

PENGARUH SUBSTITUSI POZOLAN ALAM TERHADAP SIFAT FISIK DAN KINERJA DALAM CAMPURAN CTB

Jermia M. B. Waleleng¹⁾
Joice E. Waani²⁾, Freddy Jansen²⁾

¹⁾Dinas PUPR Kota Manado

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Pasca Sarjana Universitas Sam Ratulangi Manado
email: jermiawaleleng@gmail.com

ABSTRAK

Cement Treated Base (CTB) merupakan lapis fondasi perkerasan jalan yang distabilisasi dengan semen. Pada saat ini perkembangan (CTB) di Indonesia semakin pesat dilakukan oleh pemerintah dalam rangka mengatasi pengaruh daya dukung lapis perkerasan jalan. Dengan semakin banyaknya aplikasi CTB dalam pelaksanaan lapis fondasi pekerjaan jalan, membuat penggunaan Semen semakin besar, hal ini berdampak pada bertambahnya biaya dan permintaan akan semen meningkat. Bertambahnya produksi semen dapat berpengaruh pada peningkatan polusi, karena untuk memproduksi satu ton semen dibutuhkan proses pemanasan lebih dari 800⁰ C, sehingga polusi yang tercipta cukup besar. Pozolan alam yang banyak tersedia dapat menjadi solusi untuk mengurangi penggunaan semen pada pekerjaan lapis pondasi perkerasan jalan, sekaligus diharapkan memperbaiki kinerja CTB.

Proses substitusi Pozolan dilakukan bertahap mulai dari 0%, 10%, 20% dan 30% dari berat semen. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji kemudian dilakukan pengujian dan pengamatan dari masing masing komposisi campuran. Pozolan yang digunakan diambil secara acak di Desa Koka, sedangkan material LPA diambil dari tambang batu Kakaskasen dan untuk semen menggunakan merek Tiga Roda. Perlakuan material, benda uji dan peralatan penelitian mengacu pada Standar Nasional Indonesia. Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar nilai substitusi pozolan terhadap semen akan berbanding lurus dengan pengurangan nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik, nilai substitusi paling besar yang bisa di aplikasikan adalah 20% berdasarkan SNI-8141-2015, yakni 45-55 kg/cm². Nilai kuat tekan pada masing masing komposisi substitusi akan meningkat seiring bertambahnya durasi perawatan, sedangkan penambahan nilai kuat tekan paling besar terjadi pada periode 14 sampai 21 hari dengan rata-rata peningkatan 19,54%. Peningkatan kuat tekan terlihat lebih signifikan pada komposisi campuran dengan substitusi pozolan 10% sampai 30% berkisar antara 11,96% sampai 27,17%, sedangkan untuk campuran tanpa substitusi Pozolan hanya berkisar 2,71% sampai 12,98%.

Dapat disimpulkan bahwa Pozolan tidak sepenuhnya dapat menggantikan fungsi semen, jumlah maksimum substitusi pozolan terhadap semen maksimum 20 % dari jumlah penggunaan semen. Masih harus dilakukan penelitian lanjutan guna mendapatkan material lain yang dicampurkan pada pozolan agar jumlah substitusi pozolan dalam campuran CTB bisa lebih besar, sehingga mengurangi jumlah penggunaan semen. Pengurangan jumlah penggunaan semen secara langsung dapat mengurangi polusi, yang diakibatkan oleh proses produksi semen.

Kata kunci: substitusi, Pozolan Alam, sifat fisik, campuran, CTB, semen, polusi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

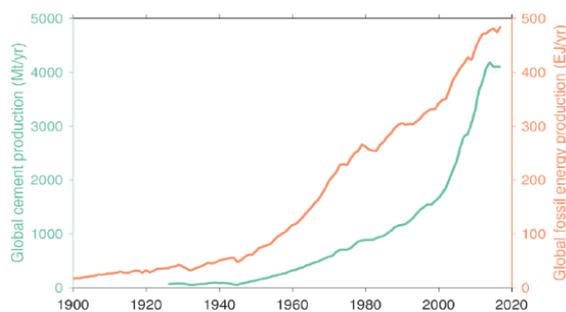
Cement Treated Base (CTB) merupakan lapis fondasi perkerasan jalan yang distabilisasi dengan semen. Pada saat ini perkembangan (CTB) di Indonesia semakin pesat dilakukan oleh pemerintah dalam rangka mengatasi pengaruh daya dukung lapis perkerasan jalan. Selain itu CTB tidak terlalu sensitif terhadap air dibandingkan dengan lapis fondasi berbutir.

Sesuai dengan Manual Desain Perkerasan Revisi Juni 2017, untuk jalan yang melayani lalu lintas sedang dan berat dapat dipilih lapis fondasi CTB karena dapat menghemat penggunaan matrial fondasi secara signifikan dibandingkan dengan lapis fondasi berbutir tanpa campuran semen. LMC (Lean Mix Concrete) dapat digunakan sebagai pengganti CTB, dan akan memberikan kemudahan pelaksanaan di area kerja yang sempit misalnya pekerjaan pelebaran perkerasan atau pekerjaan

pada daerah perkotaan. Kendaraan bermuatan berlebihan merupakan kondisi nyata yang harus diantisipasi. Ketebalan lapisan aspal dan CTB ditetapkan untuk mengurangi retak reflektif dan untuk memudahkan konstruksi. Sebelumnya dalam melaksanakan desain CTB mengacu pada AASHTO (Guide for design of pavement structures, 1993 dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013).

Saat ini penggunaan semen pada beton makin sering mendapatkan kritik, khususnya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup. Disebabkan karena emisi gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan pada proses produksi semen yang mengakibatkan polusi udara. Tren ini akan terus bertahan atau bahkan meningkat sesuai dengan peningkatan produksi semen jika tidak ada perubahan berarti dalam teknologi produksi semen atau ditemukannya bahan pengganti semen. Untuk memproduksi satu ton semen, diperkirakan menghasilkan gas rumah kaca lebih kurang satu ton juga, hal ini sebabkan oleh proses pembuatan semen yang membutuhkan pemanasan lebih dari 800°C. Gas ini dilepaskan ke atmosfer kita dengan bebas dan kemudian merusakkan lingkungan hidup kita, di antaranya menyebabkan pemanasan global. (Hardjito, 2001).

Semen menyumbang sekitar 8% emisi karbon dioksida (CO₂) dunia, lebih besar dari yang dihasilkan oleh bahan bakar pesawat udara 2,5% dan sedikit lebih kecil dari yang dihasilkan oleh agrikultur global 12%. (Rodgers, 2018). Center for International Climate Research (CICERO) tahun 2018 menunjukkan bahwa produksi semen global terus bertambah dengan sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir. (Andrew, 2018). Jumlah produksi semen global sampai dengan tahun 2018 menurut CICERO lebih dari 4000 Metrik Ton per tahun, dapat lihat pada gambar 1. dibawah ini.



Gambar 1. Produksi Semen Global

Penggunaan teknologi daur ulang perkerasan jalan dengan penambahan material alternatif pengganti semen pada konstruksi perkerasan jalan, merupakan upaya positif dalam rangka mendorong penggunaan teknologi dan material yang ramah lingkungan dibidang konstruksi bangunan teknik sipil. Material pozolan yang berupa material hasil buangan industri batu bara maupun bahan pertanian atau material pozolan alam adalah material yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena sifatnya yang menyerupai semen jika ditambahkan pada campuran semen. Penggunaan material ini sebagai material pengganti atau substitusi semen dalam campuran beton menunjukkan peningkatan workabilitas dan kinerja campuran baik pada campuran beton mutu tinggi maupun pada campuran semen dengan kekuatan rendah. (Waani et al, 2014). Selain melakukan substitusi semen untuk meningkatkan kinerja beton dapat juga dilakukan dengan penambahan jenis material lain, contohnya Styrofoam. (Dharma, et al, 2008).

