

MAKSIMASI KUAT TEKAN BETON

LUKITO PRASETYO

Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang

E-mail: prasetyo_lukito@yahoo.com

ABSTRAK

Beton didapat dari hasil pencampuran agregat halus dan agregat kasar yaitu pasir dan batu pecah dengan menambahkan bahan perekat semen secukupnya dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung, serta dapat pula diberi bahan tambahan lainnya yang dapat berfungsi untuk memperkuat atau mempercepat perkembangan kekuatan beton tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian benda terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, berat jenis, porositas. Peningkatan modulus elastisitas dari variasi gradasi agregat I terhadap variasi gradasi III sebesar 14,03%. Pada variasi agregat yang baik bidang kontak antar agregat akan semakin kecil sehingga angka pori (porositas) beton yang dihasilkan akan semakin kecil. Dengan kecilnya porositas dan bidang kontak, maka jumlah semen yang diperlukan dalam suatu perlakuan yang sama akan semakin sedikit. Nilai porositas yang kecil akan membuat beton semakin padat sehingga kuat tekan yang dihasilkan akan menjadi besar. Pada peningkatan kuat tekan beton, akan diikuti oleh naiknya nilai kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton.

Kata kunci: agregat, gradasi, beton

ABSTRACT

Concrete mixing are obtained from fine aggregate and coarse aggregate, namely sand and crushed stone, and added with sufficient adhesive cement and water as supporting material for chemical reactions purpose during the process of concrete hardening and ongoing maintenance, and can also be given another additional material that can strengthen or accelerate the development of concrete strength. The method used in this study are testing the object for its compressive strength, modulus of elasticity, tensile strength sides, density, and porosity. The enhancement of modulus of elasticity from agregat gradation varians I to gradation varians III is 14.03%. On a good agregat varians, contact area will be smaller in size and so will the number of concrete porosity. With the small size of porosity and contact area, the cement needed for equal treatment also less than before. Smaller porosity will make concrete more solid so that its compressive strenght will increase. The increasing of compressive strength will be followed by the increasing of tensile strength and modulus of elasticity.

Keywords: aggregate, gradation, concrete

PENDAHULUAN

Jenis struktur yang banyak dimanfaatkan didalam konstruksi bangunan adalah struktur beton, beton bertulang maupun beton komposit. Pemilihan jenis struktur tersebut berdasarkan pada kelebihan ataupun keuntungan pemakaian struktur beton, karena disamping faktor ekonomis yakni harganya yang relatif murah, bentuknya juga dapat disesuaikan dengan struktur yang dikehendaki. Selain itu struktur beton mempunyai ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi.

Beton didapat dari hasil pencampuran agregat halus dan agregat kasar yaitu pasir, batu pecah atau bahan semacam lainnya dengan menambahkan bahan perekat semen secukupnya dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton

berlangsung, serta dapat pula diberi bahan tambahan lainnya yang dapat berfungsi untuk memperkuat atau mempercepat perkembangan kekuatan beton tersebut. Agregat kasar dalam beton mempunyai persentase yang lebih dominan yaitu sekitar (70–75%) dari seluruh volume massa padat beton, sehingga mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Oleh karena itu agar dapat diperoleh beton dengan berat yang ringan, salah satunya adalah dengan mengganti agregat kasar yang umum dipakai yaitu batu alami dengan agregat alternatif yang mempunyai berat yang lebih ringan namun mempunyai sifat-sifat utama yang tidak berbeda jauh, misalnya kuat hancur dan ketahanan terhadap keausan.

Agregat kasar buatan dari pembakaran batu bata dengan suhu > 1200° C selama 47 jam, dapat

mengetahui sifat fisis beton yaitu workability, berat jenis dan porositas, serta terhadap sifat mekanis beton yaitu kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton (Prasetyo, 2003). Agregat ringan dibagi dua jenis yaitu, agregat ringan alami dan agregat ringan buatan (Neville, 1975). Agregat ringan alami adalah agregat yang diperoleh dari bahan-bahan alami seperti batu apung, batu letusan gunung atau bekuan lahar (SK SNI S-16-1990-F, 1990: 1).

Sifat fisik dari agregat ringan untuk beton struktural mempunyai berat jenis 1-1,8; serapan air maksimum 20%. Jenis ini antara lain: batu apung, scoriasuff, diatomite, volcanic unders yang berasal dari vulkanik, dan furnice, yang banyak terdapat di Jerman, Inggris dan Italia. Batu apung terbentuk dari leburan vulkanik dan mempunyai sifat berpori tinggi, serapan air hingga 80% dari volume, warna terang, dan berat jenis 500-900 kg/m³. Berat jenis beton antara 720-1440 kg/m³ (Murdock dan Brook, 1979). Agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan atau memanaskan bahan-bahan, seperti terak dari peleburan besi, tanah liat diatomit, abu terbang, tanah serpih, batu tulis dan lempung (SK SNI S-16-1990-F, 1990:1)

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui penggunaan agregat kasar buatan terhadap sifat fisis dan mekanis beton, karena dalam perlakuan gradasi agregat kasar dalam beton dapat memengaruhi besar dan kecilnya bidang kontak antar agregat. Agregat menempati sekitar 75% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Sifat agregat bukan hanya memengaruhi sifat beton, akan tetapi juga memengaruhi ketahanan (durability, daya tahan terhadap kemunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan). Dengan demikian agregat bisa diatur tingkatannya dengan berdasarkan ukurannya dan suatu campuran yang layak telah menyatakan persentasi dari agregat yang halus dan yang kasar (Wang dan Salmon, 1994).

