

ANALISIS PENGARUH KARAKTERISTIK BAHAN BAKU AGREGAT PASIR JEMBER DAN KERIKIL PANDAAN TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI

Irma Lestari Anggraini, Sutikno

Program Study S1 Pend. Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : irma.langraini@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pasir Jember dan kerikil Pandaan beserta pengaruhnya pada beton mutu tinggi yang direncanakan. Kebutuhan penggunaan beton sebagai salah satu bagian dari sektor konstruksi menuntut adanya peningkatan kekuatan beton sebagai salah satu faktor utama yang diharapkan pada kemajuan teknologi beton saat ini. Jember yang berada di wilayah Gunung Semeru dan pantai Selatan memiliki potensi melimpah berupa material agregat halus pasir besi dan kota Pandaan yang juga menjadi salah satu kota yang terkenal memiliki potensi alam berupa kerikil merupakan alasan mengapa dipilihnya material dari dua daerah ini untuk dijadikan sebagai campuran beton mutu tinggi.

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui karakteristik agregat pasir Jember dan kerikil Pandaan. Karakteristik tersebut meliputi berat jenis, analisa ayakan, berat volume, kadar lumpur, dan keausan pada kerikil. Agregat yang dipilih untuk direncanakan menjadi beton mutu tinggi juga agregat pasir jember dan kerikil pandaan dengan rencana mutu 40MPa, 45Mpa, dan 50MPa. Benda uji yang digunakan adalah silinder (15 cm x 30cm) berjumlah 33 benda uji, tiap mutu beton 11 benda uji, serta perencanaan *Mix Design* menggunakan metode DOE pada Conmixer V1.0 Vista.

Penelitian ini juga dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh karakteristik terhadap kuat tekan, kuat tarik (*split cylinder*), dan modulus elastisitas pada beton mutu tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari beberapa pengujian karakteristik (berat jenis, analisa ayakan, berat volume, kadar lumpur, dan keausan) terhadap kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton mutu tinggi mencapai nilai tegangan yang direncanakan namun belum memenuhi syarat regangan. Tegangan rata-rata yang direncanakan 40 MPa mencapai 43,13 MPa, tegangan yang direncanakan 45 MPa mencapai 47,86 MPa, dan yang direncanakan 50 MPa mencapai 52,65 MPa

Kata Kunci: Beton Mutu Tinggi, Pasir Jember, Kerikil Pandaan, Karakteristik, Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Modulus Elastisitas

Abstract

The purpose of this study was to determine the characteristics of Jember's sand and Pandaan's gravel influence on high quality concrete that is planned. The used of concrete as a part of construction has raised the needs of betterment upon quality and strength of concrete in technology of concrete nowadays. Jember which is located in the region of Mount Semeru and South coast has the potential abundance of material in the form of fine aggregate and sand iron Pandaan city is also one of the famous city has the potential of nature in the form of gravel is the reason why choosing the material from these two areas to be used as a quality concrete mix high.

This study was conducted to investigate the characteristics of aggregate sand and gravel Pandaan Jember. These characteristics include density, sieve analysis, heavy volume, levels of mud, and wear and tear on the gravel. Aggregate planned to be selected for high strength concrete also muddy sand and gravel aggregate Pandaan with quality plan 40MPa, 45MPa, and 50MPa. Specimens used were cylindrical (15 cm x 30cm) totaling 33 test specimens, each specimen quality concrete 11, as well as the planning of Mix Design using the DOE method Conmixer V1.0 Vista. This study was also conducted to determine the effect of the characteristics of the compressive strength, tensile strength (*split cylinder*), and modulus of elasticity of high strength concrete.

The results showed that the testing of several characteristics (specific gravity, sieve analysis, heavy volume, the levels of sludge, wear and tear) on the compressive strength, modulus of elasticity and tensile strength of high strength concrete sides reached a voltage value that is planned but not yet eligible strain. Average voltage reaches the planned 40 MPa 43.13 MPa, 45 MPa planned voltage reaches 47.86 MPa and 50 MPa achieve the planned 52.65 Mpa.

Keywords: High Quality Concrete, Jember Sand, Gravel Pandaan, Characteristics, Compressive Strenght, Tensile Strenght, and Modulus of Elasticity

PENDAHULUAN

Pembangunan ditujukan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia dengan pemanfaatan seluruh sumber daya yang ada secara optimal. Pembangunan tersebut tidak hanya dalam skala nasional, namun juga dalam skala regional/wilayah. Sektor konstruksi sebagai salah satu indikator dalam pembangunan, mempunyai peranan penting dan strategis dalam pembangunan nasional, mengingat sektor ini menghasilkan produk akhir berupa bangunan baik yang berupa sarana maupun prasarana yang berfungsi mendukung peningkatan pertumbuhan dan perkembangan berbagai sektor, terutama sektor konstruksi bangunan. Perkembangan pada sektor konstruksi akan semakin meningkat, maka dituntut pula peningkatan mutu, efisiensi, dan produktivitas pada kreatifitas, material, dan kinerjanya.

Beton segar dari beton bermutu tinggi memiliki tuntutan mudah dalam pengerjaan pengecoran (*workable*), panas hidrasi yang rendah (*low heat of hydration*), serta mudah dipompakan ke tempat yang lebih tinggi.

Beton yang sudah mengeras juga dituntut memiliki kekuatan tekan yang tinggi, kuat tarik yang lebih baik, kedap air, tahan terhadap korosi sulfat, dan awet.

Pra penelitian pada material pembuatan beton juga wajib dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat halus (pasir Jember) dan agregat kasar (kerikil Pandaan) agar didapatkan komposisi beton yang bermutu dan berkinerja tinggi yang optimal, yang diharapkan mampu mencapai kuat tekan, kuat tarik, serta modulus elastisitas yang diharapkan.

