

# KAJIAN PENGARUH FLUKTUASI GRADASI TERHADAP PENGGUNAAN KADAR SEMEN PADA CAMPURAN CEMENT TREATED BASE (CTB)

Fani Oktavian Lonteng

Oscar H. Kaseke, Mecky R.E. Manoppo, Steve Ch. N. Palenewen

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email : [fanilonteng2013@gmail.com](mailto:fanilonteng2013@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini akan mengkaji dampak yang disebabkan oleh fluktuasi gradasi agregat terhadap penggunaan kadar semen pada campuran CTB serta mengetahui penggunaan kadar semen akibat dari fluktuasi gradasi yang terjadi karena pada proses pencampuran agregat di lapangan kemungkinan fluktuasi gradasi agregat dapat saja terjadi.

Metode penelitian bersifat *research* di laboratorium, serta berpedoman pada rujukan yang dibuat oleh PUSLITBANG Jalan dan Jembatan SNI 8141: 2015 (Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen-LFAS). Adapun pengujian terhadap agregat seperti keausan agregat, berat jenis agregat, analisa saringan, batas cair, batas plastis, serta nilai indeks plastis. Pengujian terhadap campuran CTB dilakukan pengujian UCS (*unconfined compressive strength*) dan CBR (*california bearing ratio*) di laboratorium (menggunakan semen dan tidak menggunakan).

Berdasarkan komposisi perbandingan agregat kasar dan agregat halus pada masing-masing gradasi agregat, diperoleh gradasi (satu) dengan perbandingan 48% dan 52%, gradasi (dua) 63% dan 37%, gradasi (tiga) 77% dan 23%. Hasil pengujian pemadatan berat (*modified Proctor test*) di laboratorium masing-masing komposisi gradasi agregat diperoleh nilai kadar air optimum (*Wopt*) dan berat isi kering maksimum (*γ<sub>d</sub>maks*) pada gradasi (satu) 8,50% dan 1,981 gr/cm<sup>3</sup>, gradasi (dua) 7,80% dan 2,009 gr/cm<sup>3</sup>, gradasi (tiga) 7,20% dan 1,992 gr/cm<sup>3</sup>. Masing-masing gradasi agregat dibuat komposisi campuran CTB menggunakan 5 variasi kadar (3% - 5%). Pengujian UCS ditinjau pada tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup>, diperoleh kadar semen pada gradasi (satu) 4,85%, gradasi (dua) 3,55%, gradasi (tiga) 4,50%. Pengujian CBR di laboratorium (tidak menggunakan semen) menunjukkan penurunan nilai daya dukung apabila perbandingan agregat halus lebih banyak dari agregat kasar, setelah (menggunakan semen) terjadi peningkatan nilai daya dukung campuran diperoleh hasil gradasi (satu) 75,29% menjadi 141,04%, gradasi (dua) 99,11% menjadi 214,43%, gradasi (tiga) 105,78% menjadi 251,59%.

Fluktuasi gradasi agregat menyebabkan bertambahnya penggunaan kadar semen pada campuran CTB yang berada pada 0,95% - 1,30%. Fluktuasi gradasi agregat juga berpengaruh pada daya dukung agregat itu sendiri, jika perbandingan persentase agregat halus lebih banyak terhadap agregat kasar akan memberikan daya dukung yang semakin rendah.

**Kata kunci :** CTB, Fluktuasi, gradasi, agregat.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Jenis perkerasan CTB (*cement treated base*) adalah lapis pondasi atas (*base course*) pada perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang merupakan pengembangan dari pondasi tanah semen (*soil cement base*). Walaupun cara pembuatan dan hasil akhirnya berupa campuran beton, namun jenis perkerasan CTB bukan merupakan pengembangan dari perkerasan beton semen (*rigid pavement*).

Campuran CTB adalah kombinasi campuran antara agregat, semen, dan air yang diperoleh melalui proses pengujian terhadap agregat, perancangan komposisi campuran dan pengujian terhadap campuran CTB di laboratorium. Dikarenakan penggunaan semen sebagai bahan pengikat, jenis perkerasan ini dapat dikatakan lebih mahal dari *base course* biasa sehingga perlu dilakukan rancangan komposisi serta pengujian di laboratorium terlebih dahulu untuk menentukan perkiraan penggunaan kadar semen.

Gradasi agregat merupakan salah satu parameter terpenting pada proses rancangan campuran CTB. Pada proses pencampuran agregat di lapangan dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode pencampuran ditempat (*mix in place method*) dan metode pencampuran terpusat (*central mixing plant method*), adapun pada metode pencampuran terpusat (*central mixing plant method*) memiliki dua cara yaitu instalasi menggunakan alat berat sebagai pemasok agregat dan instalasi menggunakan penampungan dengan bukaan pintu *cold bin* pada *belt conveyor*.

Kedua metode pencampuran diatas dapat memungkinkan terjadinya fluktuasi gradasi agregat yang disebabkan seperti penggunaan agregat yang digunakan berbeda susunan gradasinya dengan agregat yang ditentukan, jika digunakan instalasi alat berat sebagai pemasok agregat tidak selalu pada volume yang tetap, apabila digunakan instalasi menggunakan penampungan dengan bukaan pintu *cold bin* pada *belt conveyor* tidak dilakukan kalibrasi sesuai dengan rancangan komposisi, serta penghambaran dilapangan yang tidak merata karena pada proses pencampuran agregat di lapangan kemungkinan fluktuasi gradasi agregat dapat saja terjadi.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan bahasan diatas, penelitian ini akan mengkaji dampak yang disebabkan oleh fluktuasi gradasi agregat terhadap penggunaan kadar semen pada campuran CTB untuk mengetahui perkiraan penggunaan kadar semen yang terjadi akibat dari fluktuasi gradasi agregat karena pada proses pencampuran agregat di lapangan kemungkinan fluktuasi gradasi agregat dapat saja terjadi, maka akan dilakukan penelitian di laboratorium dengan cara seperti berikut:

- Menentukan berbagai variasi gradasi agregat serta memperkirakan kemungkinan fluktuasi gradasi agregat yang dapat terjadi.
- Melakukan pengujian terhadap agregat, perancangan komposisi campuran CTB, serta pengujian terhadap campuran CTB.
- Melakukan analisis data keseluruhan serta memberikan dampak yang disebabkan apabila pada campuran CTB mengalami fluktuasi gradasi agregat dan memberikaan perkiraan penggunaan persentase kadar semen yang terjadi.

### Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi seperti berikut:

- Hanya dilakukan melalui pengujian di laboratorium, dan tidak dilanjutkan penghambaran ataupun pengujian di lapangan.
- Penelitian ini berpedoman pada rujukan yang dibuat oleh PUSLITBANG Jalan dan Jembatan SNI 8141: 2015 (Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen-LFAS).
- Agregat yang digunakan adalah agregat lokal, yakni material LPA (*base course*) lolos ayakan ukuran 1½ *inch*, yang diambil dari salah satu *crushing plant* di Kota Tomohon Kabupaten Minahasa.
- Semen PC (*portland cement*) Tonasa, dan air bersih sebagai pemicu reaksi kimiawi terhadap semen.
- Akan ditinjau pada pengujian UCS (*unconfined compressive strength*) dari berbagai komposisi gradasi agregat campuran CTB pada tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup>.
- Pengujian CBR (*california bearing ratio*) dilakukan dengan dua cara yaitu (menggunakan semen dan tidak menggunakan semen), hal ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai daya dukung dari berbagai komposisi gradasi agregat itu sendiri serta mengetahui dampak dari penggunaan semen.

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Memberikan pengaruh yang disebabkan oleh fluktuasi gradasi agregat pada campuran CTB terhadap penggunaan kadar semen.
- Memberikan perkiraan penggunaan kadar semen akibat dari fluktuasi gradasi agregat yang terjadi.
- Mengetahui pengaruh yang disebabkan dari fluktuasi gradasi agregat terhadap nilai daya dukung agregat.

### Manfaat Penelitian

- Dapat memberikan pertimbangan apabila menggunakan agregat yang sama dengan penelitian ini.
- Dapat menjadi acuan bahwa pentingnya gradasi agregat pada campuran CTB.
- Dapat menjadi dasar penelitian lanjutan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan parameter terpenting pada suatu kombinasi campuran. Gradasi agregat adalah susunan ukuran butir

agregat yang diperoleh melalui proses pengujian analisa saringan di laboratorium, sehingga membentuk suatu susunan yang mewakili keadaan yang sebenarnya. Gradasi agregat juga dapat diperoleh dari kombinasi beberapa ukuran agregat sehingga dapat memberikan suatu susunan yang ditentukan.

Gradasi agregat dapat dikatakan sangat mempengaruhi mutu akhir dari suatu campuran konstruksi lapisan perkerasan jalan, gradasi agregat yang baik dapat memberikan nilai stabilitas baik, permeabilitas cukup, berat volume yang baik, serta rongga pori yang sedikit dengan kondisi agregat saling mengunci (*interlocking*) dari masing-masing ukuran agregat. Kurva atau lengkung *fuller* merupakan kondisi dimana susunan gradasi agregat berada pada keadaan yang paling ideal dari ketentuan spesifikasi. Agregat bergradasi baik atau buruk dapat diperiksa dengan menggunakan rumus *fuller* seperti berikut:

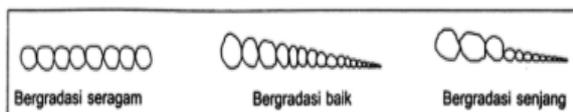
$$P = 100 \left( \frac{d}{D} \right)^n$$

Dimana:

- P = Persen lolos ayakan
- D = Ukuran agregat maksimum
- d = Ukuran agregat yang diperiksa
- n = Angka koefisien 0.4 – 0.5

Agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat beberapa gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk seperti:

- a. Agregat bergradasi seragam adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering juga dinamakan agregat bergradasi terbuka.
- b. Agregat bergradasi terbuka adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.
- c. Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.



Gambar 1. Rentang ukuran butir pada gradasi agregat.

Sumber: Sukirman, 2003

Secara umum, terdapat perbedaan yang mendasar dari sifat-sifat campuran agregat bergradasi baik dan buruk seperti berikut:

Tabel 1. Sifat-sifat gradasi agregat.

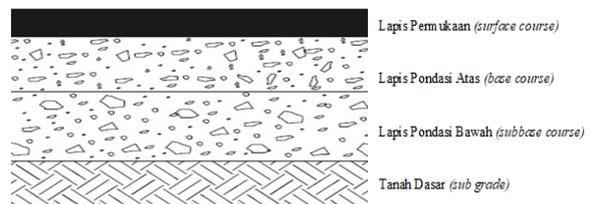
Sifat	Agregat bergradasi buruk	Agregat bergradasi baik
Stabilitas	buruk	baik
Permeabilitas	baik	buruk
Tingkat kepadatan	buruk	baik
Rongga pori	besar	sedikit

Sumber: Sukirman, 2003

## Perkerasan Jalan Raya

### Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Susunan konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) dapat digambarkan seperti:

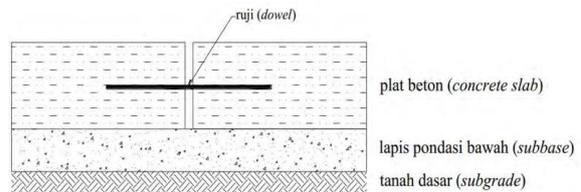


Gambar 2. Susunan lapisan konstruksi perkerasan lentur.

Sumber: Sukirman, 1990

### Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Susunan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dapat digambarkan seperti:

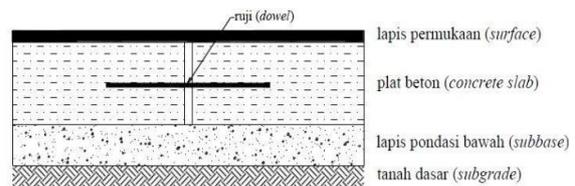


Gambar 3. Susunan lapisan konstruksi perkerasan kaku.

