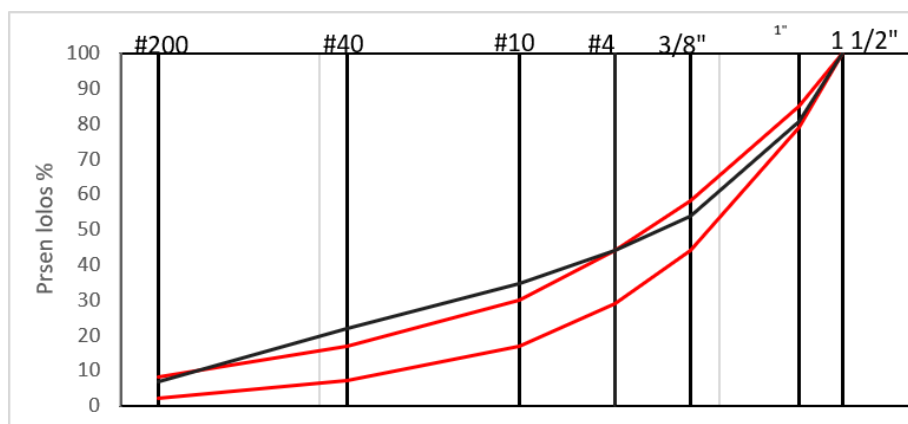
Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air (Agregat Halus)

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	470,9	481,9	-
3	Berat Piknometer + Air (gr)	B	685,9	678,2	-
4	Berat Piknometer + Sample + Air (gr)	C	944,6	943,8	-
5	Berat Jenis Bulk (S_d) (gr/cc)	$A/(B+S-C)$	1,952	2,056	2,004
6	Berat Jenis SSD (s_s) (gr/cc)	$S/(B+S-C)$	2,072	2,133	2,103
7	Berat Jenis Semu (S_a) (gr/cc)	$A/(B+A-C)$	2,219	2,228	2,224
8	Penyerapan Air (S_w) (%)	$(S-A)/A*100$	6,180	3,756	4,968

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus menunjukkan hasil penyerapan air sebesar 4,968% yang artinya tidak melewati batas maksimum. Nilai maksimum untuk agregat halus adalah 5%.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

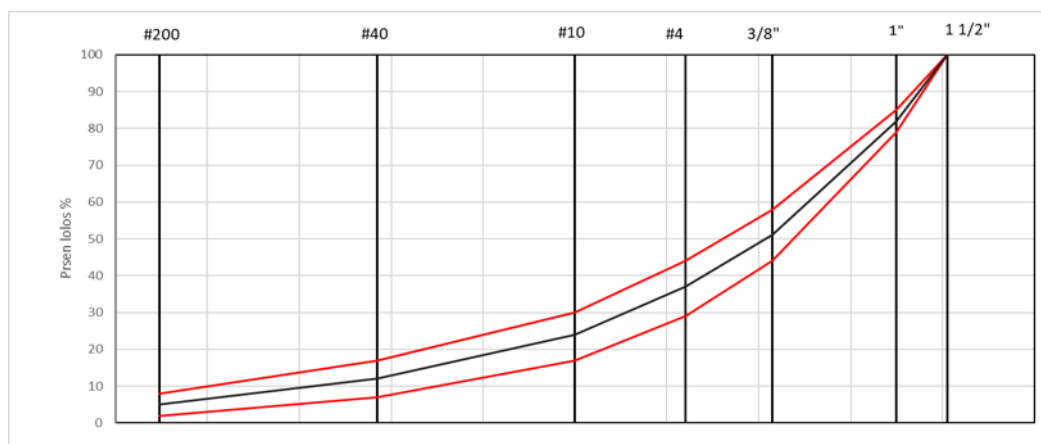
ANALISA SARINGAN MATERIAL AGREGAT					
Jenis material		:	Bahan Material LPA Kelas A		
Sumber material		:	Kakaskasen		
Berat awal		A	=	5000 gr	
		B	=		
Ukuran ayakan		Benda uji A			
		Berat Tertahan (gr)		Persentase tertahan (%)	persentase lolos (%)
ASTM (inchi)	Metrik (mm)	Per ayakan	kumulatif		
1 1/2"	37,500	0	0	0	100
1"	25,000	964,7	964,7	19,29	80,71
3/8"	9,500	1348,5	2313,2	46,26	53,74
No.4	4,750	489,8	2803	56,06	43,94
No.10	2,000	465,5	3268,5	65,37	34,63
No.40	0,425	645,5	3914	78,28	21,72
No.200	0,075	753,4	4667,4	93,35	6,65
<#200	Pan	330,9	4998,3	99,97	0,03

**Gambar 4.** Grafik Analisa Saringan

Berdasarkan hasil pada tabel dan grafik, dapat dilihat bahwa pada ayakan No.10 dan No.40 belum memenuhi Spesifikasi. Persentase lolosnya melebihi batas yang ditetapkan, sehingga dilakukan penyusunan ulang melalui metode *Fuller*.