Provinsi Jawa Timur, khususnya Kabupaten Jember, mempunyai potensi yang cukup besar dalam menghasilkan pasir besi, khususnya daerah pantai Selatan, Kecamatan Ambulu, Mayang, Panti, Wuluhan, Summersari, Paseban dan Jenggawah. Pasir besi dari Jember memiliki tekstur kasar, keras, serta tajam. Kota Pandaan juga menjadi salah satu kota yang terkenal memiliki potensi penghasil sumber bahan baku campuran beton berkualitas tinggi, yaitu kerikil. Sifat dan karakteristik agregat kasar ini sangat menentukan kualitas akhir beton yang dikerjakan.. Pasir dan kerikil adalah komponen penting untuk pembuatan campuran beton. Dua material ini dipilih bertujuan untuk inovasi pengembangan penelitian dengan menggunakan alternatif potensi material daerah di Jawa Timur khususnya pasir Jember dan kerikil Pandaan sebagai material bahan utama dalam penelitian beton mutu tinggi.

Peneliti bermaksud melakukan penelitian dengan judul "Analisis Pengaruh Karakteristik Sumber Bahan Baku Agregat Pasir Jember dan Kerikil Pandaan Pada Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Tarik (*Split*

Cylinder) Beton Mutu Tinggi" berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijabarkan di atas.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- (1) Bagaimana karakteristik agregat halus dari kabupaten Jember dan agregat kasar dari kabupaten Pandaan ? dan (2) Bagaimana pengaruh karakteristik agregat terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi yang dihasilkan ? Adapun tujuan penelitian ini adalah : (1) Untuk mengetahui karakteristik agregat halus dari kabupaten Jember dan agregat kasar dari kabupaten Pandaan. (2) Untuk mengetahui pengaruh karakteristik agregat terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi.

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari medium campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air serta bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Mulyono,2005).

Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah: a). Kualitas semen, b). Proporsi semen terhadap campuran, c). Kekuatan dan kebersihan agregat, d). Interaksi atau adhesi antara pasta semen dan agregat, e). Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, f). Penempatan yang benar, g). Perawatan beton, h). Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos 1% bagi beton yang tidak diekspos (Tjokrodimulyo, 1995). Perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton mutu tinggi juga berubah sesuai dengan perkembangan jaman dan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Pada tahun 1950, beton dikategorikan mempunyai mutu tinggi jika kekuatan tekannya 30 MPa. Saat ini beton dikatakan sebagai beton mutu tinggi jika kekuatan tekannya di atas 40 MPa dan di atas 80 MPa adalah beton mutu sangat tinggi (Supartono, 1998).

Tri Mulyono (2004) menyatakan bahwa beton umumnya terdiri dari tiga bahan penyusun utama, yaitu semen, agregat, dan air. Jika diperlukan, bahan tambahan (*admixture*) dapat ditambahkan untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton yang bersangkutan. Semen merupakan bahan pengikat yang umum dipakai pada struktur beton. Terdapat beberapa jenis semen di pasaran, antara lain:

- a) *Type I* : Semen yang paling umum dipakai dan diperjual belikan dipasaran.
- b) *Type II* : Semen dengan daya tahan terhadap asam sulfat moderat demikian juga panas hidrasi yang ditimbulkan dan jenis ini cocok untuk konstruksi dekat pantai atau laut.
- c) *Type III* : Semen untuk campuran yang memerlukan kekuatan awal tinggi.

- d) *Type IV* : Semen dengan panas hydrasi rendah-rendah, sehingga cocok untuk beton masif.
- e) *Type V* : Semen yang digunakan pada kondisi dimana kandungan acid atau sulfat dari air tanah atau tanah cukup tinggi.

Selain keempat type semen tersebut, terdapat juga beberapa type khusus, antara lain:

- a) *Pozzolan* : Bahan yang dapat membentuk persenyawaan kimiawi dengan air semen sehingga mampu menambah kepadatan struktur beton. *Pozzolan* alam antara lain: debu gunung berapi dan lempung yang mengeras. Sedangkan *pozzolan* yang umum dipakai adalah *fly ash* (abu hasil pembakaran) batu bara. Bahan ini bermanfaat untuk menekan kadar semen, mengurangi panas hidrasi, dan mempertinggi kekuatan beton.
- b) *PC (Portland Cement) Mansory* : Semen khusus untuk pasangan batu/bata dan beton mutu sedang.

Semen dan air akan saling bereaksi bila dicampur. Persenyawaan ini akan membentuk hidrasi semen. Proses reaksi berjalan sangat cepat dan menghasilkan panas. Kecepatan proses pengikatan air dan semen dapat diperlambat dengan penambahan bahan gips/pozzolan sehingga dapat diangkut ke lokasi yang jauh. Samekto dan Rahmadiyahanto (2001) menyatakan bahwa agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengikis atau pengkurus dalam campuran mortar (aduk) dan beton, dipakai bersama dengan bahan perekat, dan membentuk suatu massa yang keras, padat, bersatu, yang disebut adukan beton. Bahan dasar agregat bisa berupa material sungai maupun material gunung. Untuk material yang bersumber dari laut, pasir, maupun koral, pada dasarnya secara teknis dapat dimanfaatkan, tetapi harus dihilangkan dahulu garam dan kotorannya. Garam pada air laut dapat mengakibatkan beton menjadi rapuh dan juga mengakibatkan korosi pada tulangnya. Bahan yang didapat dengan menggali secara kering biasanya tercampur tanah liat, lumpur atau gamping sehingga perlu dicuci. Karena agregat merupakan faktor paling utama yang menentukan kekuatan beton, maka perlu dilakukan pengujian sebagai berikut:

Test untuk keperluan ketahanan/durabilitas dan kekuatan:

1. Daya tahan terhadap gesekan, keausan, dan pecah (test abrasi) yang bertujuan untuk mengetahui presentasi kehilangan berat maksimum. Test ini mengindikasikan kualitas/kekerasan agregat dan kemungkinan pelapukan batuan.
2. Reaksi terhadap bahan kimia atau alkali
3. Pengotoran bahan kimia (misalnya khlorida, sulfat) yang dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada tulangan.