Kombinasi dengan material lain seperti kapur atau material pozolan yang memiliki tingkat pencapaian kekuatan (hidrasi) yang lambat dapat mengurangi kemungkinan terjadinya retak pada perkerasan. (Guthrie *et al*, 2002; Scullion *et al*, 2000; dan Nasser *et al*, 2010).

Upaya menggantikan semen sebagai bahan konstruksi, dengan komposisi substitusi sebesar 10% mengalami kenaikan 2,59% dari kuat tekan rata-rata beton normal sebesar 29,048 MPa menjadi 29,803 MPa. Substitusi semen sebesar 15% mengalami kenaikan 3,24%. Substitusi semen sebesar 20% mengalami kenaikan 0,97%. Dan substitusi semen sebesar 25% mengalami penurunan 2,93% dari kuat tekan rata-rata beton normal. Secara keseluruhan, penggunaan pozzolan sebagai pengganti semen efektif bisa mempertahankan bahkan menaikkan nilai kuat tekan beton yaitu berada pada prosentase penggantian semen antara 10% – 20% sebagai bahan campuran pada beton. (Nurchasanah, 2011).

Menurut Papadakis dan Tsimas (2002), produk sampingan industri padat seperti silika dan alumina (fly ash, silica fume, slag, dll.), serta beberapa bahan pozolan alam (abu vulkanik, tanah diatom, dll.), dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena mereka menunjukkan sifat semen. Karena banyaknya

bahan-bahan ini sejenis diharapkan dapat diaplikasikan untuk mengurangi penggunaan semen.

Hal yang sama disampaikan oleh Ilham (2005), bahwa tras adalah pozolan alam yang berasal dari pelapukan material hasil erupsi gunung berapi, bahan ini yang mengandung silika tinggi yang bersifat reaktif, apabila dalam bentuk butiran yang halus dengan tingkat kelembaban tertentu, bahan ini dapat bereaksi secara kimia dengan Ca(OH)_2 pada suhu ruang untuk membentuk senyawa bersifat semen. Dengan mencampurkan bahan pozolan pada jumlah yang sesuai dengan semen, unsur aktif SiO_2 akan bereaksi secara sekunder dengan Ca(OH)_2 untuk menghasilkan kalsium hidrosilikat. Peningkatan kandungan SiO_2 atau $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ akan meningkatkan reaksi pozzolan.

Kondisi wilayah Manado yang merupakan daerah gunung berapi memungkinkan material tras banyak terdapat disekitar wilayah ini. Dengan melakukan substitusi terhadap material semen menggunakan material pozolan maka pengurangan biaya pengadaan material semen dapat direduksi.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas maka dapat dirumuskan permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana memperbaiki sifat-sifat fisik campuran CTB melalui substitusi pozolan alam (tras) terhadap semen ?
2. Bagaimana pengaruh kinerja campuran CTB terutama terhadap kuat Tekan dan kuat Tarik Belah Campuran yang diakibatkan oleh substitusi pozolan terhadap semen
3. Bagaimana perbandingan antara kehilangan dan penyerapan kadar air pada CTB yang disubstitusi pozolan.

Pembatasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang diambil pada penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Material-material yang akan digunakan merupakan material-material yang terdapat di daerah Sulawesi Utara.
2. Material semen yang dipakai adalah semen Portland jenis Tonasa.
3. Parameter yang diamati yakni kehilangan kadar air selama pemeraman, penyerapan air selama perendaman, kuat Tekan UCS, dan kuat Tarik Belah.

4. Variasi substitusi pozolan alam (tras) relatif terhadap kadar semen, yakni 0%, 10%, 20%, dan 30%.

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yakni sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui sifat-sifat fisik campuran CTB setelah melalui substitusi pozolan alam terhadap semen.
2. Untuk menghitung kinerja campuran CTB terutama terhadap kuat Tekan dan kuat Tarik Belah campuran.
3. Untuk mengetahui jumlah kehilangan dan penyerapan air pada CTB yang disubstitusi. Hasil yang diperoleh diharapkan menjadi acuan pelaksanaan pekerjaan CTB, dengan mengurangi penggunaan semen, sehingga mengurangi polusi yang terjadi akibat produksi semen yang banyak.

KAJIAN PUSTAKA

Cement Treated Base

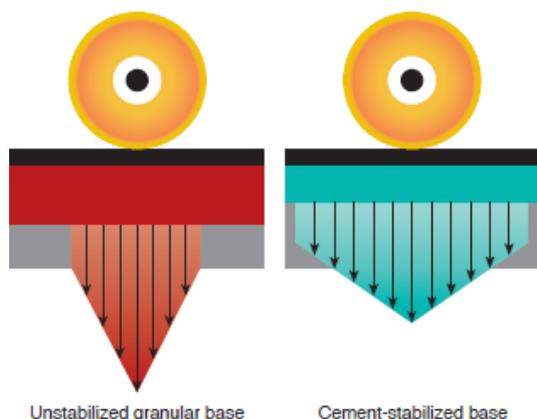
Cement Treated Base (CTB) merupakan beton semi kering dengan nilai slump sama dengan nol. Beton merupakan campuran antara semen, air, pasir dan kerikil yang mengeras menyerupai batu. Air dan semen membentuk pasta yang akan mengisi rongga di antara butir-butir pasir dan kerikil yang kemudian akan mengikat partikel-partikel agregat menjadi suatu benda yang padat. Departemen Pekerjaan Umum memberikan definisi tentang beton sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland dan air. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi bila dikeringkan dalam waktu yang relative lama dan mempunyai kelemahan terhadap Tarik dan biasanya hanya sanggup menahan tarikan sebesar 10% dari kuat tekannya. Penambahan Semen sebesar 6% pada *base coarse* untuk kekuatan daya dukung mempunyai kecenderungan menurun, tetapi dari pengujian CBR lapangan hasilnya meningkat. (Masykur dan Novita, 2016).

CTB atau Lapis fondasi agregat semen sering didefinisikan sebagai suatu jenis lapi perkerasan yang menggunakan semen Portland sebagai bahan pengikat. Penggunaan CTB biasanya digunakan sebagai lapis konstruksi fondasi bawah (*Sub Base*) dan fondasi atas (*Base Course*). Pada tempat pembuatannya, CTB dapat dicampur *in-place* atau secara

langsung pada tempat konstruksinya atau dapat juga dicampur pada suatu lokasi pusat pencampuran yang resmi, dan untuk hal ini tergantung pada kebutuhan proyek konstruksi yang sedang dilaksanakan. Tipikal interval prosentase semen yang biasa digunakan berkisar dari 3% - 12%, dimana dalam umur material campuran 7 hari akan menghasilkan kekuatan tekan dari 300 psi – 800 psi.

CTB digunakan karena CTB mengizinkan pihak pelaksana untuk menciptakan suatu lapisan dasar yang kuat yang memenuhi dalam nilai durabilitas minimum serta kekuatan yang diinginkan. Perkerasan dengan CTB akan jauh lebih kuat dan lebih kaku jika dibandingkan dengan suatu lapisan granular yang tidak distabilisasi, terlihat pada Gambar 2.

Dalam hal ketebalan juga lapisan CTB memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan ketebalan yang dibutuhkan oleh lapisan yang tidak distabilisasi, jika kedua jenis lapisan ini ditinjau dari kemampuan memikul layan nya. CTB dapat mendistribusikan pembebanan ke area yang lebih besar, mereduksi tegangan-tegangan pada lapisan *subgrade*, dan sebagai elemen pemikul beban dari sebuah perkerasan kaku atau suatu lapisan subbase untuk beton. Keserupaannya dengan lapisan pelat serta kekuatan dari sebuah balok beton tidak dapat disamakan dengan lapisan base granular dimana untuk lapisan granular ini dapat mengalami kegagalan jika hubungan ikatan antar agregatnya (*interlock*) hilang.