Sumber: Sukirman, 1990

### Composite pavement (*gabungan keduanya*)

Susunan konstruksi *composite pavement* dapat digambarkan seperti :



Gambar 4. Susunan lapisan konstruksi composite pavement.

Sumber: Sukirman, 1990

**Jenis Perkerasan CTB (*Cement treated base*)**

Kerusakan jalan menunjukkan suatu kondisi dimana struktural dan fungsional jalan sudah tidak mampu memberikan pelayanan optimal terhadap lalu lintas yang melintasi jalan tersebut. Pondasi jalan harus tetap stabil, karena merupakan dasar penopang seluruh beban yang bekerja pada jalan.

Jenis perkerasan CTB merupakan kombinasi campuran antara material agregat, semen, dan air dengan rancangan komposisi yang diperoleh melalui proses pemeriksaan dan pengujian di laboratorium. Kualitas dan kekuatan dari campuran CTB dirasa jauh lebih baik dari pada material lapis pondasi atas (*base course*) biasa, sehingga jenis perkerasan CTB dapat meminimalisir dampak kerusakan struktural pada konstruksi jalan.



Gambar 5. Perkerasan lentur pada permukaan tanah asli.

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan.

**Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen (LFAS)**

Spesifikasi ini berisi batasan kriteria yang diijinkan pada lapis fondasi agregat semen. Lapis fondasi agregat semen dibagi menjadi 2 (dua) kelas, yaitu LFAS-A menggunakan agregat Kelas A dan LFAS-B menggunakan agregat Kelas B. LFAS-A dikenal juga dengan istilah *cement treated base* (CTB) sedangkan LFAS-B dikenal juga dengan istilah *cement treated sub base* (CTSB). Bahan pengikat yang digunakan dapat jenis semen *portland* atau portland pozolan atau Semen *portland* komposit. Setelah melalui proses pencampuran, pembasahan dan pemadatan dapat memberikan kekuatan dengan kepadatan yang cukup untuk digunakan sebagai lapis fondasi pada perkerasan jalan. Penggunaan LFAS-B selain digunakan untuk fondasi jalan dapat juga digunakan untuk bahu jalan.

Penentuan kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) dan kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) agregat dengan semen ditentukan berdasarkan dari hasil percobaan pemadatan berat (*modified Proctor test*) di laboratorium sesuai SNI 1743: 2008 metode D dengan menggunakan bahan pengganti untuk ukuran agregat tertahan ayakan atas 19 mm

(3/4 inch) sesuai Pd T-04-1998. Kadar semen ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan pada keadaan kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) dan kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) agregat dengan semen. Kekuatan campuran didasarkan atas kuat tekan benda uji pada umur 7 hari yang dibuat dengan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Tabel 2. Gradasi lapis fondasi agregat semen (LFAS).

Ukuran ayakan		Persen berat yang lolos (%)	
		LFAS-A	LFAS-B
2"	50 mm		100
1 1/2"	37,5 mm	100	88-95
1"	25,0 mm	79-85	70-85
3/8"	9,50 mm	44-58	30-65
No. 4	4,75 mm	29-44	25-55
No. 10	2,0 mm	17-30	15-40
No. 40	0,425 mm	7-17	8-20
No. 200	0,075 mm	2-8	2-8

Sumber : SNI 8141:2015

Tabel 3. Sifat-sifat lapis fondasi agregat semen (LFAS).

Uraian persyaratan	Standar	LFAS-A	LFAS-B
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417:2008	Maks. 40%	Maks. 40%
Butiran/partikel pecah, tertahan ayakan 3/8 in (9,5 mm)	SNI 7619:2012	95/90 <sup>1)</sup>	55/50 <sup>2)</sup>
Batas Cair ( <i>Liquid Limit, LL</i> )	SNI 1967:2008	Maks. 25	Maks. 35
Indeks Plastis ( <i>Plastic Index, PI</i> )	SNI 1966:2008	Maks. 6	Maks. 10
Hasil kali indeks plastis dengan % lolos ayakan no.200		Maks. 25	-
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 5%	Maks. 5%
Perbandingan persen lolos ayakan No.200 dan No.40		Maks. 2/3	Maks. 2/3

<sup>1)</sup> 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih  
<sup>2)</sup> 55/50 menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih

Sumber : SNI 8141 : 2015

**Bahan Campuran CTB (*Cement treated base*)**

Berpedoman pada rujukan yang dibuat oleh PUSLITBANG Jalan dan jembatan SNI 8141 : 2015 (Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen-LFAS), berikut beberapa bahan pembentuk campuran CTB :

**Agregat**

Material agregat yang digunakan harus dibuat sesuai dengan komposisi perbandingan campuran dan memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan, serta gradasi material agregat pada campuran CTB harus dibuat sesuai dengan batasan yang disyaratkan. Fraksi agregat kasar dan agregat halus harus ditumpuk secara terpisah sehingga tidak saling tercampur satu dengan lainnya.

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) dan harus terdiri dari butiran atau pecahan batu atau kerikil yang keras dan awet yang memenuhi persyaratan seperti abrasi/keausan agregat, butir pecah dan gumpalan lempung.

Frakasi agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah halus atau partikel halus lainnya dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm), serta memenuhi persyaratan seperti batas cair, indeks plastis, dan hasil kali indek plastis dengan % lolos ayakan No. 200.

**Semen**

Semen yang digunakan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 15-2049-2004 (Semen *portland*), SNI 15-0302-2004 (Semen *Portland* pozzolan) atau SNI 15-7064-2004 (Semen *Portland* komposit).