4. Kekekalan bentuk (*Soundness Test*) yang bertujuan mengetahui tingkat keausan agregat.

Test untuk keperluan perencanaan campuran:

1. Bentuk partikel dan tekstur permukaan, yaitu pembatasan bagian yang pipih dan memanjang. *Test* ini bermanfaat untuk menentukan karakteristik dan ketebalan / plastisitas campuran.
2. Gradasi, dengan analisa saringan. *Test* ini bermanfaat untuk penentuan karakteristik beton, plastisitas, kadar semen dan juga mencegah terjadinya keropos atau adanya lubang pori-pori yang berlebih.
3. Berat volume agregat, akan berpengaruh pada berat beton yang dihasilkan.
4. Tingkat penyerapan air dan kelembaban Agregat, akan bermanfaat untuk menentukan kadar air yang diperlukan untuk pembuatan beton sehingga tidak terjadi kekurangan / kelebihan air.

Pengerasan beton dihasilkan oleh reaksi semen dan air, maka air yang dipakai harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Air tawar yang dapat diminum sudah pasti merupakan pilihan terbaik, namun mengingat air minum tidak selalu ada, maka air yang dipakai pada prinsipnya harus diperiksa sehingga tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton / baja tulangnya. Persyaratan air untuk campuran beton : a). Jernih, b). Tawar / tidak asin dan tidak mengandung garam, c). Tidak terdapat kotoran – kotoran yang mengapung, d). Tidak mengandung fosfat, asam, minyak alkali, dan bahan-bahan organis, 5). Apabila air dipakai sebagai perawatan setelah pengecoran, maka air tersebut harus memiliki kadar keasaman $pH > 6$ dan sebaiknya mengandung kadar kapur. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan tekan. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi di dalam pengerasan beton. Kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan (mudahnya beton untuk dicor) akan tetapi menurunkan kekuatan. Suatu ukuran dari pengerjaan beton ini diperoleh dengan percobaan slump (*Chu-Kia Wang,1993*). *Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton:*

- a. *Admixture* atau bahan tambah didefinisikan dalam *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum

atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah ini digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi. Pada umumnya, bahan kimia tambahan dibagi menjadi:

1. *Water Reducing / Plasticizer*, yang berfungsi untuk mempertinggi kekentalan / plastisitas beton basah tanpa menambah kadar air, sehingga pengecorannya lebih mudah dan mutu beton tetap terpelihara. (*Admixtures Type A*)
2. Akselerator, yang berfungsi untuk mempercepat pengerasan beton sehingga mempercepat pelepasan bekisting. (*Admixtures Type B*)
3. Retarder, yang berfungsi untuk memperlambat awal pengikatan / pengerasan sehingga memperpanjang waktu pengecoran. (*Admixtures Type C*)
4. *Plasticizer + Akselerator (Admixtures Type D)*
5. *Plasticizer + Retarder (Admixtures Type E)*

b. *Faktor Air Semen*

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini, nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat tergantung pada faktor air semen yang digunakan dan kehalusan butir semennya, (Tri Mulyono,2005).

c. *Kontrol Kualitas*

Untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi, faktor kontrol terhadap kualitas proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan mutlak menjadi perhatian penting.

d. *Agregat Halus (Pasir)*

Syarat mutu SII.0052-80, "*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*" untuk agregat halus umumnya mempunyai MHB (Modulus Halus Butir) sekitar 1,5 sampai 3,8. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai MHB sekitar $2,5 < MHB < 3,0$ umumnya menghasilkan beton mutu tinggi (Larrard, 1990). Gradasi yang baik dan teratur (*continous*) dari agregat halus akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi sela (*gap*) atau seragam. Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton segar maupun beton keras.

e. *Agregat Kasar*

Ukuran butir maksimum agregat kasar akan mempengaruhi mutu beton yang dibuat. Hasil penelitian Larrard (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan bukti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan diperolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya. Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton segar maupun beton keras.

a) **Kuat Tekan Beton**

Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dibebani dengan gaya tekan sampai dengan hancur. Karena ada beban tekan P, maka terjadi tegangan tekan pada beton yang dibagi dengan luas penampang beton.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana σ = kuat tekan silinder (MPa)

P = gaya tekan (N)

A= luas permukaan (mm²)

Pengujian kuat tekan beton mengacu ke standar ASTM C39M-01 dikarenakan pengujian pada skala laboratorium (masih berupa benda uji) dan penggunaan peralatan yang sederhana, yang dilakukan pada umur beton 28 hari, langkah-langkah pengujiannya adalah :

- a. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan.
- b. Sampel beton ditimbang dan dicatat beratnya, kemudian diamati apakah terdapat cacat pada beton sebagai bahan laporan.
- c. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan mesin uji tekan beton.
- d. Meletakkan sample beton ke dalam alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sample beton.
- e. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.

b) **Tegangan Dan Regangan Beton Mutu Tinggi**

Bentuk kurva lebih linier dan makin curam dengan modulus elastisitas yang semakin besar dibagian naik dan regangan besar pada tegangan maksimum. Kemiringan bagian menurun lebih tajam daripada beton mutu sedang. Ini menimbulkan pertanyaan dari penggunaan persamaan kode untuk desain, khususnya pada lentur. Perbedaan bentuk hubungan tegangan regangan bisa menyebabkan perbedaan lokasi gaya resultan dalam beton bertulang pada beban ultimit. Perbedaan lain adalah beton mencapai bagian non-linier secara signifikan (pada regangan 0,001) baja masih didalam kisaran elastis.