Gambar 2. Lapisan yang tidak distabilisasi dan lapisan CTB

CTB dapat menahan pembekuan siklik, hujan, dan kerusakan yang diakibatkan oleh

cuaca panas. CTB juga secara berkesinambungan dapat mencapai kekuatan pada umur rencananya sekalipun pada saat sementara memikul beban akibat lalu lintas. Besarnya kekuatan yang tersedia, pada konteks selama pembebanan, merupakan salah satu kinerja CTB yang cukup menarik. Kekakuan CTB mereduksi defleksi atau lendutan, bekas roda kendaraan pada lapisan *base* dan juga regangan-regangan aspal yang lain.

Terdapatnya berbagai jenis semen merupakan suatu hal yang kritis yang perlu ditinjau dalam rangka menghasilkan solusi yang sukses untuk jenis lapisan perkerasan ini dikarenakan kondisi-kondisi lapangan serta tipe tanah dapat dengan mudah berubah selama pelaksanaan konstruksi perkerasan dijalankan dan ketika semen dianggap sebagai suatu “*universal stabilizer*”.

Adapun langkah-langkah untuk proses pembuatan mixed-in-place dari CTB yakni sebagai berikut:

1. *Shaping* dan *grading*
2. *Compacting* dan *fine grading*
3. *Application of cement*
4. *Curing*
5. *Mixing water* dan *cement with soil*

CTB cocok digunakan sebagai satu lapisan *base* (untuk perkerasan aspal) atau lapisan *subbase* (untuk perkerasan kaku) dari jalan utama (*mainline highways*), jalan-jalan yang memiliki tingkat volume kendaraan yang tinggi, jalan-jalan lokal, jalan pemukiman penduduk, fasilitas-fasilitas industri berat serta industri militer. CTB sangat tepat juga digunakan untuk *runways*, *taxiways*, dan *apron*, dari suatu Bandar udara, serta dapat juga digunakan pada area parkir.

Solusi yang disediakan CTB antara lain:

1. Tingkat biaya yang rendah karena penggunaan agregat lokal
2. Mengeliminasi infiltrasi lapisan subgrade ke dalam lapisan base
3. Proses konstruksi yang cepat
4. Mereduksi kerentanan dari adukan semen
5. Membantu meningkatkan kelemahan dari lapisan subgrade.

CTB menawarkan penghematan yang signifikan dibanding perkerasan lapis fondasi berbutir untuk jalan yang dilewati lalu lintas sedang dan berat. Biaya CTB tersebut lebih murah secara tipikal untuk kisaran beban sumbu 2,5 sampai 30 juta ESA tergantung pada harga setempat dan kemampuan kontraktor. CTB juga menghemat penggunaan aspal dan

material berbutir, kurang sensitif terhadap air dibandingkan dengan lapis fondasi berbutir, dan juga dengan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan lapisan aspal yang berlapis-lapis. Muatan berlebih yang merupakan kondisi tipikal di Indonesia, menyebabkan keretakan sangat dini pada lapisan-lapisan CTB. Maka dari itu desain CTB hanya didasarkan pada tahap desain *post fatigue cracking* tanpa mempertimbangkan umur fatigue CTB. (MDPJ, 2012).

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, persyaratan dari lapis fondasi agregat dengan CTB dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tras (Pozolan Alam)

Tras merupakan hasil letusan gunung berapi berbentuk butiran halus yang mengandung oksida silica (SiO_2) yang telah mengalami proses pelapukan hingga derajat tertentu. Tras juga dikenal dengan nama Pozolan (*puzzolanic materials*), nama ini berasal dari sejenis tanah yang bersifat tras yang terdapat di *Puzzouli*, suatu distrik di daerah Napoli, Italia Selatan, yang telah lama dipakai dan di ekspor dari Negara tersebut. Tras merupakan bahan Pozolan alam karena sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silika dan atau aluminat yang reaktif. Tras umumnya dimanfaatkan sebagai bahan baku batako, industri semen, campuran bahan bangunan dan semen alam.

Tras sebagai hasil lapukan batuan gunung berapi banyak mengandung silica yang dalam keadaan halus bila dicampur dengan kapur dan air akan membentuk massa yang padat, keras, dan tidak larut dalam air.

Dari susunan kimianya bahan tras terdiri dari :

1. Silika : 46% - 59%
2. Oksida Alumunium : 10% - 19%

3. Air Kristal : 3% - 12%
4. ksida Besi : 4% - 12%
5. Calsium Oksida : 1% - 7%
6. Magnesium Oksida : 1% - 6%
7. Natrium Oksida : 3% - 10%
8. Kalsium Oksida : 3% - 10%

Kemampuan tras mengeras dalam adukan disebabkan oleh karena bagian-bagian silica (SiO_2) dari tras yang sangat halus, dapat beraksi dengan kumpur membentuk ikatan atau senyawa silica kapur yang dapat mengeras menyerupai batu dan tidak laur dalam air. Hasil-hasil pengerasan antara benda-benda yang terdapat pada tras hampir sama dengan hasil-hasil pengerasan dari benda-benda yang berikatan dengan semen Portland.

Adapun senyawa-senyawa tersebut berupa ikatan-ikatan kompleks dari Calsium Alumunium Silikat. Perlu diketahui bahwa kemampuan dari adukan tras untuk mengeras sanat dipengaruhi oleh bagian-bagian yang sangat halus, oleh karena itu kehalusan dari pozolan sangat mempengaruhi sifat-sifat adukan. Makin halus butiran tras, makin tinggi pula daya tahan tekannya. Dengan perkataan lain, benda-benda tras yang masih kasar akan lebih rendah mutunya dibanding dengan benda-benda tras yang halus.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen dengan cara melakukan percobaan di laboratorium untuk memperoleh data yang diinginkan. Tujuan utama dari penelitian yakni mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik belah pada Campuran *Cement Treated Base* (CTB) / Lapis Fondasi Agregat Semen - A (LFAS-A) dengan substitusi pozolan alam terhadap semen di dalam campuran

Tabel 1 Persyaratan Lapisan CTB

| Sifat | Metode Pengujian | Persyaratan |
|--|------------------------|-------------|
| Keausan Agregat dengan mesin Abrasi Los Angeles | SNI 2417 2008 | Maks. 35% |
| Indeks Plastisitas | SNI 1966 2008 | Maks. 6% |
| Batas Cair | SNI 1967 2009 | Maks. 35% |
| Pengujian Gumpalan Lempung dan Mudah Pecah dalam Agregat | Butir SNI 03-4141-1996 | Maks. 1% |

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010

Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Perkerasan Jalan Raya dan Bandar Udara Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado. Untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan di laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.

Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- a. Material Batu
Agregat yang dipakai diambil dari quarry Kakaskasen yang merupakan hasil produksi alat pemecah batu (crusher). Agregat yang digunakan harus dibuat sesuai dengan rumus perbandingan campuran dan memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan. Gradasi agregat CTB yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumus perbandingan campuran dan memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan. Pengambilan contoh agregat untuk pengujian sesuai SNI 03-6889-2002.
- b. Semen
Semen yang digunakan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 15-2049-2004 untuk jenis semen portland atau SNI 15-0302-2004 untuk tipe semen portland pozolan atau SNI 15-7064-2004 untuk semen portland komposit.
- c. Air
Air harus sesuai dengan SNI 03-6817-2002, harus bebas dari endapan dan dari zat yang merusak.
- d. Pozolan Alam (Tras)
Untuk material ini maka digunakan material-material tras yang berada disepertaran daerah kota Manado (Teling-Koka).

Peralatan penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan yang ada di laboratorium Teknik Perkerasan Jalan Raya dan Bandar Udara dan Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.