**Air**

Fungsi air pada adukan beton adalah untuk memicu proses kimiawi semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dikerjakan. Kualitas air yang digunakan untuk mencampur beton sangat berpengaruh terhadap kualitas beton itu sendiri. Air harus sesuai dengan SNI 03-6817-2002 (Metode pengujian mutu air untuk digunakan dalam beton), harus bebas dari endapan dan dari zat yang merusak. Air yang digunakan untuk mencampur, merawat atau pemakaian-pemakaian yang lain harus bebas dari minyak, garam, asam, alkali, gula, tumbuh-tumbuhan atau bahan-bahan lain yang dapat berpengaruh terhadap hasil akhir.

**Pemadatan di Laboratorium**

Pemadatan laboratorium dimaksudkan untuk menentukan kadar air ( $W_{opt}$ ) dari suatu campuran pada kondisi kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmaks}$ ). Pemadatan ini juga berfungsi sebagai proses untuk meningkatkan besaran daya dukung dari suatu campuran.

Penentuan kepadatan Laboratorium menggunakan SNI 1743 : 2008 metode D dengan menggunakan bahan pengganti untuk ukuran agregat tertahan ayakan 3/4 *inch*.

Adapun pada pemadatan di Laboratorium dibagi atas dua jenis yaitu *standard compaction test* dan *modified compaction test*.

**Standard compaction test**

Pada percobaan pemadatan ini, benda uji di padatkan pada suatu cetakan silinder dengan diameter 4 *inch*, tinggi silinder 4,58 *inch*. Pada percobaan pemadatan jenis ini digunakan penumbuk dengan berat 2.5 kg dan tinggi jatuh penumbuk 12 *inch*.

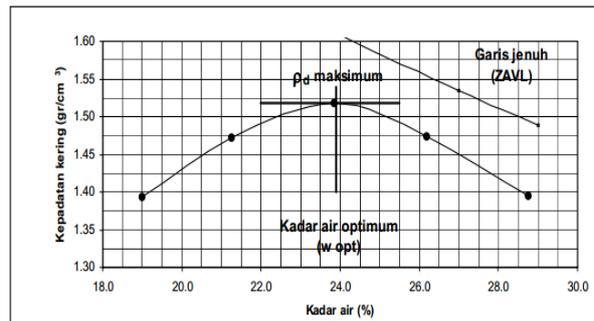
Pada proses pemadatan ini dilakukan dengan tiga lapisan, untuk setiap lapisan dipadatkan

dengan jumlah 25 tumbukan. Pada percobaan ini untuk dapat menentukan kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmaks}$ ) dilakukan dengan beberapa variasi kondisi kadar air ( $W$ ) berdasarkan perkiraan dengan cara coba-coba (*trial and error*).

**Modified compaction test**

Pada jenis pemadatan ini, tidak banyak berbeda dengan cara sebelumnya. Perbedaan pada proses ini berada pada berat penumbuk dengan berat 4.5 kg, dan tinggi jatuh penumbuk 18 *inch*. Pada percobaan ini, untuk jumlah lapisan adalah lima lapis.

Dengan berkembangnya alat-alat pemadatan dilapangan, uji *Proctor standart* harus dimodifikasi untuk dapat lebih mewakili keadaan dilapangan. Untuk pelaksanaan uji *Proctor test modification* digunakan silinder berdiameter 6 *inch*, berat penumbuk 4.5 kg, tinggi jatuh penumbuk 18 *inch*, dan dipadatkan dalam lima lapisan dengan jumlah 56 tumbukan untuk setiap lapisan.



Grafik 1. Prinsip pengujian pemadatan.

Sumber : SNI 1743 : 2008

Tabel 4. Spesifikasi uji pemadatan berat untuk tanah.

Uraian	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D
Diameter cetakan (mm)	101,60	152,40	101,60	152,40
Tinggi cetakan (mm)	116,43	116,43	116,43	116,43
Volume cetakan (cm <sup>3</sup> )	943	2124	943	2124
Massa penumbuk (kg)	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh penumbuk (mm)	457	457	457	457
Jumlah lapis	5	5	5	5
Jumlah tumbukan per lapis	25	56	25	56
Bahan lolos saringan	No. 4 (4,75 mm)	No. 4 (4,75 mm)	19,00 mm (3/4")	19,00 mm (3/4")

Sumber: SNI 1743 : 2008

Penentuan jumlah tumbukan pada benda uji dilakukan dengan pedoman energi pemadatan dari *modified Proctor* yang sudah umum digunakan dalam perencanaan jalan. Energi pemadatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus energi pemadatan seperti berikut:

$$E = \frac{(\text{jumlah tumbukan setiap lapisan}) \times (\text{jumlah lapisan}) \times (\text{berat penumbuk}) \times (\text{tinggi jatuh penumbuk})}{(\text{volume cetakan})}$$

### Persyaratan Kekuatan Campuran

Pemadatan benda uji campuran CTB dilakukan sebanyak lima lapisan ditumbuk 145 tumbukan untuk setiap lapisan dengan berat alat penumbuk 4,50 kg dan tinggi jatuh 45 cm pada cetakan silinder 15 x 30 cm.

Perkiraan penggunaan kadar semen efektif untuk CTB/LFAS-A (3 - 5)% dan CTB/LFAS-B (4 - 6)% sesuai dengan rujukan SNI 8141 : 2015 (Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen-LFAS). Kekuatan campuran didasarkan atas kuat tekan benda uji pada umur 7 hari.

