

APLIKASI BETON BOTTOM ASH UNTUK PONDASI JALAN

Nurul Chayati, Sri Widodo

Program Studi teknik Sipil FT UIKA Bogor

ABSTRAK

Pesatnya kemajuan teknologi beton semakin banyak penemuan dibidang material, inovasi pemakaian jenis material baru atau material daur ulang yang di dapat dari bahan sisa proses industri sehingga campuran beton menjadi semakin lebih baik, ekonomis, tahan lama, dapat digunakan sesuai kebutuhan dengan ketentuan dan persyaratan efektifitas penggunaannya. Penelitian ini menggunakan bahan material sisa proses industri atau residu yaitu; *Bottom ash* sebagai bahan material pengganti atau untuk mengurangi porsi pemakaian agregat halus (pasir Silika dan *M-sand*) didalam campuran beton. Tujuan dari penelitian yaitu; memperoleh nilai rata-rata tertinggi kuat tekan beton dengan pemakaian *Bottom ash* terhadap perbandingan pemakaian agregat halus (pasir Silika dan *M-sand*) di dalam campuran beton untuk pondasi jalan.

Nilai rata-rata tertinggi kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi 50% *Bottom ash* di dalam campuran beton menghasilkan kuat tekan yang paling optimum diantara empat variasi porsi persentase campuran. Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi 50% *Bottom ash* diperoleh nilai kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 112.44 kg/cm² berarti mempunyai nilai perbandingan sebesar 93.70% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 120 kg/cm². Hasil ini dapat disimpulkan bahwa: Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi 50% *Bottom ash* terhadap perbandingan campuran di dalam agregat halus, kuat tekan yang diperoleh tidak bisa digunakan untuk jenis campuran CTB (*Cement Treated Base*) akan tetapi cukup aman atau dapat digunakan untuk pondasi jalan, yaitu; jenis campuran CTSB (*Cement Treated Sub-Base*) yang mempunyai persyaratan kuat tekan pada umur beton 28 hari sebesar dan tidak boleh kurang dari 75 kg/cm² dengan mengikuti ketentuan sesuai persyaratan dan spesifikasi yang berlaku.

Kata Kunci; Bottom Ash, umur beton, kuat tekan beton.

PENDAHULUAN

Jumlah kebutuhan pemakaian batubara yang sangat besar menimbulkan masalah tersendiri menyangkut limbah yang dihasilkan dari sisa pembakaran batubara. Berdasarkan angka tersebut diperkirakan dapat menghasilkan 4.88 juta ton pertahun limbah padat berupa *Fly ash* dan *Bottom ash* (Sunandar P.S., PME-Indonesia, 2011). Sisi positif perkembangan industri yang pesat membawa kemajuan yang berarti bagi pembangunan perekonomian di Indonesia. Sisi negatif aktifitas dan kegiatan industri ini mendatangkan dampak negatif berupa polusi atau pencemaran lingkungan. Pemerintah berusaha mengembangkan industri yang bersih lingkungan dalam penggunaan, peningkatan daya guna daur ulang dan pemanfaatan limbah industri (Eka & Aries, 2011).

Pesatnya kemajuan teknologi beton semakin banyak penemuan dibidang material, inovasi pemakaian jenis material baru atau material daur ulang yang di dapat dari bahan sisa proses industri sehingga campuran beton menjadi semakin lebih baik, ekonomis, tahan lama, dapat digunakan sesuai kebutuhan dengan ketentuan dan persyaratan efektifitas penggunaannya. Penelitian ini menggunakan bahan material sisa proses industri atau residu yaitu; *Bottom ash* sebagai bahan material pengganti atau untuk mengurangi porsi pemakaian agregat halus (pasir Silika dan *M-sand*) didalam campuran beton. Pemanfaatan

Bottom ash diharapkan dapat menambah inovasi, ragam variasi penelitian, bahan kajian, dan budaya riset di bidang teknologi beton di kalangan masyarakat pada umumnya dan pelaku akademis pada khususnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yaitu; memperoleh nilai rata-rata tertinggi kuat tekan beton dengan pemakaian *Bottom ash* terhadap perbandingan pemakaian agregat halus (pasir Silika dan *M-sand*) di dalam campuran beton untuk pondasi jalan.

TINJAUAN PUSTAKA Beton

Beton adalah campuran material komposit yang sangat rumit, sifat beton sangat tergantung pada sifat unsur masing-masing serta interaksinya, yang mempunyai karakteristik dan sifat yang dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan, salah satunya adalah dengan cara mengganti atau mengurangi komposisi pemakaian dari salah satu bahan material penyusunnya, yaitu; pasir Silika pada saat proses pencampuran adukan beton dalam variasi dan jumlah tertentu, sehingga didapatkan beton yang mempunyai kuat tekan, sifat atau karakteristik yang sesuai kebutuhan. Tetapi pengertian yang salah dari kesederhanaan ini sering menghasilkan persoalan pada produk, antara lain reputasi

yang buruk dari beton sebagai materi bangunan (Nugraha & Antoni, 2007).