Pelaksanaan Penelitian

Pengujian yang akan dilakukan meliputi :

1. Penyediaan dan Pemeriksaan Material

- a. Gradasi Bahan Batuan (Agregat Kasar dan Agregat Halus)
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gradasi agregat kasar dan agregat halus. Peralatan yang digunakan yakni : Sample *splitter*, timbangan, *Motorized Dynamic Shieve Shaker*, Oven Pengering.
- b. Berat Jenis dan Absorpsi Agregat
Pengujian ini bertujuan untuk menetapkan berat jenis bulk, berat jenis bulk SSD, berat jenis tampak, dan absorpsi. Peralatan yang digunakan yakni : Sample *splitter*, timbangan, *Specific Gravity Test*, Oven Pengering, *Sand Absorption Cone*, *Tamper*, Tabung ukur.
- c. Kadar Air
Pengujian ini bertujuan untuk menetapkan kadar air agregat kasar dan agregat halus, sesuai dengan SNI 1743:2008 Peralatan yang dipakai yakni : Cetakan 15 x 20 cm, penumbuk 4,5 kg, timbangan, oven, pisau perata, saringan, alat pencampur, cawan.
- d. Berat Volume Agregat
Pengujian ini bertujuan untuk menetapkan berat satuan (berat jenis menyeluruh) dari agregat kasar dan agregat halus. Peralatan yang dipakai yakni : Tongkat tusuk, timbangan, Cawan/kotak takar, Singkup.
- e. Ketahanan Aus dengan Mesin *Los Angeles*
Pengujian ini bertujuan untuk menetapkan ketahanan terhadap kehausan kerikil. Peralatan yang digunakan yakni : Mesin *Los Angeles*, Ayakan, Timbangan, Bola-bola baja.
- f. Zat Organik Agregat Halus (dalam larutan NaOH)
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan zat organik dalam agregat halus. Peralatan yang digunakan yakni : Gelas ukur 350cc, Oven, *Stop watch*.
- g. Kadar Lumpur
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada agregat halus. Peralatan yang digunakan yakni : Timbangan, Saringan no.200, Wadah pencuci/pan, Oven.
- h. Penyiapan Pozolan Alam
Pozolan alam di keringkan, kemudian di hancurkan hingga dapat lolos

- saringan No. 325 (\emptyset 0.044mm).
Peralatan yang digunakan: Oven,
Mesin Los Angeles, Saringan/Ayakan
2. Pengujian Kuat Tekan UCS dan Kuat Tarik Belah
 - a. Perencanaan Campuran CTB
Komposisi agregat kasar dan agregat halus berada dalam perbandingan 63 : 37. Variasi kadar semen yang akan digunakan yakni kadar semen efektif 5 % dimana nantinya kadar semen ini akan diganti dengan pozolan dalam variasi peningkatan per 10 % sampai mencapai 30% massa semen yang digunakan. Kadar air yang akan digunakan pada penelitian ini yakni berdasarkan hasil pengujian kepadatan sehingga didapatkan nilai Kadar Air Optimum (KAO).
 - b. Penetapan jumlah benda uji
Pada penelitian ini akan dipakai dua jenis benda uji yakni Benda uji Silinder \emptyset 15/30 untuk pengujian kuat tekan UCS dan Silinder \emptyset 10/20 untuk pengujian kuat tarik belah, masing masing dibuat dengan variasi substitusi pozolan terhadap semen 0%, 10% 20% dan 30% untuk di uji pada hari ke 7, 14 dan 21.
 - c. Proses Pembuatan Benda Uji
 1. Menakar agregat sesuai dengan komposisi campuran yang telah direncanakan.
 2. Menyiapkan cetakan silinder.
 3. Pencampuran agregat kasar dan agregat halus.
 4. Campuran agregat kasar dan agregat halus dicampur dengan variasi kadar semen dan substitusi pozolan terhadap berat kering agregat.
 5. Setelah agregat kasar, agregat halus, dan semen dengan substitusi pozolan dicampur hingga homogen lalu ditambahkan air berdasarkan variasi kadar air yang telah ditentukan.
 6. Masukkan campuran *Cement Treated Base* (CTB) ke dalam cetakan dalam 5 lapis dengan ketebalan sedikit melebihi 1/5 tinggi cetakan, dengan melakukan pemadatan sebanyak 145 kali tumbukan setiap lapisan. (SNI 1743:2008)
 7. Peram benda uji selama 4 x 24 jam dan rendam selama 3 x 24 jam untuk pengujian hari ke 7

- Peram benda uji selama 11 x 24 jam dan rendam selama 3 x 24 jam untuk pengujian hari ke 14
- Peram benda uji selama 18 x 24 jam dan rendam selama 3 x 24 jam untuk pengujian hari ke 21
8. Setelah waktu perawatan campuran di dalam silinder tercapai keluarkan dari dalam cetakan dan beri kode pada masing-masing benda uji.
- d. Pengujian Kuat Tekan UCS, sesuai umur rencana.
- e. Pengujian Kuat Tarik Belah, sesuai umur rencana

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kehilangan Air dan Penyerapan.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tarik belah untuk ukuran benda uji silinder 10 x 20 cm. Hal ini dilakukan dalam rangka mengamati pengaruh variasi besar volume terhadap sifat-sifat fisik campuran CTB, yang ditinjau dari parameter kehilangan air selama pemeraman dan penyerapan air selama perendaman. Dan berdasarkan penetapan pemenuhan syarat maka yang akan diamati pada benda uji ini yakni substitusi pozolan untuk 10% dan 20%.

Adapun untuk ukuran benda uji 15 x 30 cm, nilai untuk kehilangan air hasil pemeraman selama 4 x 24 jam dapat dilihat bahwa untuk campuran tanpa substitusi tras, terjadi kehilangan air sebesar 0,612%, untuk nilai substitusi pozolan 10% kehilangan air sebesar 0,602%, dan untuk nilai substitusi pozolan 20%, nilai kehilangan air sebesar 0,629%. Dapat dilihat terjadi peningkatan prosentase besar kehilangan air seiring dengan semakin membesarnya substitusi pozolan alam. Untuk perendaman benda uji selama 3 x 24 jam maka nilai penyerapan air sebesar 0,859% untuk benda uji tanpa substitusi pozolan, 0,904% untuk substitusi pozolan 10%, dan 0,947% untuk nilai substitusi pozolan 20%. Sama seperti perilaku kehilangan air hasil pemeraman, pada nilai penyerapan air hasil perendaman maka kecenderungan terjadi kenaikan besar prosentase penyerapan air terjadi seiring dengan bertambahnya substitusi pozolan alam.

Hasil analisis selengkapya dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Lengkap Silinder 15 x 30 cm (7 Hari)

| ITEM PENGUJIAN | SATUAN | DATA HASIL PENGUJIAN | | | |
|---|--------|----------------------|----------|----------|----------|
| PERAWATAN BENDA UJI SELAMA 7 HARI (15 x 30 cm) | | | | | |
| Kadar Semen | (%) | 5 | | | |
| Substitusi Abu Pozzolan | (%) | 0,00 | 10,00 | 20,00 | 30,00 |
| Berat Benda Uji + Cetakan (setelah di padatkan) | (gr) | 22923,80 | 22860,50 | 23010,20 | 22986,30 |
| Berat Cetakan | (gr) | 11283,60 | 11256,20 | 11444,10 | 11428,20 |
| Berat Benda Uji (total) | (gr) | 11640,20 | 11604,30 | 11566,10 | 11558,10 |
| Berat Cetakan + Benda Uji setelah di peram | (gr) | 22852,60 | 22790,70 | 22937,40 | 22913,50 |
| Berat Benda Uji Setelah di peram | (gr) | 11569,00 | 11534,50 | 11493,30 | 11485,30 |
| Kehilangan Kadar Air (pemeraman 4 x 24 jam) | (gr) | 71,20 | 69,80 | 72,80 | 72,80 |
| | (%) | -0,612 | -0,602 | -0,629 | -0,630 |
| Berat Benda Uji Setelah di rendam | (gr) | 11668,40 | 11638,80 | 11602,10 | 11589,10 |
| Penyerapan Benda Uji (perendaman 3 x 24 jam) | (gr) | 99,40 | 104,30 | 108,80 | 103,80 |
| | (%) | 0,859 | 0,904 | 0,947 | 0,904 |