Tabel 5. Persyaratan kekuatan campuran

Jenis lapis fondasi agregat semen	Standar	Kuat tekan pada umur 7 hari (kg/cm <sup>2</sup> )
- LFAS-A	SNI 1974:2011	45-55
- LFAS-B	SNI 1974:2011	35-45

Sumber: SNI 8141 : 2015

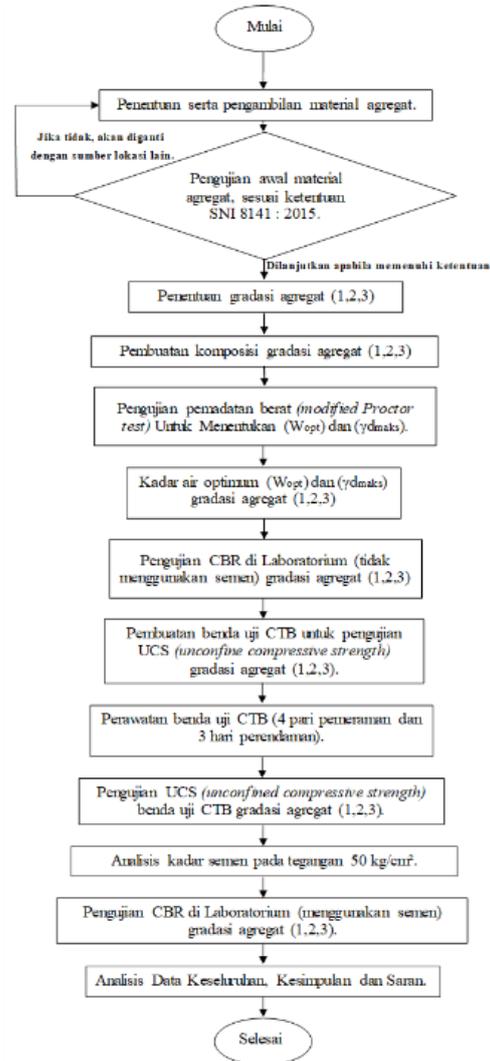
### METODOLOGI PENELITIAN

#### Metode Pelaksanaan

Penelitian ini merupakan *research* di laboratorium. Tempat penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Perkerasan Jalan Raya dan Bandar Udara Fakultas Teknik Unsrat. Agregat yang digunakan adalah material lokal, yakni material LPA lolos ayakan ukuran 1½ inch yang diambil dari salah satu *crushing plant* di Kota Tomohon Kabupaten Minahasa, Semen PC (*portland cement*) yang akan digunakan adalah semen Tonasa, dan air bersih sebagai pemicu reaksi kimiawi terhadap semen.

#### Tahapan Pelaksanaan

- Proses *sampling* material agregat lolos ayakan ukuran 1½ inch dari lokasi sumber *crushing plant*.
- Dilakukan pengujian terhadap agregat, jika memenuhi rujukan yang dibuat oleh PUSLITBANG Jalan dan Jembatan SNI 8141 : 2015 (Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen-LFAS), maka agregat dapat digunakan. Jika tidak, akan diganti dengan agregat dari sumber lokasi lain.
- Dilakukan penentuan gradasi agregat.
- Pembuatan komposisi gradasi agregat berdasarkan berat agregat per ukuran ayakan, komposisi ini dibuat agar dapat memberikan hasil yang maksimal.
- Pada tahapan ini dilakukan pemadatan berat (*modified Proctor test*) di Laboratorium yang mengacu pada rujukan SNI 1743:2008 (Cara uji kepadatan berat untuk tanah) guna



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

- menentukan nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) pada kondisi kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) dari masing-masing komposisi gradasi agregat.
- Dilakukan analisis nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) pada kondisi kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmax}$ ) dari masing-masing komposisi gradasi agregat serta dilanjutkan dengan pengujian CBR di Laboratorium (tidak menggunakan semen) untuk mengetahui nilai daya dukung yang dicapai dari masing-masing komposisi gradasi agregat.
- Dilakukan pembuatan komposisi berat agregat per ukuran ayakan dengan penggunaan kadar semen 3%, 3,5%, 4%, 4,5%, dan 5% berdasarkan nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) masing-masing komposisi gradasi agregat dilanjutkan dengan pemadatan terhadap campuran CTB, pada tahapan ini digunakan

cetakan silinder dengan tinggi 300 mm, diameter 150 mm dan dipadatkan dalam lima lapis, masing-masing lapisan ditumbuk sebanyak 145 tumbukan.

- h. Dilakukan perawatan terhadap benda uji CTB selama tujuh hari (4 x 24 jam pemeraman dan 3 x 24 jam perendaman).
- i. Dilakukan pengujian UCS (*unconfined compressive strength*) pada hari ke 7 di Laboratorium Rekayasa Material Beton Fakultas Teknik, yang mengacu pada SNI 1974 : 2011 (Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder).
- j. Analisis hasil pengujian untuk menentukan kadar semen yang dicapai pada tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup> dari masing-masing komposisi gradasi agregat campuran CTB.
- k. Dilakukan pengujian CBR Laboratorium (menggunakan semen) terhadap masing-masing komposisi gradasi agregat berdasarkan kadar semen dan kadar air yang dicapai.
- l. Analisis data keseluruhan, memberikan kesimpulan dan saran.

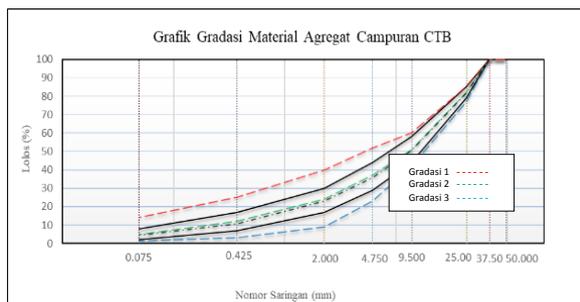
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Penentuan Gradasi Agregat Campuran CTB (Cement treated base)**

Adapun penentuan gradasi agregat dibuat tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat CTB, hal ini dimaksudkan untuk memperkirakan keadaan fluktuasi gradasi agregat yang dapat terjadi dilapangan. Penentuan gradasi agregat berpedoman pada spesifikasi gradasi agregat CTB. Berikut adalah tiga gradasi agregat yang ditentukan.