Semen Portland

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *Clinker* yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan *Gips* sebagai bahan tambahan (PUBI-1982). Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat

agar terjadi suatu *Massa* yang kompak atau padat, selain itu juga untuk mengisi rongga diantara butiran-butiran agregat (Nugraha 2007). Semen *Portland* yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *Holcim* tipe I, yaitu; semen untuk penggunaan umum, dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Susunan oksida semen *Portland* (PUBI-1982) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Susunan oksida semen

No	Oksida	Persentase
1	Kapur (CaO ₄)	60 - 65
2	Silika SiO ₂	17 - 25
3	Alumina (Al ₂ O ₃)	3 - 8
4	Besi (Fe ₂ O ₃)	0.5 - 6
5	Magnesia (MgO)	0.5 - 4
6	Sulfur (SO ₃)	1 - 2
7	Soda / <i>Portash</i> (Na ₂ O + K ₂ O)	0.5 - 1

Sumber: PUBI-1982

Semen *Portland* dibagi menjadi 5 jenis sesuai dengan tujuan pemakaian dan penggunaannya (SK SNI T-15-1990-30:02) adalah sebagai berikut:

- Jenis I (OPC) *Ordinary Portland Cement*, Semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus.
- Jenis II (MSR) *Moderate Sulphate Resistance*, Semen untuk beton tahan sulfat sedang dan mempunyai panas hidrasi sedang.
- Jenis III (HES) *High Early Strength*, Semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
- Jenis IV (LHH) *Low Heat of Hydration*, Semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah.
- Jenis V (HSR) *High Sulphate Resistance*, Semen untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat tinggi.

Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menempati 70%-75% volume beton, sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton (Kusnadi 1997). Agregat yang digunakan dalam beton normal adalah: Pasir, *Gravel* (batu kerikil bulat atau batu kali), *Crushed stone (Split)*, *M-sand*, *Bottom ash*, dan *Copper slag*. Dasar pengetahuan mengenai sifat-sifat agregat adalah: *Grading*,

Maximum Size, *Fineness Modulus*, *Moisture Content*, *Specific Gravity* dan *Density*. Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan susun beton adalah sebagai berikut:

- Agregat halus

Agregat halus adalah semua butiran lolos saringan 4.75 mm. Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alami, hasil pecahan dari batuan secara alami, atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu yang biasa disebut abu batu. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, serta tidak mengandung zat-zat organik yang dapat merusak beton. Kegunaan dari agregat halus adalah untuk mengisi ruangan antara butir agregat kasar (Andi, 2004).

- Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan di ayakan 4.75 mm. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil dari pemisahan alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual atau mesin. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butiran yang keras, permukaan yang kasar, dan kekal. Agregat harus memenuhi syarat kebersihan yaitu; tidak mengandung lumpur lebih dari 1% dan tidak mengandung zat-zat organik yang dapat merusak beton (*Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM C 33-03*). *Split* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan

Screening 5-14, Split 14-25 dan Split 20-40 dari Maloko Rumpin.

Air

Air dalam campuran beton salah satu faktor penting karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton karena kelebihan air akan menyebabkan penurunan pada kekuatan beton. Selain itu juga jumlah air yang berlebihan akan mengakibatkan beton menjadi *Bleeding*, yaitu; air bersama-sama dengan semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton, hal ini akan mengakibatkan berkurangnya lekatan antara lapis-lapis beton. Namun apabila air yang digunakan terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata. Air yang digunakan pada pembuatan beton harus memenuhi syarat yaitu air minum, tidak mengandung lumpur, tidak mengandung zat organik, tidak berbau, tidak kotor, serta tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/1 liter (Supriyatna 1996). Perlu diingat bahwa 30 liter air diperlukan untuk hidrasi 100 kg semen.

Bahan tambah (*Admixture*)

Admixture adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja beton. Penggunaan *Admixture* di dalam campuran

beton mempunyai beberapa keuntungan yaitu; memperbaiki *Workability* beton, mengurangi biaya pekerjaan beton, menambah keawetan beton, meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan usia pakai beton, mengurangi penyusutan, membuat beton lebih kedap air, porositas dan daya serap air pada beton rendah (Amalia 2009). Bahan tambahan yang berupa bahan kimia ditambahkan dalam campuran beton dalam jumlah tidak lebih dari 5% berat *Cementitious* selama proses pengadukan atau selama pelaksanaan pengadukan tambahan dalam pengecoran beton. Ketentuan mengenai bahan tambahan ini harus mengacu pada SNI 03-2495-1991. Untuk tujuan peningkatan kinerja beton bahan tambahan campuran beton dapat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Daratard P-25*.

TATA KERJA

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini dimulai pada tanggal 04 Februari 2013 sampai dengan tanggal 30 Maret 2013. Tempat penelitian dilaksanakan di laboratorium *R & D Holcim Beton*, Narogong.

Metode Memperoleh Nilai Kuat Tekan Beton

Metode yang akan diterapkan dalam memperoleh nilai kuat tekan beton ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian memperoleh nilai kuat tekan beton

HASIL DAN BAHASAN

Memperoleh Nilai Rata-Rata Tertinggi Kuat Tekan Beton
 Pengujian material

- 1) Pengujian agregat halus
 - a) Pengujian kadar lumpur agregat halus
 - b) Pengujian dan analisis ayak agregat (*Grading*), perhitungan FM agregat halus

dan grafik individual daerah gradasi agregat halus terhadap spesifikasi ASTM

- a) Hasil analisis pengujian ayak agregat halus, maka perhitungan FM agregat halus (pasir Silika, *M-sand* dan *Bottom ash*). Grafik individual daerah gradasi agregat halus terhadap spesifikasi ASTM Pengujian analisis ayak agregat (*Grading*), FM agregat kasar dan grafik individual daerah gradasi agregat kasar terhadap spesifikasi ASTM