Tabel 3. Hasil Lengkap Silinder 10 x 20 cm (7 Hari)

| ITEM PENGUJIAN | SATUAN | DATA HASIL PENGUJIAN | | | |
|---|--------|----------------------|---------|---------|---------|
| PERAWATAN BENDA UJI SELAMA 7 HARI (10 x 20 cm) | | | | | |
| Kadar Semen | (%) | 5 | | | |
| Substitusi Abu Pozzolan | (%) | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Berat Benda Uji + Cetakan (setelah di padatkan) | (gr) | 9578,70 | 9640,60 | 9651,40 | 9616,20 |
| Berat Cetakan | (gr) | 6133,60 | 6207,40 | 6226,50 | 6194,80 |
| Berat Benda Uji (total) | (gr) | 3445,10 | 3433,20 | 3424,90 | 3421,40 |
| Berat Cetakan + Benda Uji setelah di peram | (gr) | 9544,20 | 9608,30 | 9616,60 | 9582,30 |
| Berat Benda Uji Setelah di peram | (gr) | 3410,60 | 3400,90 | 3390,10 | 3387,50 |
| Kehilangan Kadar Air (pemeraman 4 x 24 jam) | (gr) | 34,50 | 32,30 | 34,80 | 33,90 |
| | (%) | -1,001 | -0,941 | -1,016 | -0,991 |
| Berat Benda Uji Setelah di rendam | (gr) | 3463,30 | 3457,60 | 3440,30 | 3440,60 |
| Penyerapan Benda Uji (perendaman 3 x 24 jam) | (gr) | 52,70 | 56,70 | 50,20 | 53,10 |
| | (%) | 1,545 | 1,667 | 1,481 | 1,568 |

Untuk hasil lengkap dari benda uji silinder 10 x 20 cm untuk umur perawatan 7 (tujuh) hari dapat dilihat pada Tabel 13. Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa kehilangan air selama pemeraman untuk benda uji tanpa substitusi pozolan sebesar 1,0014%, untuk substitusi pozolan 10% sebesar 0,9408%, dan substitusi pozolan 20% sebesar 1,0161%.

Dapat dilihat dari nilai-nilai ini maka perilaku prosentase nilai kehilangan air selama pemeraman sama dengan perilaku yang terjadi pada benda uji silinder 15x30 cm namun dengan nilai prosentase kehilangan yang lebih besar. Sedangkan untuk besar nilai prosentase penyerapan air masing-masing untuk benda uji tanpa substitusi pozolan, substitusi pozolan

10%, dan substitusi pozolan 20%, berturut-turut yakni 1,54518%, 1,66721%, dan 1,48078%. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa perilaku besar nilai perendaman berdasarkan variasi substitusi pozolan berbeda dengan benda uji 15x30 cm, namun besar prosentase kehilangan air akibat perendaman lebih besar.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengamatan terhadap benda uji silinder 15x30 cm dan 10x20 cm untuk variasi substitusi pozolan dilakukan juga untuk umur perawatan 14 (empat belas) hari dan 21 (dua puluh satu) hari. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7, berikut ini.

Tabel 4. Hasil Lengkap Silinder 15x30 cm (14 Hari)

| ITEM PENGUJIAN | SATUAN | DATA HASIL PENGUJIAN | | | |
|---|--------|----------------------|----------|----------|----------|
| PERAWATAN BENDA UJI SELAMA 14 HARI (15 x 30 cm) | | | | | |
| Kadar Semen | (%) | 5 | | | |
| Substitusi Abu Pozzolan | (%) | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Berat Benda Uji + Cetakan (setelah di padatkan) | (gr) | 22907,10 | 22905,20 | 22908,30 | 23001,40 |
| Berat Cetakan | (gr) | 11287,20 | 11321,90 | 11280,40 | 11392,60 |
| Berat Benda Uji (total) | (gr) | 11619,90 | 11583,30 | 11627,90 | 11608,80 |
| Berat Cetakan + Benda Uji setelah di peram | (gr) | 22801,10 | 22802,60 | 22800,40 | 22893,40 |
| Berat Benda Uji Setelah di peram | (gr) | 11513,90 | 11480,70 | 11520,00 | 11500,80 |
| Kehilangan Kadar Air (pemeraman 11 x 24 jam) | (gr) | 106,00 | 102,60 | 107,90 | 108,00 |
| | (%) | -0,912 | -0,886 | -0,928 | -0,930 |
| Berat Benda Uji Setelah di rendam | (gr) | 11679,30 | 11648,40 | 11683,70 | 11664,60 |
| Penyerapan Benda Uji (perendaman 3 x 24 jam) | (gr) | 165,40 | 167,70 | 163,70 | 163,80 |
| | (%) | 1,437 | 1,461 | 1,421 | 1,424 |

Tabel 5. Hasil Lengkap Silinder 10x20 cm (14 Hari)

| ITEM PENGUJIAN | SATUAN | DATA HASIL PENGUJIAN | | | |
|---|--------|----------------------|---------|---------|---------|
| PERAWATAN BENDA UJI SELAMA 14 HARI (10 x 20 cm) | | | | | |
| Kadar Semen | (%) | 5 | | | |
| Substitusi Abu Pozzolan | (%) | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Berat Benda Uji + Cetakan (setelah di padatkan) | (gr) | 9648,90 | 9610,40 | 9521,30 | 9646,70 |
| Berat Cetakan | (gr) | 6233,70 | 6187,40 | 6104,10 | 6230,70 |
| Berat Benda Uji (total) | (gr) | 3415,20 | 3423,00 | 3417,20 | 3416,00 |
| Berat Cetakan + Benda Uji setelah di peram | (gr) | 9594,20 | 9553,30 | 9462,70 | 9590,20 |
| Berat Benda Uji Setelah di peram | (gr) | 3360,50 | 3365,90 | 3358,60 | 3359,50 |
| Kehilangan Kadar Air (pemeraman 11 x 24 jam) | (gr) | 54,70 | 57,10 | 58,60 | 56,50 |
| | (%) | -1,602 | -1,668 | -1,715 | -1,654 |
| Berat Benda Uji Setelah di rendam | (gr) | 3434,80 | 3442,60 | 3436,30 | 3436,10 |
| Penyerapan Benda Uji (perendaman 3 x 24 jam) | (gr) | 74,30 | 76,70 | 77,70 | 76,60 |
| | (%) | 2,211 | 2,279 | 2,313 | 2,280 |

Tabel 6. Hasil Lengkap Silinder 15x30 cm (21 Hari)

| ITEM PENGUJIAN | SATUAN | DATA HASIL PENGUJIAN | | | |
|---|--------|----------------------|----------|----------|----------|
| PERAWATAN BENDA UJI SELAMA 21 HARI (15 x 30 cm) | | | | | |
| Kadar Semen | (%) | 5 | | | |
| Substitusi Abu Pozzolan | (%) | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Berat Benda Uji + Cetakan (setelah di padatkan) | (gr) | 22933,30 | 22865,40 | 23015,20 | 22966,80 |
| Berat Cetakan | (gr) | 11350,60 | 11286,20 | 11444,10 | 11398,20 |
| Berat Benda Uji (total) | (gr) | 11582,70 | 11579,20 | 11571,10 | 11568,60 |
| Berat Cetakan + Benda Uji setelah di peram | (gr) | 22787,10 | 22714,90 | 22868,60 | 22818,60 |
| Berat Benda Uji Setelah di peram | (gr) | 11436,50 | 11428,70 | 11424,50 | 11420,40 |
| Kehilangan Kadar Air (pemeraman 18 x 24 jam) | (gr) | 146,20 | 150,50 | 146,60 | 148,20 |
| | (%) | -1,262 | -1,300 | -1,267 | -1,281 |
| Berat Benda Uji Setelah di rendam | (gr) | 11635,40 | 11626,10 | 11626,10 | 11624,10 |
| Penyerapan Benda Uji (perendaman 3 x 24 jam) | (gr) | 198,90 | 197,40 | 201,60 | 203,70 |
| | (%) | 1,739 | 1,727 | 1,765 | 1,784 |