Tabel 6. Komposisi gradasi agregat CTB

Ukuran ayakan		Gradasi (Satu)	Gradasi (Dua)	Gradasi (Tiga)	Spesifikasi	
ASTM (inch)	Metrik (mm)	Persentase lolos ayakan (%)	Persentase lolos ayakan (%)	Persentase lolos ayakan (%)	Batas maksimum	Batas minimum
2"	50.000	100.00	100.00	100.00	100	100
1 1/2"	37.500	100.00	100.00	100.00	100	100
1"	25.000	85.00	82.00	77.00	85	79
3/8"	9.500	60.00	51.00	42.00	58	44
# 4	4.750	52.00	37.00	23.00	44	29
# 10	2.000	40.00	24.00	9.00	30	17
# 40	0.425	25.00	12.00	3.00	17	7
# 200	0.075	14.00	5.00	1.50	8	2



Grafik 2. Grafik gradasi agregat CTB.

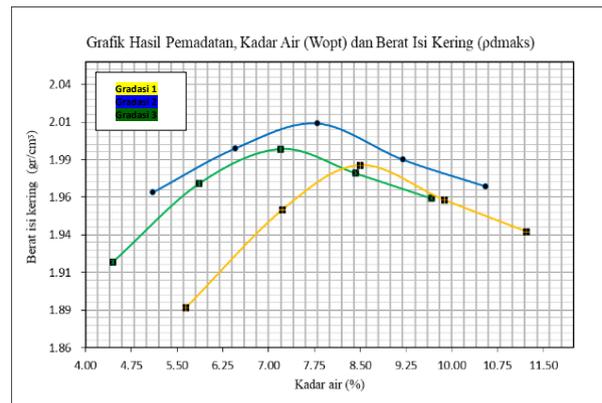
**Pemadatan Berat untuk Penentuan Kadar Air Optimum (Wopt)**

Pemadatan pada penentuan kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) ini dilakukan pada cetakan silinder dengan tinggi 116,4 mm diameter 152,4 mm. Dipadatkan dalam jumlah lima lapisan ditumbuk 56 tumbukan setiap lapisan dengan berat penumbuk 4,5 kg, tinggi jatuh penumbuk 45 cm.

Tabel 7. Komposisi perbandingan agregat kasar dan halus

Gradasi agregat	Persentase ukuran agregat (%)	
	Tertahan # No.4	Lolos # No.4
Gradasi (Satu)	48,00	52,00
Gradasi (Dua)	63,00	37,00
Gradasi (Tiga)	77,00	23,00

Hasil pemadatan berat (*modified Proctor test*) yang telah dilakukan, dibuat hubungan grafik nilai kadar air dan nilai berat isi kering sehingga diperoleh nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) pada kondisi kepadatan maksimum ( $\gamma_{dmaks}$ ) masing-masing komposisi gradasi agregat.



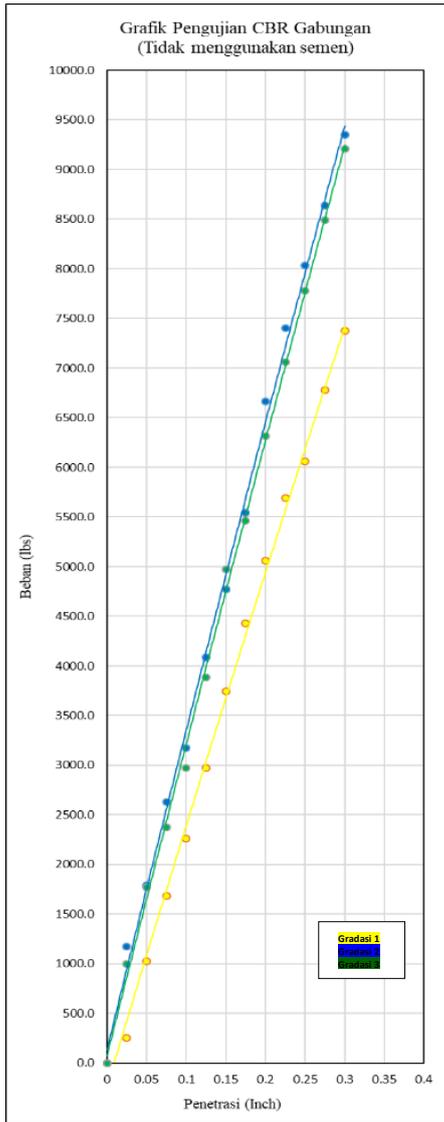
Grafik 3. Grafik hubungan ( $W_{opt}$ ) dan ( $\gamma_{dmaks}$ )

Berdasarkan hubungan pada grafik diatas, diperoleh hasil seperti berikut:

- Gradasi (satu):  
 $W_{opt} = 8,50\%$ , dan  
 $\gamma_{dmaks} = 1,981 \text{ gr/cm}^2$ .
- Gradasi (dua):  
 $W_{opt} = 7,80\%$ , dan  
 $\gamma_{dmaks} = 2,009 \text{ gr/cm}^2$ .
- Gradasi (tiga):  
 $W_{opt} = 7,20\%$ , dan  
 $\gamma_{dmaks} = 1,992 \text{ gr/cm}^2$ .

**Pengujian CBR di Laboratorium (tidak menggunakan semen)**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dampak terhadap nilai daya dukung agregat ini apabila mengalami fluktuasi gradasi agregat.



Grafik 4. Pengujian CBR (tidak menggunakan semen)

Tabel 8. Nilai CBR gradasi satu.