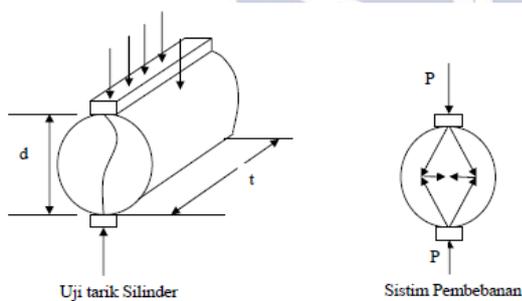
Namun baja masih bisa leleh sebelum beton mencapai titik hubungan tegangan-regangan yang non linier. Regangan ultimit pada kehancuran adalah lebih rendah dari beton mutu sedang.

c) Uji Kuat Tarik Beton

Pengujian kuat tarik beton mengacu ke standar ASTM C496-96 dikarenakan pengujian pada skala laboratorium (masih berupa benda uji) dan penggunaan peralatan yang sederhana, pada metode ini sebuah silinder berukuran 15x30 cm di bebani pada penampang memanjang dengan beban yang ditingkatkan bertahap, sampai silinder mengalami kehancuran pada penampang memanjang. Gaya terbesar p dicatat dan tegangan tarik silinder dihitung dengan rumus :

$$f_r = \frac{2 p}{\pi l d} \quad (2.2)$$

f_r = kekuatan tarik kg/cm²
 l = tinggi silinder = 30 cm
 d = diameter silinder = 15 cm
 p = gaya terbesar (ton)



Gambar 1. Uji Split Cylinder. (Sumber:Tesis Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag, Ali Achmadi, 2009)

d) Modulus Elastisitas Beton Mutu Tinggi

Pengujian modulus elastisitas mengacu ke standar ASTM-C469-94, mengasihkan akurasi yang lebih tinggi dengan pengoperasian alat yang lebih sederhana. Pengujian ini dapat diketahui regangan longitudinal/searah beban dengan penambahan beban secara bertahap mulai 1 ton sampai 40% mutu beton maksimum. Nilai modulus elastisitas dihitung dengan rumus persamaan sebagai berikut:

$$E = \sigma/\epsilon \quad (2.3)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas
 σ = tegangan
 ϵ = regangan.

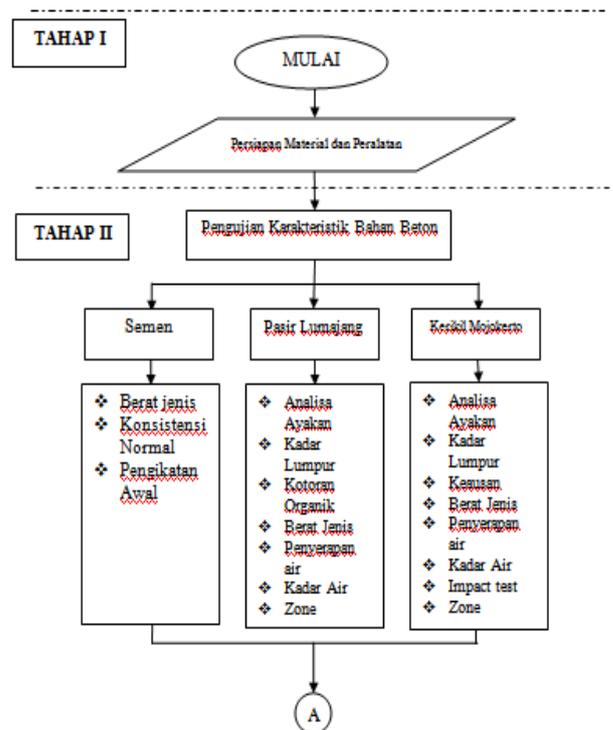
e) Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)

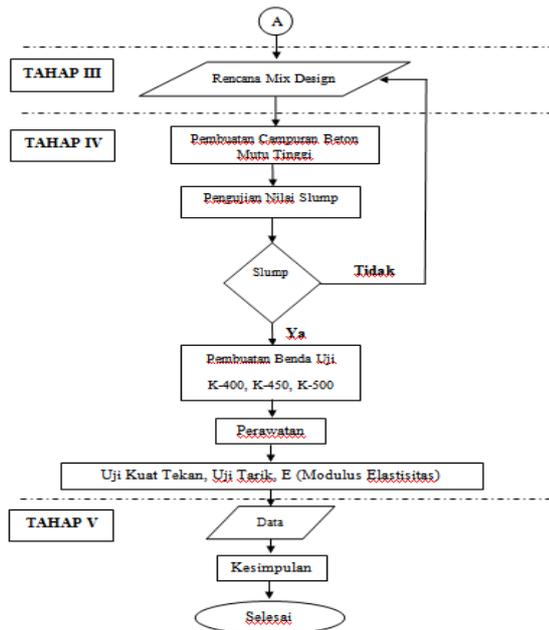
Tujuan utama mempelajari sifat-sifat beton adalah untuk perencanaan campuran (Mix Design), yaitu pemilihan

bahan-bahan beton yang memadai, serta menentukan proporsi masing-masing bahan untuk menghasilkan beton ekonomis dengan kualitas yang baik (Antoni-P.Nugraha, 2007). Langkah perhitungan Mix Design dapat diuraikan sebagai berikut: menentukan kuat tekan rata-rata rencana (f^c); faktor air semen; nilai slump; besar butir agregat maksimum; kadar air bebas; proporsi agregat; berat jenis agregat gabungan; menghitung proporsi campuran beton; dan koreksi proporsi campuran. Pada penelitian ini menggunakan Conmixer V.10 Vista untuk perencanaan Mix Design.

METODE

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan kerja seperti yang tercantum dalam bagan alir di bawah ini :





Gambar 2. Bagan Alir Tahapan Penelitian

Keterangan :

1. Tahap I

Pada tahap ini dilakukan persiapan baik bahan maupun peralatan yang akan digunakan dalam pengujian material, pembuatan adukan beton, pengujian slump dan pembuatan benda uji.

2. Tahap II

Pada tahap ini dilakukan pengujian material yaitu semen, agregat halus dan agregat kasar. Pengujian material bertujuan untuk mengetahui karakteristik material dan menentukan apakah material tersebut memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton. Selain itu juga untuk membuat *mix design*.