Tabel 7. Hasil Lengkap Silinder 10x20 cm (21 Hari)

| ITEM PENGUJIAN | SATUAN | DATA HASIL PENGUJIAN | | | |
|---|--------|----------------------|---------|---------|---------|
| PERAWATAN BENDA UJI SELAMA 21 HARI (10 x 20 cm) | | | | | |
| Kadar Semen | (%) | 5 | | | |
| Substitusi Abu Pozzolan | (%) | 0 | 10 | 20 | 30 |
| Berat Benda Uji + Cetakan (setelah di padatkan) | (gr) | 9648,50 | 9690,60 | 9611,30 | 9616,70 |
| Berat Cetakan | (gr) | 6234,10 | 6270,20 | 6188,60 | 6200,50 |
| Berat Benda Uji (total) | (gr) | 3414,40 | 3420,40 | 3422,70 | 3416,20 |
| Berat Cetakan + Benda Uji setelah di peram | (gr) | 9576,80 | 9620,30 | 9536,60 | 9542,30 |
| Berat Benda Uji Setelah di peram | (gr) | 3342,70 | 3350,10 | 3348,00 | 3341,80 |
| Kehilangan Kadar Air (pemeraman 18 x 24 jam) | (gr) | 71,70 | 70,30 | 74,70 | 74,40 |
| | (%) | -2,100 | -2,055 | -2,182 | -2,178 |
| Berat Benda Uji Setelah di rendam | (gr) | 3447,60 | 3457,50 | 3453,30 | 3446,60 |
| Penyerapan Benda Uji (perendaman 3 x 24 jam) | (gr) | 104,90 | 107,40 | 105,30 | 104,80 |
| | (%) | 3,138 | 3,206 | 3,145 | 3,136 |

Berdasarkan hasil-hasil analisis pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 7 di atas maka yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini yakni, dalam rangka memperbaiki sifat-sifat fisik campuran CTB terlebih khusus pengaruh adanya variasi substitusi pozolan, maka parameter yang akan dipakai yakni berat campuran. (Untuk hasil selengkapnya dari hasil-hasil analisis dapat dilihat pada lampiran akhir dari penulisan ini),

Pokok bahasan pada penelitian ini yakni benda uji 15x30 cm untuk umur perawatan 7 (tujuh) hari. Dapat dilihat bahwa seiring bertambah besarnya volume substitusi pozolan, dalam hal ini penambahan substitusi masing-masing sebesar 10% maka berat volume benda uji semakin menurun secara eksponensial yakni untuk benda uji tanpa substitusi pozolan seberat 11640,2 gram, untuk substitusi 10% seberat 11604,3 gram, untuk substitusi 20% seberat 11566,1 gram, dan untuk substitusi 30% seberat 11558,1 gram.

Hal ini menyebabkan kehilangan air selama pemeraman dan penyerapan air selama perendaman memiliki *trend* yang semakin meningkat. Dan sebagai pembanding, dapat dilihat pada hasil penelitian benda uji silinder 10 x 20 cm, seiring dengan volumenya berkurang maka terjadi hal yang sama yakni kehilangan air selama pemeraman serta penyerapan air selama perendaman mengalami peningkatan. Dan seiring waktu perawatan benda uji bertambah, secara otomatis maka peningkatan dari kedua parameter ini pun akan terus terjadi, dan dapat dilihat bahwa terjadi *trend* ketidakstabilan seiring umur perawatan pada benda uji ini semakin bertambah.

Sesuai yang telah ditetapkan sebelumnya maka berdasarkan persyaratan Standar Nasional Indonesia tentang LFAS, sesuai dengan hasil uji kuat Tekan, maka yang menjadi inti pengamatan yakni benda uji dengan substitusi pozolan sebesar 10% dan 20%.

Selanjutnya dapat dilihat bahwa dengan adanya substitusi pozolan pada campuran CTB sebagai pengganti semen untuk nilai substitusi berkisar antara 10% - 20% relatif terhadap berat semen maka dapat merapatkan gradasi agregat serta mengurangi luas permukaan agregat. Hal ini dapat dilihat dari terjadinya peningkatan kehilangan air selama pemeraman dan juga semakin besarnya penyerapan air selama perendaman. Namun apabila dilakukan substitusi pozolan sebesar 30% maka peningkatan FAS pada akhirnya menyebabkan terjadinya segregasi dan *bleeding* pada campuran beton.

Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa dalam rangka mencapai nilai kuat Tekan CTB sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan maka substitusi pozolan alam (tras) sebagai pengganti semen, sesuai penelitian ini, hanya dapat dilakukan pada interval nilai 10% - 20% dari besar massa semen yang dipakai. Nilai kehilangan air dan penyerapan air akan terus meningkat seiring dengan bertambah besarnya substitusi pozolan ini namun akan menyebabkan menurunnya nilai kuat Tekan CTB apabila telah melebihi kadar 20%.

Dari hasil pengujian juga maka dapat dilihat nilai kadar air yang diamati, seiring dengan bertambahnya substitusi pozolan maka

terjadi penurunan yakni berturut-turut, untuk umur benda uji 7 (tujuh) hari, substitusi pozolan 0% sebesar 7,43%, 10% sebesar 7,293%, dan 20% sebesar 7,259%.

Berdasarkan hasil ini dapat dilihat bahwa pertama-tama nilai kadar air berada di bawah nilai kadar air optimum yakni sebesar 7,9%. Selanjutnya, meskipun terjadi peningkatan nilai kehilangan kadar air selama pemeraman dan nilai penyerapan air selama perendaman, namun oleh karena tidak melampaui nilai KAO maka kinerja CTB akan semakin bertambah karena tidak terjadi segregasi berlebihan dan *bleeding*, yang biasanya selalu terjadi apabila nilai kadar air campuran melebihi nilai KAO nya.

2. Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka hasil akhir pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 8, berikut ini:

Tabel 8. Uji Kuat Tekan UCS

| Pengujian Kuat Tekan Campuran UCS (Silinder 15x30 cm) | | | | |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|
| Umur (Hari) | Substitusi Tras (Kadar Semen 5%) | | | |
| | 0% | 10% | 20% | 30% |
| 7 | 75.36 | 57.92 | 44.25 | 34.16 |
| 14 | 77.40 | 64.85 | 51.09 | 36.10 |
| 21 | 87.18 | 73.93 | 60.98 | 45.38 |

Sumber : Hasil Penelitian

Pada Tabel 8 di atas dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya substitusi pozolan, (0%, 10%, 20%, dan 30%), sebagai pengganti semen maka nilai kuat Tekan UCS cenderung semakin menurun di mana nilainya, untuk umur benda uji 7 (tujuh) hari, berturut-turut sebesar 23,14%, 41,27%, dan 54,67%; untuk umur benda uji 14 (empat belas) hari, berturut-turut, 16,21%, 33,99%, dan 53,36%;

serta untuk umur benda uji 21 (dua puluh satu) hari, berturut-turut, 15,2%, 30,06%, dan 47,97%. Penurunan nilai kuat tekan berkisar rata-rata 17%, untuk setiap penambahan 10% substitusi.

Untuk substitusi pozolan 0% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tekan CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut – turut 75,36 kg/cm², 77,40 kg/cm² dan 87,18 kg/cm², peningkatan kuat tekan sebesar 2,71% dan 12,64%, dengan rata-rata peningkatan sebesar 7,67% dan total peningkatan sebesar 15,68%.

Untuk substitusi pozolan 10% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tekan CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut–turut 57.92 kg/cm, 64,85 kg/cm² dan 73,93 kg/cm², peningkatan kuat tekan sebesar 11.96 % dan 14,00% dengan rata-rata peningkatan sebesar 12,98% dan total peningkatan sebesar 27,64%.

Untuk substitusi pozolan 20% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tekan CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut–turut 44.25 kg/cm, 51.09 kg/cm² dan 60.98 kg/cm², peningkatan kuat tekan sebesar 15.46 % dan 19,36% dengan rata-rata peningkatan sebesar 17,41% dan total peningkatan sebesar 37,81%.