Tabel 6. Perhitungan Fuller

Fuller									
Berat Total Campuran			gr	6000,00					
Berat Total Agregat			gr	6000,00					
Ukuran Ayakan		% Lolos	% Tertahan	Fraksi Agregat (gr)			Semen (PC)	Persentase Agregat	
ASTM (inch)	Metrik (mm)			Kasar	Sedang	Halus			
2"	50,000	100,00	0,00	1080,00			6000,00	3780,00	63,0
1 1/2"	37,500	100,00	0,00						
1"	25,000	82,00	18,00						
3/8"	9,500	51,00	31,00						
# 4	4,750	37,00	14,00		1860,00			2220,00	37,0
# 10	2,000	24,00	13,00		840,00				
# 40	0,425	12,00	12,00						
# 200	0,075	5,00	7,00						
Pan	-		5,00					780,00	
								720,00	
							420,00		
					300,00				
KONTROL				Berat Total Agregat (Gr)			6000,00	6000,00	100
				Berat Total Campuran (Gr)			60000,00		

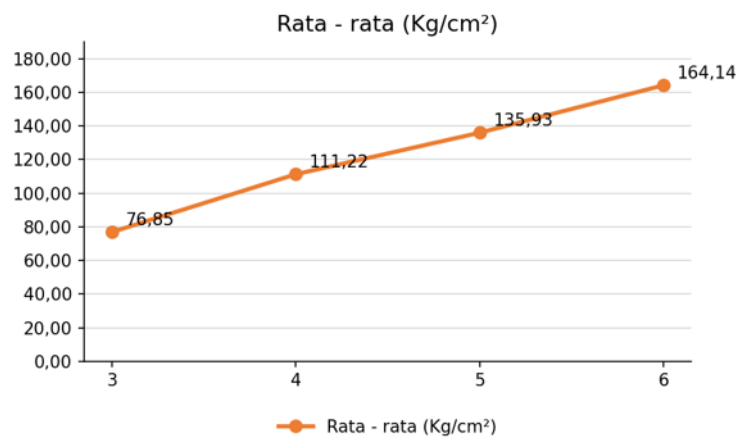
**Gambar 5.** Grafik Fuller

Agar seluruh ayakan memenuhi spesifikasi, maka dilakukan penyusunan dengan metode fuller. Proporsi yang dihasilkan adalah 63% agregat kasar dan 37% agregat halus. Penyusunan tersebut menghasilkan kurva yang berada didalam batas spesifikasi pada seluruh ukuran ayakan sehingga agregat dinyatakan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kadar air = 8%				
Kadar Semen (%)	Sampel 1 (Kg/cm ²)	Sampel 2 (Kg/cm ²)	Sampel 3 (Kg/cm ²)	Rata - rata (Kg/cm ²)
3	78,92	74,74	76,83	76,83
4	110,54	101,97	119,55	110,68
5	137,25	134,60	135,93	135,93
6	183,55	144,70	164,12	164,12

Sebelum diuji, benda uji dicuring dengan metode perendaman selama 28 hari. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder menggunakan mesin *Compression Testing Machine* (CTM). Pengujian Kuat Tekan bebas dilakukan untuk mengetahui besarnya kemampuan campuran CTB dalam menahan beban. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh nilai kuat tekan dari masing-masing benda uji.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar Semen dan Kuat Tekan Bebas

3.2 Analisis dan Pembahasan

Pada pengujian berat jenis, agregat kasar memiliki nilai penyerapan sebesar 2,842%, yang berada di bawah batas maksimum 3%. Selanjutnya, agregat halus memiliki nilai penyerapan sebesar 4,968% dan tidak melebihi batas maksimum 5%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari quarry kakaskasen memiliki penyerapan yang tergolong baik. Pada pengujian keausan dengan mesin Los Angeles, nilai keausan agregat kasar pada 500 putaran diperoleh sebesar 39,15%, batas yang ada pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 adalah 40%. Dengan demikian, agregat asal Quarry Kakaskasen yang diuji memenuhi persyaratan ketahanan aus untuk digunakan sebagai bahan Lapis Pondasi Agregat, Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa gradasi asli agregat belum sepenuhnya memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, khususnya pada ayakan No. 10 dan No. 40 yang persentase lolosnya melebihi batas atas yang disyaratkan. Kondisi ini mengindikasikan proporsi butiran halus pada agregat asli sedikit berlebih, sehingga dilakukan penyusunan ulang melalui metode Fuller dengan proporsi 63% agregat kasar dan 37% agregat halus. Hasil penyusunan tersebut menghasilkan kurva yang berada di dalam batas spesifikasi pada seluruh ukuran ayakan sehingga agregat dinyatakan layak digunakan sebagai bahan penyusun CTB setelah proses penggabungan. Gradasi yang telah disusun dengan proporsi 63% agregat kasar dan 37% agregat halus menghasilkan struktur butiran yang lebih rapat dibandingkan gradasi asli.