3. Tahap III

Pada tahap ini dilakukan *mix design* untuk mengetahui proporsi semen, agregat halus, agregat kasar dan air yang diperlukan dalam campuran beton agar diperoleh f_c' atau karakteristik beton yang direncanakan.

4. Tahap IV

Pada tahap ini dilakukan pembuatan campuran beton (*mixing*) sesuai dengan *mix design*. Selanjutnya dilakukan pengujian. Untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik serta modulus elastisitas campuran beton, dibuat benda uji silinder dengan ukuran 30 cm x 15 cm sebanyak 33 buah silinder dengan aturan tiap karakteristik beton 11 benda uji. Kuat tekan sebanyak 5 buah silinder, kuat tarik 3 buah silinder dan 3 buah silinder untuk modulus elastisitas.

5. Tahap V

Pada tahap ini dilakukan analisa data dari hasil pengujian.

Klasifikasi penelitian ini termasuk penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya,

Dalam penelitian ini akan menganalisis potensi material pasir Jember dan kerikil Pandaan sebagai campuran beton mutu tinggi, serta pengaruh karakteristik material tersebut terhadap kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas beton mutu tinggi. Penelitian eksperimen ini dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Instrumen pengumpulan data berupa Alat (timbangan, gelas ukur, mesin aduk beton, cetakan benda uji silinder dan *slump cone*) dan Bahan (semen, kerikil Pandaan, pasir Jember dan air). Tekni pengumpulan data yang digunakan yaitu dengan studi literature dan eksperimen di Laboratorium.

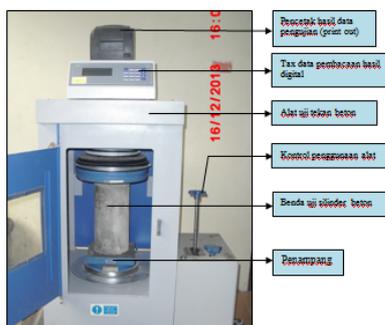
Pada penelitian ini menggunakan analisa data deskriptif kualitatif yang digunakan untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik serta modulus elastisitas beton mutu tinggi dengan menggunakan material pasir Jember dan kerikil Pandaan. (1) Pengujian karakteristik agregat halus meliputi analisa saringan, analisa kadar air, analisa berat jenis, analisa berat volume dan analisa kadar lumpur. Data-data pengujian pasir tersebut, sangat diperlukan sebagai data masukan dalam pembuatan *mix design* beton. Misalnya untuk data analisa saringan pasir akan diolah bersama data analisa saringan batu pecah untuk menentukan prosentase perbandingan pasir dan batu pecah dalam campuran beton. Selain itu data kadar air asli dan penyerapan air juga dibutuhkan untuk koreksi berat agregat dan berat air dalam campuran beton. Selain untuk keperluan *mix design*, data-data tersebut juga dapat dipergunakan sebagai data pendukung yang dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik serta mutu beton yang dihasilkan. Data analisa saringan dapat memberikan informasi mengenai gradasi dari pasir yang digunakan. Gradasi agregat yang baik adalah gradasi yang menerus, karena butir-butir agregat akan saling mengisi dengan baik, sehingga jumlah pori atau ruang antar agregat yang dihasilkan sedikit. Kandungan pori dalam agregat berhubungan langsung dengan kekuatan beton yang dihasilkan, dimana semakin tinggi angka pori pada agregat berarti semakin tinggi pula angka pori dalam beton, yang pada akhirnya akan menyebabkan turunnya kekuatan beton. Kadar lumpur juga dapat mempengaruhi kekuatan beton. Lumpur tidak dapat menjadi satu dengan semen, sehingga adanya kadar lumpur yang tinggi pada pasir akan menghalangi penggabungan dan mengurangi kekuatan ikatan antara pasir dengan semen, dan pada akhirnya akan mengurangi kekuatan beton. Selain itu, kandungan zat organik pada pasir, seperti humus, asam, atau sisa-sisa bahan organik yang telah membusuk lainnya, dapat mempengaruhi proses hidrasi pada semen. Terganggunya proses hidrasi dari semen akan menyebabkan proses hidrasi semen menjadi tidak sempurna, sehingga dapat mempengaruhi

waktu ikat serta kekuatan dari beton yang dihasilkan.(2) Pengujian karakteristik agregat kasar meliputi analisa saringan, analisa kadar air, analisa berat jenis, analisa berat volume, keausan dan analisa kadar lumpur. Data-data tersebut juga digunakan dalam pembuatan *mix design* beton. Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa untuk menentukan proporsi agregat kasar diperlukan data hasil analisa saringan. Sedangkan untuk keperluan koreksi berat agregat kasar dan berat air dilakukan analisa kadar air asli dan penyerapan air. Pada dasarnya kuat beton merupakan fungsi dari dua faktor utama yaitu, mutu agregat kasar dan ikatan antara matrix semen dengan agregat. Kekuatan lekatan antara agregat kasar dengan semen dipengaruhi tekstur permukaan agregat kasar, dimana semakin kasar tekstur permukaan agregat kasar maka akan semakin baik lekatannya. Kadar lumpur yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya lekatan antara semen dengan agregat kasar, karena pada umumnya lumpur tersebut menempel dipermukaan agregat kasar sehingga menghalangi lekatan yang terjadi. Kekuatan beton juga ditentukan oleh kekuatan dari agregat kasar.

Kekuatan beton akan semakin tinggi apabila agregat kasar yang digunakan keras, padat dan tidak berpori. Untuk mengetahui tingkat kekerasan agregat kasar dapat diuji dengan *impact test*, dari hasil percobaan diperoleh prosentase kehancuran agregat adalah sebesar 12 %. Sedangkan kepadatan dan kadar pori dalam agregat kasar dapat diketahui dari berat jenisnya. Semakin besar berat jenis agregat maka agregat tersebut akan semakin padat dan kandungan porinya juga akan semakin kecil.