- a. Hasil analisis pengujian ayak agregat kasar untuk *Screening 5-14*,

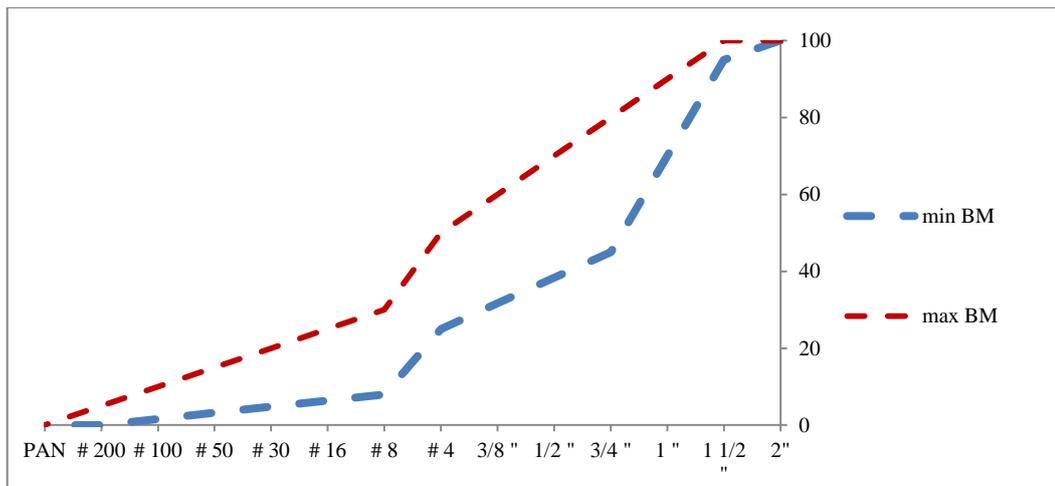
persamaan untuk *Split 14-25* dan *Split 20-30*, maka perhitungan FM agregat kasar

- b. Grafik individual daerah gradasi agregat

1) Daerah gradasi agregat CTB spesifikasi Bina Marga

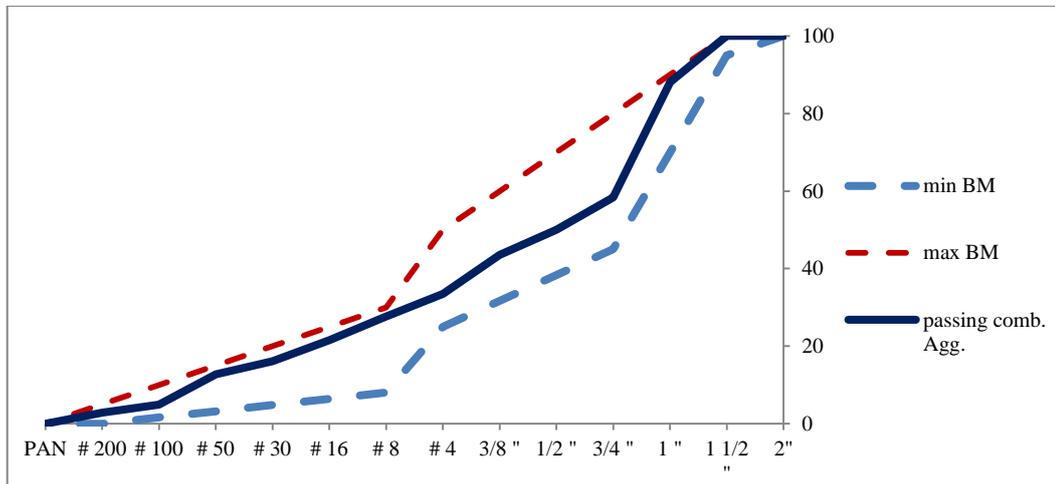
Berdasarkan ketentuan pada Tabel 2.3 tentang spesifikasi gradasi agregat CTB untuk perancangan campuran beton (*Mix-design*), maka diperoleh hasil:

- a) Gambar grafis daerah gradasi agregat CTB ditunjukkan pada Gambar 2.