Untuk substitusi pozolan 30% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tekan CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut–turut 34.16 kg/cm, 36.10 kg/cm² dan 45.38 kg/cm², peningkatan kuat tekan sebesar 5,68 % dan 25,71% dengan rata-rata peningkatan sebesar 15,69% dan total peningkatan sebesar 32,85%. Hasil secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 9, berikut.

Tabel 9. Peningkatan Kuat Tekan UCS (Silinder 15 x 20 cm)

| Peningkatan Kuat Tekan Campuran UCS (Silinder 15 x 30 cm) | | | | | | |
|---|-------------|--------------------|------------------------|--------|----------------------------------|------------------------------|
| Substitusi Pozzolan | Umur (Hari) | kg/cm ² | Peningkatan Kuat Tekan | | Rata-rata Peningkatan Kuat Tekan | Total Peningkatan Kuat Tekan |
| | | | kg/cm ² | % | | |
| 0% | 7 | 75,36 | | | | |
| | 14 | 77,40 | 2,04 | 2,71% | 7,67% | 16% |
| | 21 | 87,18 | 9,78 | 12,64% | | |
| 7 | 57,92 | | | | | |
| 10% | 14 | 64,85 | 6,93 | 11,96% | 12,98% | 28% |
| | 21 | 73,93 | 9,08 | 14,00% | | |
| | 7 | 44,25 | | | | |
| 20% | 14 | 51,09 | 6,84 | 15,46% | 17,41% | 38% |
| | 21 | 60,98 | 9,89 | 19,36% | | |
| | 7 | 34,16 | | | | |
| 30% | 14 | 36,10 | 1,94 | 5,68% | 15,69% | 33% |
| | 21 | 45,38 | 9,28 | 25,71% | | |

Sumber : Hasil Penelitian

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa semakin panjang umur perawatan maka semakin bertambah nilai kuat tekan yang di hasilkan, sedangkan penambahan nilai kuat tekan paling besar terjadi pada pengujian pada hari ke 14 dan 21, dengan rata-rata peningkatan 17,93%.

Peningkatan kuat tekan terlihat lebih signifikan pada komposisi campuran dengan substitusi pozolan 10% sampai 30% berkisar antara 11,96% sampai 25,71%, sedangkan untuk campuran tanpa substitusi pozolan hanya berkisar 2,71% sampai 12,64%. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian substitusi pozolan akan memberikan peningkatan kuat tekan yang signifikan, seiring dengan bertambahnya waktu perawatan campuran.

Mengacu pada SNI 8141:2015 syarat kuat tekan untuk CTB/LFAS-A 45-55 kg/cm², maka substitusi pozolan dapat diaplikasikan menurut hasil penelitian dan analisis hasil penelitian maksimal 20% dari berat semen dengan hasil pengujian pada hari ke 7 sebesar 44,25 kg/cm² dan pengujian pada hari ke 21 sebesar 60,98 kg/cm².

Untuk hasil pengujian kuat Tarik Belah, hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 10, berikut ini.

Tabel 10. Uji Kuat Tarik Belah

| Pengujian Kuat Tarik Belah Campuran (Silinder 10x20 cm) | | | | |
|---|----------------------------------|-------|------|------|
| Umur (Hari) | Substitusi Tras (Kadar Semen 5%) | | | |
| | 0% | 10% | 20% | 30% |
| 7 | 6.12 | 5.00 | 2.55 | 1.33 |
| 14 | 8.36 | 5.51 | 5.00 | 3.57 |
| 21 | 13.15 | 10.91 | 8.77 | 5.30 |

Sumber : Hasil Penelitian

Pada Tabel 10 di atas dapat dilihat bahwa nilai kuat Tarik Belah seiring bertambahnya substitusi pozolan, (0%, 10%, 20%, dan 30%), terhadap kadar semen, maka terjadi penurunan yakni, berturut-turut yakni sebesar, untuk umur 7 (tujuh) hari, 18,33%, 58,33%, dan 78,33%; untuk umur 14 (empat belas) hari, 34,15%, 40,24%, dan 57,32%; untuk umur 21 (dua puluh satu) hari, 17,05%, 33,33%, dan 59,69%. Sesuai dengan pengamatan yang dilakukan terhadap benda uji umur 7 (tujuh) hari, (mengacu pada nilai kuat Tekan), untuk substitusi pozolan 10%, dari Tabel dapat dilihat bahwa kuat Tarik Belahnya sebesar 5,00 kg/cm², dan substitusi pozolan 20% sebesar 2,55 kg/cm².

Dari hasil analisis di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan yang signifikan untuk substitusi pozolan dari besaran 10% ke besaran 20% pada umur benda uji 7 (tujuh) hari, sehingga dapat disimpulkan bahwa tren penurunan kuat tarik belah sering dengan penambahan jumlah substitusi pozolan.

Untuk substitusi pozolan 0% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tarik belah CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut-turut 6,12 kg/cm², 8,36 kg/cm² dan 13,50 kg/cm², peningkatan kuat tarik belah sebesar 36,60% dan 57,30%, dengan rata-rata peningkatan sebesar 46,95% dan total peningkatan sebesar 114,87%.

Untuk substitusi pozolan 10% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tarik belah CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut-turut 5,00 kg/cm², 5,51 kg/cm² dan 10,91 kg/cm², peningkatan kuat tarik belah sebesar 10,20% dan 98,00% dengan rata-rata peningkatan sebesar 54,10% dan total peningkatan sebesar 118,20%

Untuk substitusi pozolan 20% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tarik belah CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut-turut 2,55 kg/cm², 5,00 kg/cm² dan 8,77 kg/cm², peningkatan kuat tarik belah sebesar 96,08% dan 75,40% dengan rata-rata peningkatan sebesar 85,74% dan total peningkatan sebesar 243,92%.

Untuk substitusi pozolan 30% dengan durasi perawatan 7 hari, 14 hari dan 21 hari, maka nilai kuat tarik belah CTB cenderung bertambah, dengan hasil berturut-turut 1,33 kg/cm², 3,57 kg/cm² dan 5,30 kg/cm², peningkatan kuat tarik belah sebesar 168,42% dan 48,46% dengan rata-rata peningkatan sebesar 108,44% dan total peningkatan sebesar 298,50%.

Dari hasil analisis terdapat tren yang sama seperti pada benda uji silinder 15 x 30 cm untuk pengujian kuat tekan, terlihat bahwa semakin panjang umur perawatan maka semakin bertambah nilai kuat tarik belah yang di hasilkan, untuk substitusi 0% rata rata peningkatan kuat tarik belah adalah 46,95% dengan total peningkatan sebesar 114,87%, substitusi 10% meningkat rata-rata 54,10% dengan total peningkatan sebesar 118,20%, substitusi 20% meningkat rata-rata sebesar 85,74% dengan total peningkatan 243,92% dan substitusi 30% meningkat rata-rata sebesar

Tabel 11. Peningkatan Kuat Tarik Belah (Silinder 10 x 20 cm)

| Peningkatan Kuat Tarik Belah (Silinder 10 x 20 cm) | | | | | | |
|--|-------------|--------------------|------------------------|---------|--|------------------------------------|
| Substitusi Pozzolan | Umur (Hari) | kg/cm ² | Peningkatan Kuat Tarik | | Rata-rata Peningkatan Kuat Tarik Belah | Total Peningkatan Kuat Tarik Belah |
| | | | kg/cm ² | % | | |
| 0% | 7 | 6,12 | | | | |
| | 14 | 8,36 | 2,24 | 36,60% | 46,95% | 114,87% |
| | 21 | 13,15 | 4,79 | 57,30% | | |
| 7 | 5,00 | | | | | |
| 10% | 14 | 5,51 | 0,51 | 10,20% | 54,10% | 118,20% |
| | 21 | 10,91 | 5,40 | 98,00% | | |
| | 7 | 2,55 | | | | |
| 20% | 14 | 5,00 | 2,45 | 96,08% | 85,74% | 243,92% |
| | 21 | 8,77 | 3,77 | 75,40% | | |
| | 7 | 1,33 | | | | |
| 30% | 14 | 3,57 | 2,24 | 168,42% | 108,44% | 298,50% |
| | 21 | 5,30 | 1,73 | 48,46% | | |

Sumber : Hasil Penelitian

108,44% dengan peningkatan total sebesar 298,50%.