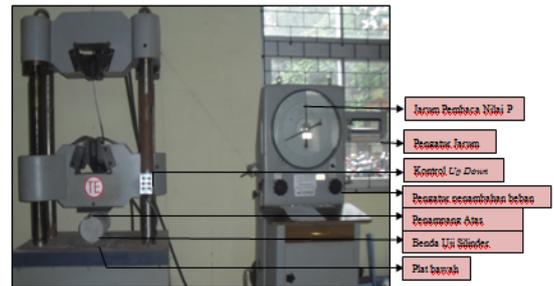
Perencanaan campuran beton dengan perbandingan berat material dilakukan untuk menentukan kekuatan beton yang diinginkan. Dalam penelitian ini digunakan menggunakan metode *Development Of Environment (DOE)* dengan perhitungan *software Conmixer V1.0 Vista* untuk campuran beton 40 MPa, 45 MPa dan 50 MPa masing-masing 11 silinder dan total jumlah keseluruhan 33 buah silinder.

Untuk pengujian benda uji silinder yang dilakukan di rencanakan *Set Up Design* sebagai berikut :
 (1) *Set Up Design* untuk pengujian kuat tekan beton :



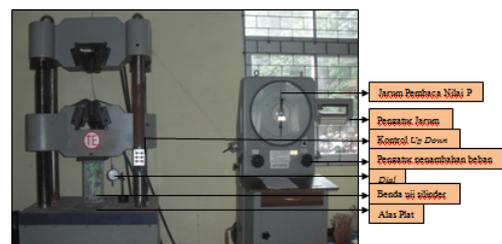
Gambar 3. *Set Up Design* Pengujian Kuat Tekan Beton

(2) *Set Up Design* untuk pengujian kuat tarik belah silinder beton



Gambar 4. *Set Up Design* Pengujian Kuat Tarik Beton (Dokumentasi pribadi, 2014)

(3) *Set Up Design* untuk pengujian modulus elastisitas beton



Gambar 5. *Set Up Design* Pengujian Modulus Elastisitas Beton (Dokumentasi pribadi, 2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hasil Karakteristik Agregat

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus (Pasir Jember)

No.	Karakteristik Agregat	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus (Pasir Jember)
1	Berat jenis	2.8 gram/cc, penyerapan 0.40 %
2	Analisa Ayakan	Modulus kehalusan 2.81, Zone 2
3	Berat Volume	1.50 gram/cc
4	Kadar Lumpur	2.67 %
5	Kadar Air	2.25 %

(Sumber : Hasil Pengujian 2013)

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar (Kerikil Pandaan)

No.	Karakteristik Agregat	Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar (Kerikil Pandaan)
1	Berat jenis	2.78 gram/cc, penyerapan 0.59 %
2	Analisa Ayakan	Modulus kehalusan 7.13, Zone 1
3	Berat Volume	1.37 gram/cc
4	Kadar Lumpur	0.32 %
5	Kadar Air	2.15 %

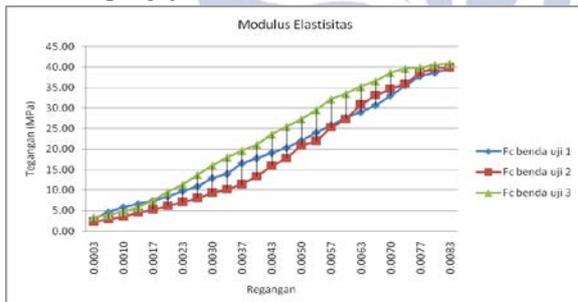
6	Keausan	3.36%
---	---------	-------

B. Hasil Pengujian Kuat Tekan, Modulus Elastisitas dan Kuat Tarik.

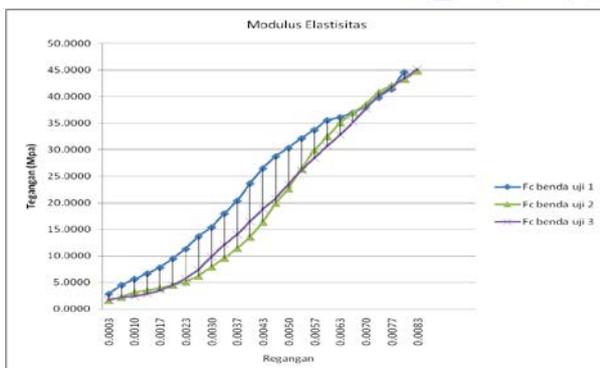
1) Hasil pengujian kuat tekan.

Dari jenis agregat yang dipilih yaitu agregat halus (pasir Jember) dan agregat kasar (kerikil Pandaan) yang digunakan dalam variasi campuran beton mutu tinggi sampai pada umur 28 hari berturut-turut diperoleh rata-rata kuat tekan sebesar 423.10 kg/cm² atau 43.13 MPa untuk 5 benda uji campuran beton mutu tinggi 40 MPa, 469.52 kg/cm² atau 47.86 MPa untuk 5 benda uji campuran beton mutu tinggi 45 MPa dan 516.50 kg/cm² atau 52.65 MPa untuk 5 benda uji campuran beton mutu tinggi 50 MPa. Ketiga karakteristik mutu beton dari 15 benda uji silinder yang di uji rata-rata mencapai namun tidak setinggi dari yang telah direncanakan dalam perhitungan menggunakan *Conmixer V1.0 Vista*, untuk mengetahui alasan mengapa tidak tercapainya sesuai dengan perhitungan banyak faktor yang mempengaruhi salah satunya pengadukan yang kurang homogen serta pembuatan yang tidak dalam 1x pengadukan langsung dalam 1 molen untuk beberapa benda uji yang dibuat.