Kadar Air Optimum, ( $W_{opt}$ )	(%)	8.50
Berat Isi Kering, ( $\gamma_{dmaks}$ )	( $gr/cm^3$ )	1.981
Nilai CBR		
Penetrasi 0.1 " (%)	Penetrasi 0.2 " (%)	
$((2258.6/3000)*100)$	$((5060.4/4500)*100)$	
75.29%	112.45%	

Tabel 9. Nilai CBR gradasi dua

Kadar Air Optimum, ( $W_{opt}$ )	(%)	7.20
Berat Isi Kering, ( $\gamma_{dmaks}$ )	( $gr/cm^3$ )	1.992
Nilai CBR		
Penetrasi 0.1 " (%)	Penetrasi 0.2 " (%)	
$((2973.4/3000)*100)$	$((6318.4/4500)*100)$	
99.11%	140.41%	

Tabel 10. Nilai CBR gradasi tiga

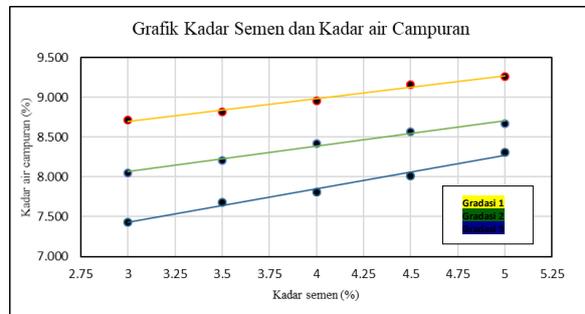
Kadar Air Optimum, ( $W_{opt}$ )	(%)	7.80
Berat Isi Kering, ( $\gamma_{dmaks}$ )	( $gr/cm^3$ )	2.009
Nilai CBR		
Penetrasi 0.1 " (%)	Penetrasi 0.2 " (%)	
$((3173.5/3000)*100)$	$((6661.5/4500)*100)$	
105.78%	148.03%	

Berdasarkan hubungan grafik serta tabel-tabel diatas, diperoleh catatan seperti berikut:

- Semakin banyak perbandingan agregat halus dari agregat kasar akan memberikan daya dukung agregat yang semakin menurun seperti yang terjadi pada (gradasi satu) yang tidak memenuhi ketentuan 90%.
- Gradasi agregat yang tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat CTB (gradasi satu dan tiga) memberikan nilai kepadatan lebih rendah dibandingkan (gradasi dua) yang memenuhi spesifikasi gradasi agregat CTB.

**Pengujian Campuran CTB (Cement treated base)**

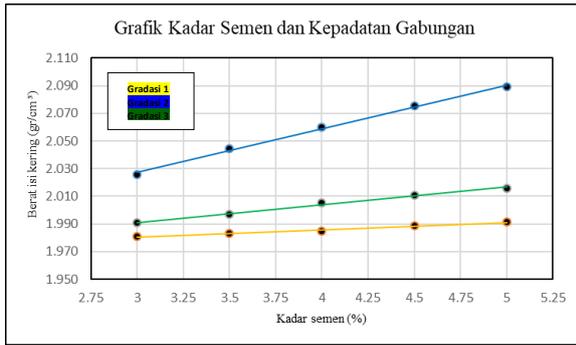
Pemadatan dilakukan pada cetakan silinder dengan tinggi 300 mm diameter 150 mm. Dipadatkan dalam jumlah lima lapisan ditumbuk 145 tumbukan setiap lapisan dengan berat penumbuk 4,5 kg, tinggi jatuh penumbuk 45 cm.



Grafik 5. Hubungan kadar semen dan kadar air campuran

Berdasarkan grafik hubungan diatas diperoleh catatan seperti berikut:

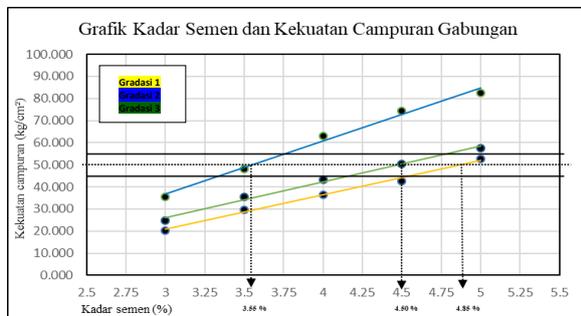
- Semakin banyak perbandingan agregat halus dari agregat kasar akan memberikan pengaruh bertambahnya penggunaan kadar air pada campuran CTB.
- Semakin banyak perbandingan agregat kasar dari agregat halus akan memberikan pengaruh berkurangnya penggunaan kadar air pada campuran CTB.
- Semakin bertambahnya penggunaan kadar semen, akan memberikan dampak bertambahnya penggunaan kadar air pada campuran CTB.



Grafik 6. Hubungan kadar semen dan kepadatan campuran

Berdasarkan grafik hubungan diatas diperoleh catatan seperti berikut:

- Semakin bertambahnya penggunaan kadar semen pada campuran CTB memberikan pengaruh semakin tingginya kekuatan campuran.
- Gradasi agregat yang tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran CTB (gradasi satu dan tiga) memberikan nilai kepadatan yang lebih rendah dari gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran CTB (gradasi dua).
- Semakin bertambahnya penggunaan kadar semen, memberikan pengaruh naiknya nilai kepadatan campuran CTB.



Grafik 7. Hubungan kadar semen dan kekuatan campuran

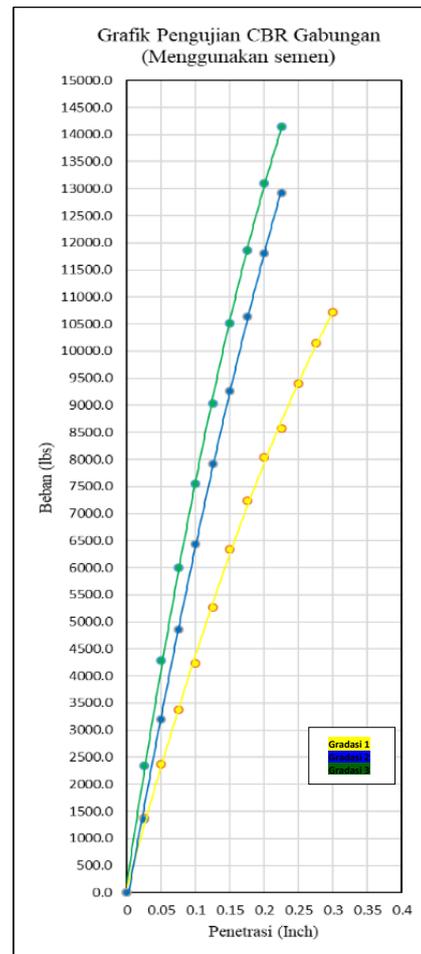
Berdasarkan grafik hubungan diatas diperoleh catatan seperti berikut:

- Gradasi agregat yang tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran CTB (gradasi satu dan tiga) memberikan bertambahnya penggunaan kadar semen untuk mencapai tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup>.
- Gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran CTB (gradasi dua) memberikan kadar semen yang paling sedikit untuk mencapai tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup>.
- Ditinjau pada tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup>, masing-masing komposisi gradasi mencapai tegangan seperti berikut:

- ✓ Gradasi satu = 4,85 %
- ✓ Gradasi dua = 3,55 %
- ✓ Gradasi tiga = 4,50 %

### Pengujian CBR di Laboratorium (menggunakan semen)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh terhadap nilai daya dukung campuran setelah digunakan semen.