Peningkatan kuat tarik belah terjadi signifikan pada pengujian di hari ke 14 dan 21, rata-rata sebesar 76,90%, sedangkan untuk pengujian pada hari ke 7, rata-rata sebesar 47,63%.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian substitusi pozolan akan memberikan peningkatan kuat tarik belah yang signifikan, seiring dengan bertambahnya waktu perawatan campuran. Secara keseluruhan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 11.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Substitusi Pozolan alam sebagai pengganti semen dapat dilakukan pada variasi 10% - 20% dari berat semen. Terjadi peningkatan besar prosentase kehilangan air dan prosentase penyerapan air seiring dengan semakin besarnya substitusi pozolan alam.
2. Untuk Nilai kuat Tekan dan kuat Tarik Belah Beton maka:
 - a. Nilai kuat Tekan cenderung menurun seiring bertambah besarnya nilai substitusi.
 - b. Seiring ditambahkannya substitusi tras sebesar 10% maka penurunan kuat tekannya berkurang rata-rata sebesar 5%.

- c. Nilai kuat Tarik Belah seiring bertambahnya substitusi tras, (0%, 10%, 20%, dan 30%), terhadap kadar semen, maka terjadi penurunan.
- d. Nilai kuat tekan akan meningkat seiring bertambahnya durasi waktu perawatan campuran (7 hari, 14 hari dan 21 hari). Nilai kuat tekan akan semakin meningkat seiring bertambahnya durasi perawatan, sedangkan penambahan nilai kuat tekan paling besar terjadi pada periode 14 sampai 21 hari dengan rata-rata peningkatan 19,54%. Peningkatan kuat tekan terlihat lebih signifikan pada komposisi campuran dengan substitusi pozolan 10% sampai 30% berkisar antara 11,96% sampai 27,17%, sedangkan untuk campuran tanpa substitusi Pozolan hanya berkisar 2,71% sampai 12,98%.
- e. Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar nilai substitusi pozolan terhadap semen akan berbanding lurus dengan pengurangan nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik, nilai substitusi paling besar yang bisa diaplikasikan adalah 20% berdasarkan SNI-8141-2015, yakni 45-55 kg/cm².

Saran

Untuk penelitian lanjutan dapat melakukan percobaan pengujian dengan mencari suatu material dengan sifat-sifat fisik tertentu untuk dapat dicampurkan dengan pozolan alam dan selanjutnya dilakukan substitusi sebagai pengganti semen.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- Andrew, R. M. (2018). Global CO₂ Emissions from Cement Production. *Center for International Climate Research - CICERO*.
- Departemen PU. (2005). *Perencanaan Campuran Lapis Pondasi Hasil Daur Ulang Perkerasan Lama dengan Semen, Pd T-08-2005-B*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Dharma Giri I.B., Sudarsana, I Ketut, Agustiningsih, N.L.P. dan Eka Dharma Giri, I. S. (2008). Kuat Tarik Belah dan Lentur Beton dengan Penambahan Styrofoam (Styrocon). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 12, No. 2, Juli 2008.
- Guthrie, W. S. (2002). Effects of Reclaimed Asphalt Pavement on Mechanical Properties of Base Materials. 44-45.
- Hardjito, D. (2001, 10 29). Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen. Indonesia: Sinar Harapan. Retrieved from http://fportfolio.petra.ac.id/user_files/10002/Abu%20Terbang%20Solusi%20Pencemaran_Sinar%20Harapan%202001.pdf
- Ilham, A. (2005). Pengaruh Sifat Fisik dan Kimia Bahan Pozolan pada Beton Kinerja Tinggi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*.
- International Energy Agency. (1999). Looking at Energy Subsidies : Getting the Price Right. *Word Energy Outlook*.
- Manual Perkerasan Jalan. (2012). Lampiran Keputusan Dirjen Bina Marga 22.2/KPTS/Db/2012.
- Manual Perkerasan Jalan. (2013). Kementerian Pekerjaan Umum.
- Manual Perkerasan Jalan. (2017). Manual Perkerasan Jalan Revisi Juni 2017. *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Bina Marga*.
- Masykur. Novita, S. (2016, 5). Pengaruh Penggunaan Cement Treated Base Course dengan Metode ASTM untuk Peningkatan Daya Dukung Apron. *Tapak Vol. 5 No. 2*.
- Nasser, Y. M. Q. Mohsen, El-Korashy, S.A.S. and P. W. Brown. (2010). High replacements of reactive pozzolan in blended cements: Microstructure and mechanical properties. *Cement and Concrete Composites*, 368-391.
- Nurchasanah, Y. (2011). Karakteristik dan Peran Tahan tulan sebagai Pozolan Alam dalam Upaya Menggantikan Semen sebagai Bahan Konstruksi. *Seminar Nasional -1 BMPTTSSI-KOntEkS 5*.
- Papadakis, V.G. and S. Tsimas (2002). Supplementary Cementing Materials in Concrete: Part I, Efficiency and Design. *Cement and Concrete Research*, 1525-1532
- Rodgers, L. (2018). *Perubahan iklim: Inilah penghasil emisi CO₂ terbesar yang mungkin tak Anda sadari*. BBC News.
- Scullion, T.S. Sebasta, S. Harris, J.P. and I. Syed. (2000). A Balanced Approach to Selecting the Optimal Cement Content for Soil-Cement Bases. *Texas A&M University System, College Station, TX., Report 404611-1*.
- SNI ASTM C136. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. SNI ASTM C136-2012, ASTM C 136-06, IDT.

- Spesifikasi Umum Bina Marga. (2010). *Persyaratan Lapis Pondasi Agregat dengan CTB*.
- Standar Nasional Indonesia 03-2823. (1993). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Standar Nasional Indonesia 03-2847. (1992). *Perhitungan Struktur untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-1992.
- Standar Nasional Indonesia 03-4141. (1996). *Metode Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat*. SNI 03-4141-1996.
- Standar Nasional Indonesia 03-6817. (2002). *Metode Pengujian Mutu Air untuk digunakan dalam Beton*. SNI 03-6817-2002.
- Standar Nasional Indonesia 03-6861.1. (2002). *Bahan Bangunan Bukan Logam*. SNI 03-6861.1-2002.
- Standar Nasional Indonesia 03-6889. (2002). *Tata Cara Pengambilan Contoh Agregat*. SNI 03-6889-2002.
- Standar Nasional Indonesia 15-0302. (2004). *Semen Portland Pozolan*. SNI 15-0302-2004.
- Standar Nasional Indonesia 15-2049. (2004). *Semen Portland*. SNI 15-2049-2004.
- Standar Nasional Indonesia 15-7064. (2004). *Semen Portland Komposit*. SNI 15-7064-2004.
- Standar Nasional Indonesia 1743. (2008). *Cara Uji Kepadatan Berat Untuk Tanah*. SNI 1743-2008.
- Standar Nasional Indonesia 1967. (2008). *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. SNI 1967:2008.
- Standar Nasional Indonesia 1974. (2011). *Cara Uji Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974:2011.
- Standar Nasional Indonesia 2417. (2008). *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. SNI 2417-2018.
- Standar Nasional Indonesia 7617. (2012). *Metode Uji Penentuan Persentase Butir Pecah pada Agregat Kasar*. SNI 7619-2012.
- Standar Nasional Indonesia 8141. (2015). *Spesifikasi Lapis Fondasi Agregat Semen (LFAS)*. SNI 8141-2015.
- Waani, J. E., Sri, P. and Setiadji, B.H., (2014). Influence of Natural Pozzolan on Porosity-Cementitious Materials Ratio in Controlling the Strength of Cement Treated Recycled Base Pavement Mixtures. *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, 04-11.

Halaman ini sengaja dikosongkan