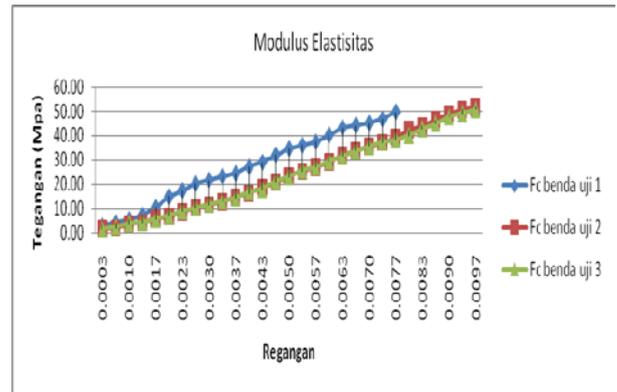
2) Hasil pengujian modulus elastisitas.



Gambar 6. Kurva Modulus Elastisitas Beton Mutu Tinggi 40 MPa



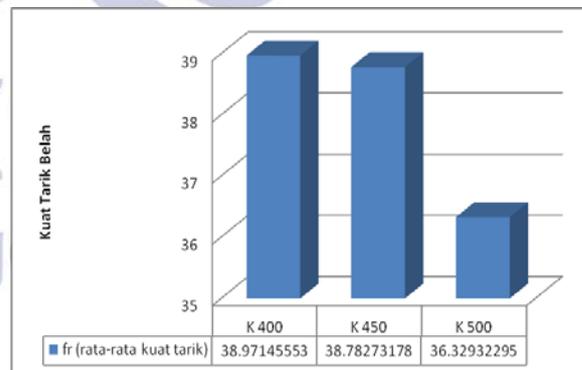
Gambar 7. Kurva Modulus Elastisitas Beton Mutu Tinggi 45 MPa



Gambar 8. Kurva Modulus Elastisitas Beton Mutu Tinggi 50 MPa

Untuk pengujian modulus elastisitas beton yang dilakukan dari jenis agregat yang dipilih yaitu agregat halus (pasir Jember) dan agregat kasar (kerikil Pandaan) yang digunakan dalam variasi campuran beton mutu tinggi sampai pada umur 28 hari berturut-turut diperoleh rata-rata modulus elastisitas sebesar 36.613 MPa untuk 3 benda uji campuran beton mutu tinggi 40 MPa, 40.876 MPa untuk 3 benda uji campuran beton mutu tinggi 45 MPa dan 45.856 MPa untuk 3 benda uji campuran beton mutu tinggi 50 MPa. Ketiga karakteristik mutu beton dari 9 benda uji silinder yang di uji rata-rata memenuhi persyaratan tegangan untuk masuk klasifikasi beton mutu tinggi namun belum memenuhi syarat regangan dengan menggunakan pendekatan persamaan popovics mungkin bisa dikarenakan perbedaan ketelitian dial dan alat yang kurang signifikan dan akurat dilihat dari cara pengujian yang masih manual.

3) Hasil pengujian kuat tarik



Gambar 9. Diagram Rata-Rata Kuat Tarik Belah yang dihasilkan antara 40 MPa, 45 MPa dan 50 MPa

Dan untuk pengujian yang terakhir yaitu kuat tarik belah yang dilakukan dari jenis agregat yang dipilih yaitu agregat halus (pasir Jember) dan agregat kasar (kerikil Pandaan) yang digunakan dalam variasi campuran beton mutu tinggi sampai pada umur 28 hari berturut-turut diperoleh rata-rata kuat tarik belah (*split*

cylinder) 38.97 kg/cm² untuk 3 benda uji campuran beton mutu tinggi 40 MPa, 38.78 MPa untuk 3 benda uji campuran beton mutu tinggi 45 MPa dan 36.33 MPa untuk 3 benda uji campuran beton mutu tinggi 50 MPa.

C. Analisis Pengaruh Karakteristik Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi

Analisis pengaruh karakteristik agregat halus (Pasir Jember) terhadap kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik 40 MPa, 45 MPa dan 50 MPa yaitu sebagai berikut:

- (1) Berat jenis, dari 3 kali pengujian berat jenis dihasilkan nilai yang berbeda-beda yaitu 2.78, 2.79 dan 2.81. Hal ini berpengaruh dari hasil kuat tekan yang diperoleh baik untuk nilai kuat tekan, modulus elastisitas serta kuat tarik yang didapat.
- (2) Analisa ayakan, dari 3 kali pengujian hasil analisa ayakan yang diperoleh nilainya sama yaitu sebesar 2.68. Jadi pengaruh analisa ayakan terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40 MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.
- (3) Berat Volume, dari 3 kali pengujian hasil berat volume yang diperoleh nilainya sama yaitu sebesar 1.34. Jadi pengaruh berat volume terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40 MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.
- (4) Kadar Lumpur, dari 3 kali pengujian hasil kadar lumpur yang diperoleh nilainya sama yaitu sebesar 2.25. Jadi pengaruh kadar lumpur terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40

MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.

Analisis pengaruh karakteristik agregat kasar (Kerikil Pandaan) terhadap kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik 40 MPa, 45 MPa dan 50 MPa yaitu sebagai berikut:

- (1) Berat jenis, dari 3 kali pengujian berat jenis dihasilkan nilai yang sama yaitu 2.78. Jadi pengaruh berat jenis kerikil Pandaan sebanyak 2.78 terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40 MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.
- (2) Analisa ayakan, dari 3 kali pengujian hasil analisa ayakan yang diperoleh nilainya sama yaitu sebesar 7.13. Jadi pengaruh analisa ayakan terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40 MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.
- (3) Berat Volume, dari 3 kali pengujian hasil berat volume yang diperoleh nilainya sama yaitu sebesar 1.37. Jadi pengaruh berat volume terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40 MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.
- (4) Kadar Lumpur, dari 3 kali pengujian kadar lumpur dihasilkan nilai yang berbeda-beda yaitu 0.32, 0.33 dan 0.36. Hal ini berpengaruh dari hasil kuat tekan yang diperoleh baik untuk nilai kuat tekan, modulus elastisitas serta kuat tarik yang didapat. Kesimpulannya semakin tinggi kadar

lumpur yang didapat maka akan semakin kecil nilai kuat tekan yang diperoleh.