Grafik 8. Pengujian CBR (menggunakan semen)

Tabel 11. Nilai CBR gradasi satu

Kadar Semen	(%)	4.85
Kadar Air, (W <sub>opt</sub> )	(%)	9.194
Berat Isi Kering, (γ <sub>dmaks</sub> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.995
Nilai CBR		
Penetrasi 0.1" (%)		Penetrasi 0.2" (%)
((4231.3/3000)*100%)		((8033.8/4500)*100%)
141.04%		178.53%

Tabel 12. Nilai CBR gradasi dua.

Kadar Semen	(%)	3.55
Kadar Air, (W <sub>opt</sub> )	(%)	8.223
Berat Isi Kering, (γ <sub>dmaks</sub> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.025
Nilai CBR		
Penetrasi 0.1" (%)		Penetrasi 0.2" (%)
((6432.8/3000)*100%)		((11807.7/4500)*100%)
214.43%		262.39%

Tabel 13. Nilai CBR gradasi tiga.

Kadar Semen	(%)	4.50
Kadar Air, ( $W_{opt}$ )	(%)	8.011
Berat Isi Kering, ( $\gamma_{dmaks}$ )	( $gr/cm^3$ )	2.008
Nilai CBR		
Penetrasi 0.1" (%)		Penetrasi 0.2" (%)
((7547.8/3000)*100%)		((13094.2/4500)*100%)
251.59%		290.98%

Berdasarkan grafik pengujian CBR di Laboratorium (menggunakan semen), diperoleh catatan seperti berikut:

- Penggunaan kadar semen dan kadar air berdasarkan hasil pengujian pemadatan campuran CTB.
- Semen berpengaruh untuk meningkatkan nilai daya dukung campuran, hal ini dapat dilihat pada nilai daya dukung CBR (tidak menggunakan semen) terjadi peningkatan daya dukung setelah menggunakan semen.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Fluktuasi gradasi agregat (gradasi satu dan tiga) yang tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran CTB membutuhkan kadar semen yang lebih banyak dari (gradasi dua) yang memenuhi spesifikasi gradasi agregat

campuran CTB untuk mencapai tegangan 50 kg/cm<sup>2</sup>.

- Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, bertambahnya penggunaan kadar semen (gradasi satu dan tiga) untuk mencapai tegangan 50kg/cm<sup>2</sup> berada pada 0,95% - 1,30%.
- Gradasi agregat juga berpengaruh terhadap nilai daya dukung agregat. Apabila semakin banyak perbandingan agregat halus terhadap agregat kasar akan memberikan daya dukung yang semakin rendah serta penggunaan kadar air yang tinggi.

### Saran

- Berdasarkan hasil keseluruhan penelitian ini, agregat yang bersumber dari Kota Tomohon ini dapat digunakan sebagai bahan campuran CTB.
- Dari hasil pengujian analisa saringan, menunjukkan gradasi dari agregat yang bersumber dari Kota Tomohon ini tidak memenuhi spesifikasi gradasi agregat campuran CTB. Oleh karena itu untuk menghindari fluktuasi yang dapat saja terjadi dilapangan dapat dilakukan pengawasan yang lebih teliti, serta dapat juga menggunakan komposisi campuran perbandingan agregat kasar dan agregat halus pada penelitian ini untuk menjadi acuan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bawataa, Suryanto., Oscar H. Kaseke, Freddy Jansen, 2015. *Kelayakan Material Domato di Pulau Karakelang Kabupaten Kepulauan Talaud Sebagai Material Lapis Pondasi Perkerasan Jalan*. Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.8 (590-598) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Jansen, Freddy, Mecky Manoppo, 2017. *Pengaruh Fluktuasi Gradasi Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Campuran AC-WC*. Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010, *Spesifikasi Umum (Revisi ke 3)*, Bandung.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan*, Bandung.
- Nono, 2009, *Penggunaan Lapis Pondasi Agregat yang Distabilisasi dengan Semen*. PUSLITBANG Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Panungkelan, K. S., Oscar H. Kaseke, Mecky R. E. Manoppo, 2017. *Pengaruh Jumlah Tumbukan Pemadatan Benda Uji Terhadap Besaran Marshall Campuran Beraspal Panas Bergradasi*

*Menerus Jenis Asphalt Concrete (AC)*, Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.8 (541-548) ISSN: 2337-6732, Manado.

Pompana, Truly., Lintong Elisabeth, Oscar H. Kaseke, 2018. *Identifikasi Ketidaktepatan Komposisi Campuran Aspal Panas Antara Rancangan di Laboratorium (Design Mix Formula) dengan Pencampuran di Asphalt Mixing Plant (Job Mix Formula)*. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.10 (771-782) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, 2015, *Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen (LFAS)*. Badan Standarisasi Nasional, Bandung.

Rumagit S. E. R., Oscar H. Kaseke, Steve Ch. N. Palenewen, 2017, *Pengaruh Energi Pemasakan Benda Uji terhadap Besaran Marshall Campuran Beraspal Panas Bergradasi Senjang*. Jurnal Sipil Statik Vol.5 No.10 (533-540) ISSN: 2337-6732, Manado.

Sukirman S, 1990, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, ANOVA, Bandung.

Sukirman S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, ANOVA, Bandung.

Halaman ini sengaja dikosongkan