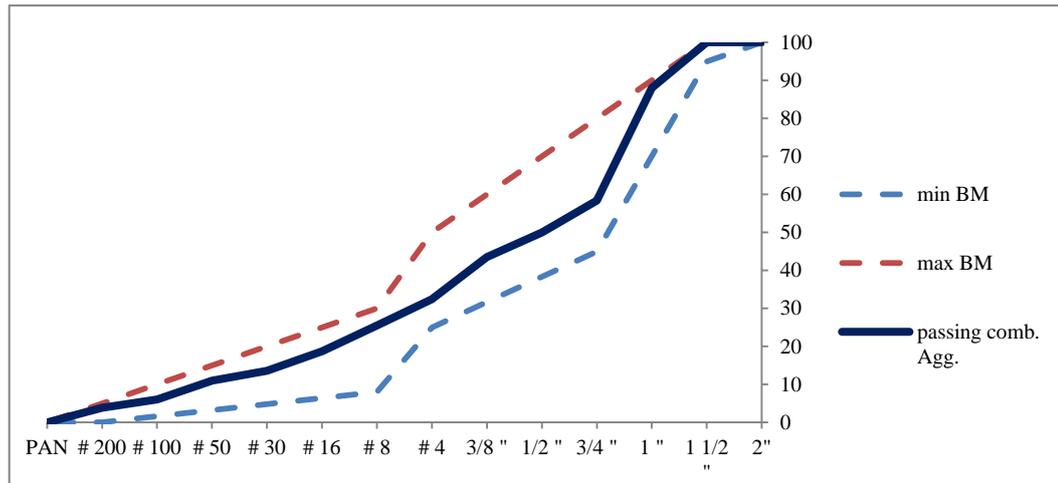


Gambar 2 Grafik daerah gradasi agregat CTB spesifikasi Bina Marga

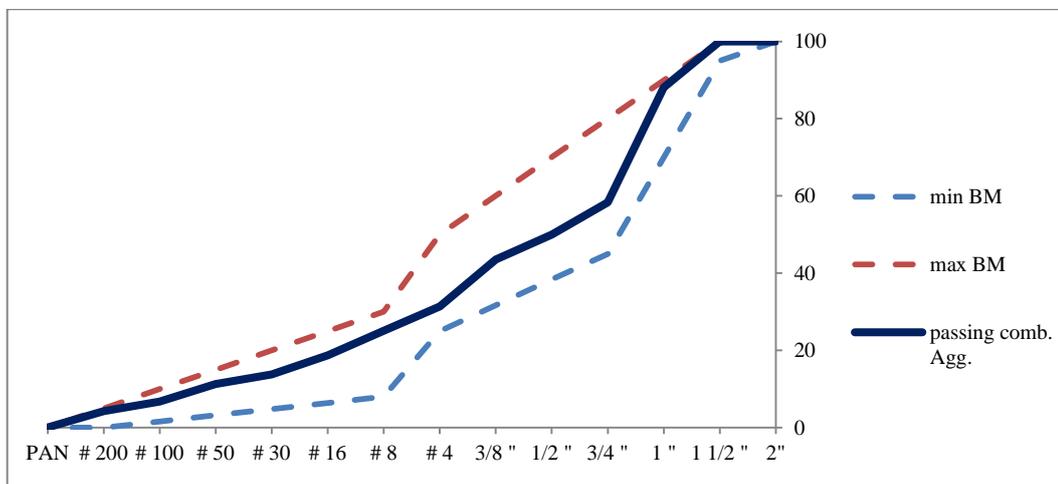
- b) Perhitungan kombinasi agregat gabungan terhadap daerah gradasi spesifikasi Bina Marga.



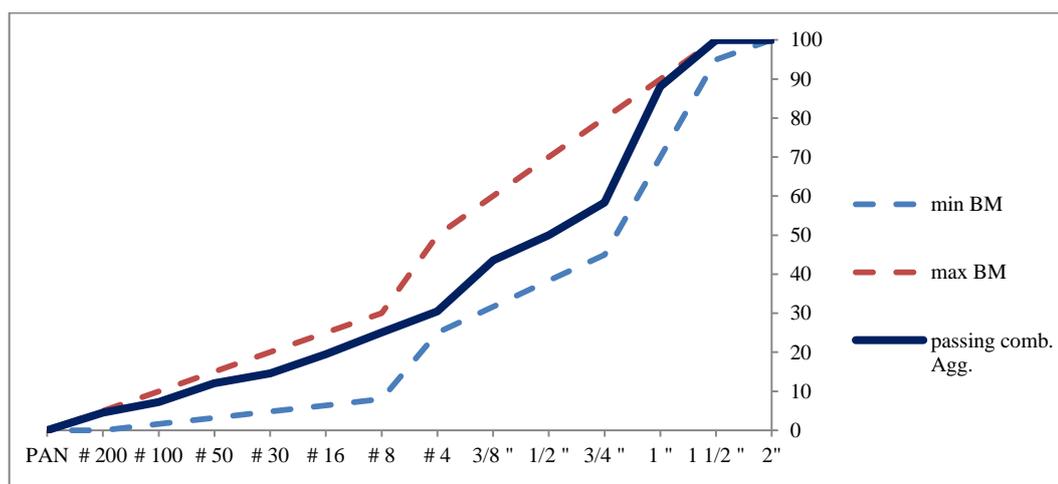
Gambar 3 Grafik kombinasi agregat gabungan terhadap daerah gradasi spesifikasi Bina Marga dengan perbandingan pemakaian 25% *Bottom ash*



Gambar 4 Grafik kombinasi agregat gabungan terhadap daerah gradasi spesifikasi Bina Marga dengan perbandingan pemakaian 50% Bottom ash



Gambar 5 Grafik kombinasi agregat gabungan terhadap daerah gradasi spesifikasi Bina Marga dengan perbandingan pemakaian 75% Bottom ash



Gambar 6 Grafik kombinasi agregat gabungan terhadap daerah gradasi spesifikasi Bina Marga dengan perbandingan pemakaian 100% Bottom ash

1) Nilai tambah ($Margin = M$)

Berdasarkan nilai deviasi standar ditentukan 7 MPa, maka nilai tambah ($Margin$) dihitung

dengan perhitungan dan diperoleh hasil: 11.48 MPa.