Nilai rata-rata kuat tekan bebas yang diperoleh berkisar antara 76,83 kg/cm² (kadar semen 3%), 110,68 kg/cm² (kadar semen 4%), 135,93 kg/cm² (kadar semen 5%) dan 164,12 kg/cm² (kadar semen 6%). Berdasarkan pola tersebut, kadar semen 6% ditetapkan sebagai kadar semen optimum pada rentang penelitian 3%-6%, karena menghasilkan kuat tekan tertinggi di antara seluruh variasi yang diuji. Penetapan ini berlaku pada material Quarry Kakaskasen, gradasi gabungan Fuller, kadar air pencampuran 8%, metode pemadatan, dan kondisi curing yang digunakan dalam penelitian, dan tidak dimaksudkan sebagai penetapan kadar semen CTB yang berlaku secara umum maupun sebagai pengganti ketentuan job mix design dan persyaratan material LFAS yang berlaku. Karena kuat tekan masih terus meningkat hingga batas atas rentang penelitian (6%), belum dapat dipastikan apakah 6% merupakan titik jenuh sesungguhnya atau kuat tekan masih berpotensi meningkat lebih tinggi pada kadar semen di atas 6%, sehingga diperlukan penelitian lanjutan dengan rentang kadar semen yang lebih luas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Agregat asli dari Quarry Kakaskasen belum sepenuhnya memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada ayakan No.10 dan No.40, sehingga disusun ulang melalui pendekatan Fuller dengan proporsi 63% agregat kasar dan 37% agregat halus. Hasil penggabungan ini memenuhi batas gradasi pada seluruh ukuran ayakan. Pengujian sifat fisik menunjukkan agregat kasar memiliki penyerapan 2,842% dan keausan Los Angeles 39,15%

- (batas maksimum 40%), sedangkan agregat halus memiliki penyerapan 4,968% (batas maksimum 5%); dengan demikian material dinyatakan memenuhi persyaratan yang diacu untuk digunakan sebagai bahan campuran CTB
2. Proporsi campuran CTB menggunakan kadar air pencampuran 8% dengan berat total campuran 12.000 gram per benda uji. Rincian tiap variasi: kadar semen 3% (agregat 11.640 g, semen 360 g), 4% (agregat 11.520 g, semen 480 g), 5% (agregat 11.400 g, semen 600 g), dan 6% (agregat 11.280 g, semen 720 g).
 3. Sesuai dengan tujuan penelitian kedua, hasil pengujian kuat tekan bebas pada umur curing 28 hari menunjukkan peningkatan yang konsisten seiring bertambahnya kadar semen, yaitu 76,85 kg/cm² (3%), 111,22 kg/cm² (4%), 135,93 kg/cm² (5%), dan 164,14 kg/cm² (6%). Meskipun laju kenaikannya tidak seragam, kuat tekan tetap meningkat hingga kadar semen tertinggi yang diteliti.
 4. Kadar semen 6% menghasilkan kuat tekan tertinggi dan ditetapkan sebagai kadar semen optimum dalam rentang penelitian 3%–6%. Penetapan ini berlaku khusus untuk material Quarry Kakaskasen, gradasi Fuller, kadar air 8%, metode pemadatan, dan kondisi curing yang digunakan pada penelitian ini, dan bukan merupakan penetapan kadar semen CTB yang berlaku umum.

Referensi

- Asrie, A., dkk. (2024). Pengaruh variasi kadar semen terhadap kuat tekan *Cement Treated Base* (CTB). Rio Lukman KS., & Suhendra. (2018). Pengaruh variasi gradasi pada agregat terhadap nilai kuat tekan *Cement Treated Base* (CTB). *Jurnal Talenta Sipil*, 1(2).
- Suryanata. (2021). Pengaruh variasi kadar semen terhadap kuat tekan CTB. *Jurnal Infrastruktur dan Konstruksi*.
- Waleleng, J. M. B., Waani, J. E., & Jansen, F. (2020). Pengaruh substitusi pozolan alam terhadap sifat fisik dan kinerja dalam campuran CTB.
- Lonteng, F. O., Kaseke, O. H., Manoppo, M. R. E., & Palenewen, S. C. N. (2019). Kajian pengaruh fluktuasi gradasi terhadap penggunaan kadar semen pada campuran *Cement Treated Base* (CTB). *Jurnal Sipil Statik*, 7(5).
- Muldiyanto, A., Purwanto., Wiguna, E., & Satriawan, M. B. (2021). Pengaruh variasi kadar semen terhadap kuat tekan beton *Cement Treated Base* (CTB). *Prosiding CEEDRIMS 2021*.
- Hartopo, I. S., Manurung, E. H., & Prajoko, A. (2023). Analisa perkerasan jalan flexible pavement dengan metode CTB mix in situ.
- Lestari, U. S., Yasruddin, Prakoso, P. B., Markawie, Rahman, F., & Rahmah, M. R. H. (2021). Analisis penggunaan bahan lokal sebagai lapis pondasi agregat semen (CTB) kelas B.
- Hadijah, I., & Atmoko, B. T. (2022). Analisis kekuatan *Cement Treated Base* daerah Lampung sebagai lapis pondasi atas landasan pacu bandara. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 7(1).
- Bina Marga. (2018). Spesifikasi umum 2018 revisi 2, Divisi 5: Perkerasan berbutir dan perkerasan beton semen. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.