- (5) Keausan, dari 3 kali pengujian hasil analisa ayakan yang diperoleh nilainya sama yaitu sebesar 11.98. Jadi pengaruh keausan kerikil terhadap kuat tekan yang diperoleh rata-rata hasilnya yaitu 43.13 Mpa untuk beton 40 MPa, 47.86 Mpa untuk beton 45 MPa dan 52.65 Mpa untuk beton 50 MPa. Modulus elastisitas dengan rata-rata 4838.57 untuk beton 40 MPa, 5197.83 untuk beton 45 MPa dan 5315.43 untuk beton 50 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah rata-rata yang dihasilkan sebesar 38.97 untuk beton 40 MPa, 38.78 untuk beton 45 MPa dan 36.33 untuk beton 50 MPa.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan tujuan dan rumusan masalah yang telah dibuat maka dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diperoleh yaitu :

1. Nilai karakteristik agregat halus Pasir Jember dan agregat Kasar Kerikil Pandaan memenuhi spesifikasi dan ketentuan syarat hasil pengujian material menurut SNI-03-175-1990 (Mutu dan Cara Uji Agregat Beton). Karakteristik dari agregat halus Pasir Kertosono yaitu berat jenis, penyerapan, modulus halus butir, berat volume, kadar lumpur dan kadar air bebas secara berurutan adalah 2,78 gr/cc, 0,94 %, 2,80, 1,35 gr/cc, 2,84 % 4,24 % dan karakteristik dari agregat halus Kerikil Pandaan yaitu berat jenis, penyerapan, modulus halus butir, berat volume, kadar lumpur, kadar air bebas, keausan secara berurutan adalah 2,78 gr/cc, 0,59 %, 7,13, 1,37 gr/cc, 0,33%, 8,1% dan 11,98%. Dari hasil pengujian karakteristik yang telah dilakukan material yang dipilih Pasir Jember dan Kerikil Pandaan memenuhi karakteristik untuk beton mutu tinggi setelah dilakukan pencucian dengan nilai Faktor Air Semen yang disyaratkan untuk beton mutu tinggi sebesar 0,2-0,5 dan dalam penelitian ini nilai FAS sebesar 0,4. Benda uji berbentuk silinder beton 15cmx30cm sebanyak 33 buah, dimana 5 buah untuk uji kuat tekan, 3 untuk uji kuat tarik belah dan 3 untuk modulus elastisitas pada setiap karakteristiknya
2. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai yang memenuhi syarat kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas rata-rata sebesar kuat tekan beton 40 MPa, 45 MPa, dan 50 MPa yang dihasilkan dari 5 benda uji masing-masing karakteristik sebesar 43,13 MPa, 47,86 MPa dan 52,65 MPa. Nilai rata-rata kuat tarik belah beton 40 MPa, 45 MPa, dan 50 MPa yang dihasilkan dari 3

benda uji masing-masing karakteristik sebesar 3,13 MPa, 3,25 MPa dan 3,34 MPa. Nilai rata-rata modulus elastisitas belah beton 40 MPa, 45 MPa, dan 50 MPa yang dihasilkan dari 3 benda uji masing-masing karakteristik sebesar 4819,28 MPa, 5454,68 MPa dan 5693,57 MPa. Tetapi nilai regangan yang diperoleh belum memenuhi syarat regangan (yang didapat 0,0083 dan yang seharusnya 0,0023).

Saran

1. Untuk memaksimalkan kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah mutu tinggi yang dicapai dengan pasir Jember dan kerikil Pandaan maka sebelum digunakan perlu dicuci terlebih dahulu.
2. Perlu ketelitian dalam perencanaan komposisi bahan dan prosedur pada saat pelaksanaan pencampuran beton agar menghasilkan nilai yang maksimal.
3. Untuk penelitian beton mutu tinggi selanjutnya dapat menambahkan zat *Additive (silicafume)* pada prosentase yang variasi, agar didapat hasil yang optimal.
4. Untuk memperluas pengetahuan beton mutu tinggi, maka penelitian dapat diaplikasikan ke berbagai elemen struktur . .

DAFTAR PUSTAKA

- Arfianto, Nugroho. 2008. *Pembuatan Beton Mutu Tinggi Dengan Kuat Tekan Sekitar 80MPa Menggunakan Agregat Lokal Yogyakarta*. (online) (http://etd.ugm.ac.id/index.php?mod=penelitian_detail&sub=PenelitianDetail&act=view=html&buku_id=37405&obyek_id=4) diakses pada 2 September 2013)
- Djamaluddin, Rudy, Maddjid dan Sita. *Studi Pengaruh Sumber Bahan Baku Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*. Makasar: Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin
- Gunawan, Purnawan dan Setiono. 2010. *Program Mix Design Untuk Beton Mutu Tinggi*, (online) (media.sipil.ft.uns.ac.id/index.php/mts/article/view/96) diakses pada 12 September 2013)
- Karyoto. 2013. *Petunjuk Praktikum Beton*. Surabaya: University Press
- Kia Wang-Chu dan G.Salmon Charles. 1989. *Desain Beton Bertulang* Jilid 1. Terjemahan oleh Ir. Binsar Hariandja, M.Eng., Ph.D. 1985. Jakarta: Erlangga

Kusuma, Gideon. 1993. *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang* edisi 2. . Jakarta: Erlangga

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: CV. Andi Offset

Nugraha, Paul dan Antono. 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: CV. Andi Offset

Sutikno. 2013. *Petunjuk Praktikum Beton*. Surabaya: University Press

SNI 03-6468-2000 (Pd T-18-1999-03). *Standart Beton mutu tinggi (high strength concrete)*. Badan Standarisasi Nasional

SNI-03-1750-1990. *Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*. Badan Standarisasi Nasional

SNI 03-2847-2002. *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Badan Standarisasi Nasional

Tim Penyusun. 2006. *Panduan Penulisan dan Penilaian Skripsi*. Surabaya: UNESA.

Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1995. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM