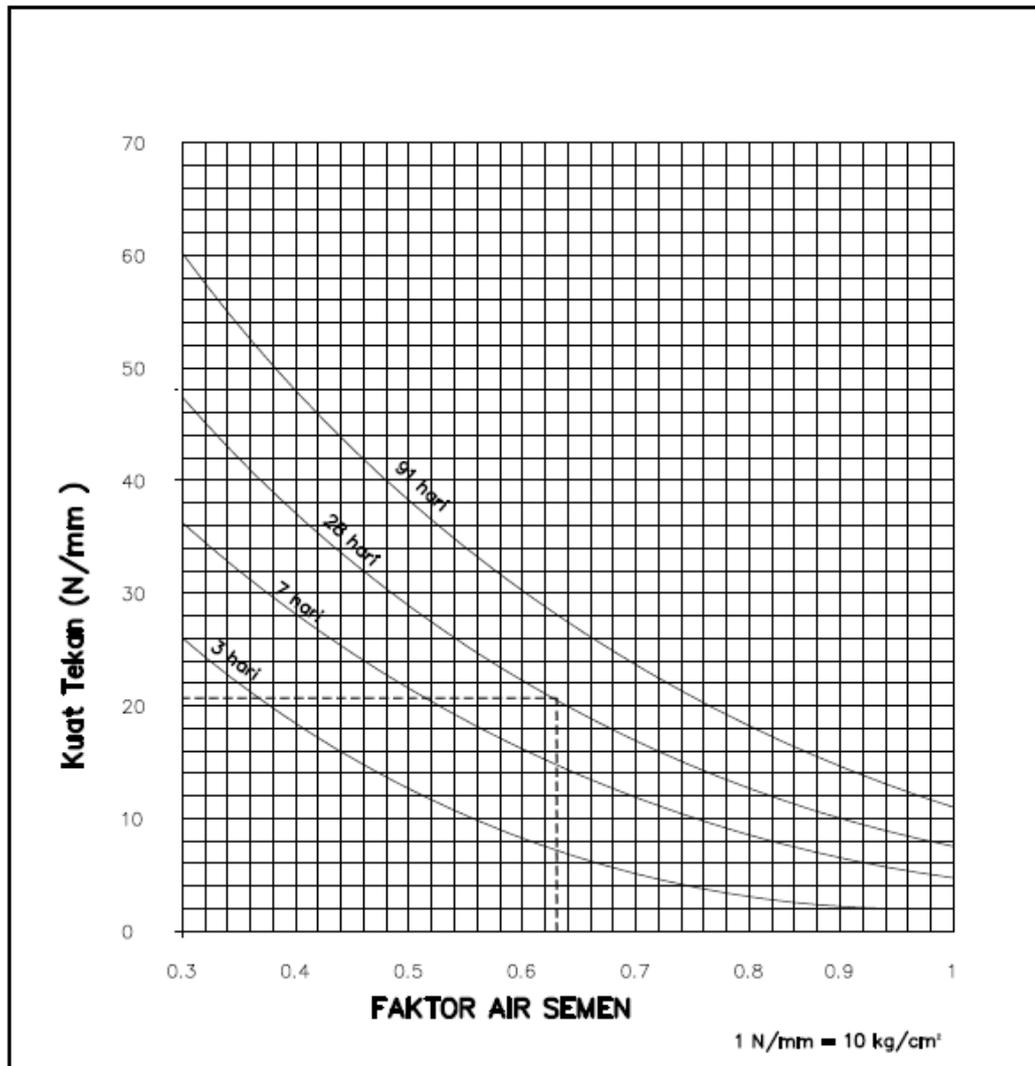
2) Kuat tekan yang ditargetkan

Berdasarkan perhitungan, maka nilai kuat tekan yang ditargetkan adalah: 21.25 MPa.

3) Faktor Air Semen

Berdasarkan hasil penarikan garis grafik dari kuat tekan yang ditargetkan dengan

Grafik Faktor Air Semen, maka diperoleh nilai Faktor Air Semen: 0.63 dan hasil perhitungan FAS ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Nilai Faktor Air Semen

4) Kadar air bebas

Dari metode coba-coba diperoleh kadar air bebas sebesar: 90 liter untuk 1 m³ adukan beton atau sebesar: 4 liter dalam setiap *Trial-Mix* dengan 0.032 m³ adukan beton.

5) Kebutuhan semen

Berdasarkan perhitungan, maka kebutuhan semen yang dibutuhkan dalam perencanaan campuran (*Mix-design*) dalam volume 1 m³ adalah: 142.86 kg.

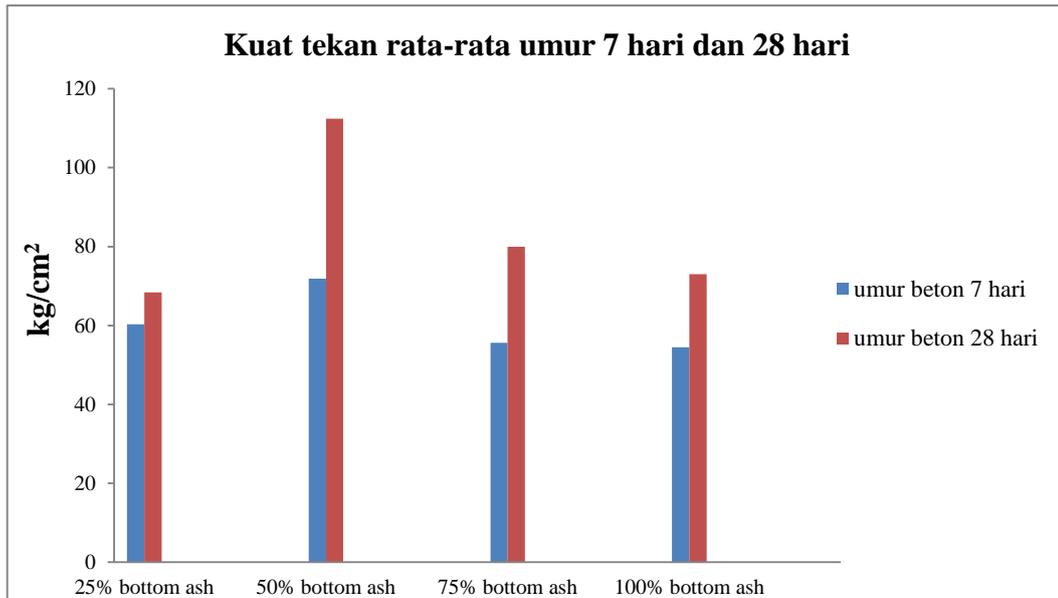
6) BJ SSD agregat gabungan

a) BJ SSD gabungan agregat halus

Berdasarkan persamaan perhitungan, maka BJ SSD gabungan agregat halus

2) Diagram batang perbandingan kuat tekan rata-rata beton 7 hari dan 28 hari

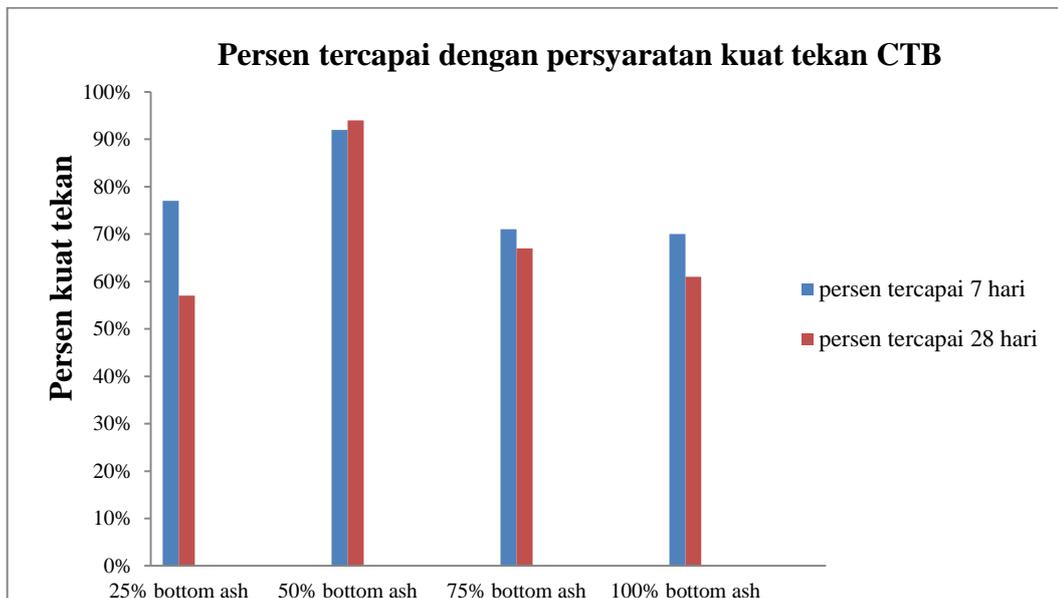
Diagram batang perbandingan kuat rata-rata beton 7 hari dan 28 hari ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram batang perbandingan kuat rata-rata beton 7 hari & 28 hari

3) Diagram batang persen pencapaian kuat tekan rata-rata beton dengan persyaratankuat tekan CTB

Diagram batang persen pencapaian kuat tekan rata-rata dengan persyaratan kuat tekan CTB ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Diagram batang persen pencapaian kuat tekan rata-rata dengan persyaratan CTB

Bahasan Pengujian material

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode grafik individual daerah gradasi dari masing-masing agregat halus dapat dijelaskan bahwa daerah gradasi individual masing-masing agregat halus tidak sesuai dengan daerah gradasi pada spesifikasi ASTM C33-03, maka perlu dikombinasikan supaya gradasinya memenuhi standar dan syarat

untuk bisa digunakan di dalam rancangan campuran beton (*Mix-design*).

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode grafik individual daerah gradasi dari masing-masing agregat kasar dapat dijelaskan bahwa daerah gradasi individual *Split 14-25* dan *Split 20-30* tidak sesuai dengan daerah gradasi pada spesifikasi ASTM C33-03, sedangkan daerah gradasi individual *Screening 5-14* sesuai dengan daerah gradasi

spesifikasi ASTM C33-03 meskipun demikian *Screening 5-14* adalah salah satu bagian dari pada agregat kasar, maka perlu dikombinasikan supaya gradasinya memenuhi standar dan syarat untuk bisa digunakan di dalam rancangan campuran beton (*Mix-design*).

Kombinasi agregat dan daerah gradasi agregat

Kombinasi lolos saringan agregat halus untuk campuran beton dalam penelitian ini menggunakan 3 jenis agregat halus yaitu; *Bottom ash*, *M-sand* dan pasir Silika dengan porsi variasi campuran menyesuaikan dengan porsi variasi pemakaian *Bottom ash* sebagai pengganti atau untuk mengurangi pemakaian pasir Silika dan *M-sand* atau dapat dijelaskan bahwa: porsi variasi penggunaan *Bottom ash* (25%, 50%, 75% dan 100%) akan mempengaruhi persen penggunaan pasir Silika dan *M-sand*, semakin besar persen penggunaan *Bottom ash* akan mengurangi pemakaian pasir Silika dan *M-sand*, penggunaan 100% *Bottom ash* di dalam kombinasi agregat halus berarti penggunaan agregat halus hanya memakai *Bottom ash* saja.

Kombinasi lolos saringan agregat kasar untuk campuran beton dalam penelitian ini menggunakan 3 jenis agregat kasar dengan porsi variasi campuran 25% berbanding 75% atau dapat dijelaskan bahwa: 25% *Screening* dan 75% perpaduan *Split 20-30* dan *Split 14-25* yang terbagi dalam (15% *Split 14-25* dan 60% *Split 20-30*), hal ini dimaksudkan untuk menyesuaikan persyaratan daerah gradasi Bina Marga, 2010.

Kombinasi agregat gabungan adalah kombinasi yang diperoleh dari penggabungan antara kombinasi agregat halus dan kombinasi agregat kasar. Berdasarkan metode grafis dan cara coba-coba dengan menyesuaikan daerah gradasi spesifikasi Bina Marga 2010 diperoleh nilai (*s/a*): 33.33% atau dapat dijelaskan bahwa pemakaian total agregat halus sebesar 33.33% dan pemakaian agregat kasar sebesar: $100 - 33.33 = 66.67\%$.

Daerah gradasi agregat untuk rancangan campuran ditentukan dengan cara membandingkan atau memplotkan hasil kombinasi agregat gabungan dengan daerah gradasi spesifikasi Bina Marga, 2010.

Mix design

Kuat tekan mengacu pada persyaratan jenis campuran CTB untuk lapis perkerasan jalan spesifikasi umum Bina Marga, 2010 yang mempunyai kuat tekan: 78 kg/cm^2 pada umur

beton 7 hari dan 120 kg/cm^2 pada umur beton 28 hari.

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 tentang tata cara perencanaan struktur beton disebutkan bahwa apabila data untuk menetapkan standar *Deviasi* tidak tersedia maka kuat tekan rata-rata perlu (f'_{cr}) ditetapkan berdasarkan kuat tekan yang disyaratkan (f'_c) yaitu jika persyaratan kuat tekan kurang dari 21 MPa maka *Deviasi* ditentukan $f'_c + 7$.

Berdasarkan pada persyaratan dan spesifikasi Bina Marga, 2010, tentang perkerasan berbutir, lapis perkerasan jalan dengan jenis campuran CTB yang bertujuan untuk memperoleh campuran beton yang mudah dituang, dipadatkan dan diratakan maka ditetapkan dengan menggunakan: *Slump 0* atau *Zero Slump*.

Pengadukan beton

Pengadukan dilakukan dalam 4 tahap, setiap pengadukan (*Trial-mix*) memakai 6 sampel benda uji silinder dan setiap adukan mempunyai volume: 0.032 m^3 dibagi menjadi 2 variasi umur beton yaitu; 3 sampel untuk umur beton 7 hari dan 3 sampel untuk umur beton 28 hari.

Kuat tekan beton

Pengujian umur 7 hari

Pengujian kuat tekan umur beton 7 hari pada porsi campuran 25% *Bottom ash* dengan 3 sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 60.28 kg/cm^2 berarti mempunyai nilai perbandingan 77.3% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 78 kg/cm^2 .

Pengujian kuat tekan umur beton 7 hari pada porsi campuran 50% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 71.87 kg/cm^2 berarti mempunyai nilai perbandingan 92.1% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 78 kg/cm^2 .

Pengujian kuat tekan umur beton 7 hari pada porsi campuran 75% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 55.64 kg/cm^2 berarti mempunyai nilai perbandingan 71.3% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 78 kg/cm^2 .

Pengujian kuat tekan umur beton 7 hari pada porsi campuran 100% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 54.48 kg/cm^2 berarti mempunyai nilai perbandingan 69.8% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 78 kg/cm^2 .

Pengujian kuat tekan umur beton 7 hari dengan porsi variasi persentase campuran 25%, 50%, 75% dan 100 *Bottom ash* terhadap pemakaian agregat halus secara keseluruhan tidak memenuhi syarat kuat tekan yang disyaratkan untuk jenis campuran CTB spesifikasi Bina Marga, 2010.

Pengujian umur 28 hari

Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi campuran 25% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 68.39 kg/cm² berarti mempunyai nilai perbandingan 56.99% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 120 kg/cm².

Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi campuran 50% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 112.44 kg/cm² berarti mempunyai nilai perbandingan 93.70% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 120 kg/cm².

Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi campuran 75% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 79.98 kg/cm² berarti mempunyai nilai perbandingan 66.65% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 120 kg/cm².

Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi campuran 100% *Bottom ash* dengan tiga sampel benda uji silinder diperoleh nilai kuat tekan rata-rata sebesar 73.03 kg/cm² berarti mempunyai nilai perbandingan 60.85% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 120 kg/cm².

Pengujian kuat tekan umur 28 hari dengan porsi variasi persentase campuran 25%, 50%, 75% dan 100 *Bottom ash* terhadap pemakaian agregat halus secara keseluruhan tidak memenuhi syarat kuat tekan yang disyaratkan pada jenis campuran CTB spesifikasi Bina marga, 2010.

Hasil analisis kuat tekan beton umur 7 hari dan umur 28 hari

Hasil analisis kuat tekan beton umur 7 hari dan umur 28 hari adalah sebagai berikut:

- a) Kuat tekan rata-rata tertinggi pada umur beton 7 hari dan 28 hari pada porsi persentase 50% *Bottom ash* di dalam agregat halus menghasilkan kuat tekan yang paling optimum diantara empat variasi porsi persentase campuran pada hasil analisis pengujian kuat tekan. Hal tersebut disebabkan pada porsi persentase tersebut komposisi Gradasi, komposisi perbandingan agregat gabungan dan komposisi proporsi persentase (s/a) mencapai takaran dan perbandingan yang paling ideal

sehingga kuat tekan beton yang dihasilkan paling optimum dari 4 porsi variasi komposisi campuran di dalam *Trial mix* penelitian.

- b) Nilai kuat tekan rata-rata terendah pada umur beton 7 hari yaitu pada porsi persentase campuran 100% penggunaan *Bottom ash* di dalam agregat halus yaitu sebesar 54.48 kg/cm² atau 69.8% terhadap kuat tekan yang disyaratkan untuk jenis campuran CTB sebesar 78 kg/cm². Nilai kuat tekan rata-rata terendah pada umur beton 28 hari yaitu pada porsi persentase campuran 25% pemakaian *Bottom ash* di dalam agregat halus yaitu sebesar 68.39 kg/cm² atau 56.99% dari kuat tekan yang disyaratkan sebesar 120 kg/cm². Hal tersebut disebabkan pada porsi persentase tersebut komposisi gradasi, komposisi perbandingan agregat gabungan dan komposisi perbandingan persentase (s/a) belum atau tidak mencapai takaran dan perbandingan yang ideal sehingga kuat tekan beton yang dihasilkan rendah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Nilai rata-rata tertinggi kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi 50% *Bottom ash* di dalam campuran beton menghasilkan kuat tekan yang paling optimum diantara empat variasi porsi persentase campuran. Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi 50% *Bottom ash* diperoleh nilai kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar 112.44 kg/cm² berarti mempunyai nilai perbandingan sebesar 93.70% dari kuat tekan yang disyaratkan spesifikasi CTB yaitu sebesar 120 kg/cm². Hasil ini dapat disimpulkan bahwa: Pengujian kuat tekan umur beton 28 hari pada porsi 50% *Bottom ash* terhadap perbandingan campuran di dalam agregat halus, kuat tekan yang diperoleh tidak bisa digunakan untuk jenis campuran CTB (*Cement Treated Base*) akan tetapi cukup aman atau dapat digunakan untuk pondasi jalan, yaitu; jenis campuran CTSB (*Cement Treated Sub-Base*) yang mempunyai persyaratan kuat tekan pada umur beton 28 hari sebesar dan tidak boleh kurang dari 75 kg/cm² dengan mengikuti ketentuan sesuai persyaratan dan spesifikasi yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, P., Aggarwal, Y., et, al. (2007). *Effect of bottom ash as replacement fine aggregate in concrete*. *Asian Journal of Civil Engineering*.
- Amalia. 2009. *Studi Eksperimental Perilaku Mekanik Beton Normal Dengan Substitusi Limbah Debu Pengolahan Baja (Dry Dust Collector)*. Program Pasca Sarjana Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Andi. 2004. *Teknologi Beton*, Yogyakarta, 2004.
- ASTM C 33-03. (2001). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Ata, O., Olusola, K., Omojola, O., & Olapenikun, A. (2007). *A Study of Comprehensive Strength Characteristic of Laterite/Sand Hollow Blocks*. *Civil Engineering Dimension*.
- Bahan Konstruksi Perkerasan Jalan. (2004). *Cement Treated Base, CTB. Teknologi Lapis Pondasi Perkerasan Jalan*. PT. Utama Prima.
- Christina & Megawati, (2000). *Penggunaan Bottom ash sebagai material dalam CSLM (Controlled Low Strength Material)*. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- DPU. (2010). *Spesifikasi Umum Perkerasan Berbutir dan Perkerasan Beton Semen*. Direktorat Jenderal Bina Marga., Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Eka & Aries. (2011). *Penggunaan dan Peningkatan Daya Guna Limbah Industri*. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Harvey, (1998)., Waller., (1993)., Gupta., (2007) & McKerall. (1982). *Coal bottom ash. Boiler slag – Material Description*. (2000).
- Kusnadi M. 1997. *Teknologi Beton 1. Bahan-Bahan Campuran Beton*. Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan. ITB. Bandung.
- Nugraha Paul & Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- PUBLI. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*. Peraturan Semen Portland Indonesia.
- Pujianto., Tri Retno., & Ariska. (2000). *Beton Mutu Tinggi Dengan Admixture Superplastiziser dan Aditif Silicafume*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta.
- SK SNI T-15-1990-03 (1990). *Tata Cara Pembuatan Beton Normal*. Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2495-(1991). *Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Sunandar, P.S. (2011). *Asosiasi Pemasok Energi dan Batubara Indonesia*. ASPEBINDO. *Petroleum Mining Energy*, PME-Indonesia.
- Sunarko & Manuel. (2011). *Metoda Pemasatan Batako Berlubang dengan Pemanfaatan Fly ash dan Bottom ash*. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Supriyatna. (1996). *Perencanaan dan Pengendalian Mutu Beton*. UNIKOM. Bandung.
- Tjokrodimulyo. (1995). *Buku Ajar bahan Bangunan*. UGM. Yogyakarta.
- W. R. Grace. (2008). *Water-reducing Initial Set Retarder*. *Grace Construction Products*. *Daratard P-25*.
- Yüksel, I., & Bilir, T. (2007). *Usage of Industrial By-products to Produces Plain Concrete Elements*. *Construction and Building Material*.