METODE

Metode eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan kegiatan percobaan di laboratorium beton. Penelitian ini dilakukan dengan lima tahapan yang diawali dengan persiapan alat dan bahan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, semen, batu bata, pasir, dan kerikil. Adapun alat yang digunakan adalah cetakan.

Tahap selanjutnya adalah *mix design* dengan melakukan rancangan campuran beton yang dilaksanakan di laboratorium beton UMM.

Rancangan campuran beton yang digunakan adalah semen (*Type I* produksi PT Semen Gresik, berat jenis semen 3,1535 gram/cm³), pasir (pasir sungai, gradasi pada daerah II, berat jenis 2,7756 gram/cm³, absorpsi 0,8370%), agregat kasar (batu bata, berat jenis 1,8695 gram/cm³, absorpsi 7,17%, ketahanan aus 39,62%, ukuran agregat 19,1 mm, 12,7 mm, dan 9,6 mm), dan air.

Tahap ketiga yaitu pembuatan benda uji dengan tiga variasi, yaitu variasi I, II, dan III, yang pada masing-masing variasi dilakukan tiga kali pengecoran dengan sembilan pengamatan selama satu bulan. Perawatan beton selama 28 hari merupakan tahap keempat dari metode eksperimen ini.

Tahap selanjutnya adalah pengujian benda uji dengan lima jenis pengujian, yaitu kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, berat jenis, dan porositas. Pemeriksaan kuat tekan dilakukan untuk menentukan kuat tekan beton dengan cara menghitung beban persatuan luas yang menyebabkan beton hancur. Hasil pengujian dan pemeriksaan di laboratorium kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan data lapangan dan dari laporan terdahulu sehingga akhirnya diperoleh suatu kesimpulan untuk merekomendasikan hasil penelitian yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beton sebagian besar volumenya terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Karena kualitas atau mutu dari beton sangat dipengaruhi oleh kualitas material yang digunakan, maka perlu sekali diadakan pemeriksaan atau pengujian material di laboratorium. Agar material yang digunakan sesuai dengan persyaratan yang ditentukan sehingga beton yang dihasilkan akan awet, kuat, dan ekonomis.

Pemeriksaan juga dilakukan untuk berat jenis semen portland. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis semen portland yang akan digunakan untuk pembuatan beton. Berat jenis semen portland adalah perbandingan antara berat jenis isi kering semen pada suhu kamar dengan berat jenis isi kering air suling pada suhu 4° C yang isinya sama dengan isi semen. Dengan berat jenis rata-rata semen portland sebesar 3,1535 gr/cm³ dalam uji laboratorium, maka semen tersebut layak untuk digunakan, karena berat jenis standard semen portland sebesar 3,15-3,17 gr/cm³.

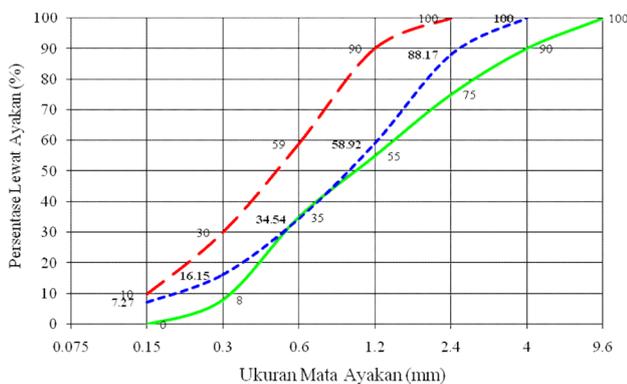
Pemeriksaan kadar air agregat halus dimaksudkan untuk menentukan besaran nilai kadar air agregat halus dalam keadaan asli dan dalam keadaan kering jenuh permukaan (Saturated Surface Dry). Nilai kadar air digunakan untuk menentukan koreksi proporsi campuran beton. Hasil

pengujian didapat kadar air rata-rata agregat halus (pasir) dalam kondisi asli lapangan sebesar 0,59% dan dalam kondisi SSD sebesar 0,83%.

Pencucian pasir lewat saringan no. 200 dimaksudkan untuk menentukan kadar lumpur yang dikandung agregat halus (pasir) sehingga diketahui apakah agregat tersebut layak untuk dipakai pada campuran beton. Hasil perhitungan didapatkan kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus (pasir) sebesar 1,26%, lebih kecil dari yang disyaratkan yaitu sebesar 5%. Maka agregat halus (pasir) tersebut layak digunakan untuk pembuatan beton.

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai konsistensi adukan mortar semen dengan menggunakan meja getar. Mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan ikat dan air. Mortar semen dibuat dari campuran pasir, semen portland dan air, dengan perbandingan campuran yang tepat. Nilai konsistensi mortar digunakan untuk menentukan faktor air semen (FAS). Hasil perhitungan di atas didapatkan nilai konsistensi mortar sebesar 105,8376% dengan faktor air semen 0,55. Nilai konsistensi mortar memenuhi syarat jika nilai $a = (100 \pm 15)\%$.

Pemeriksaan analisis saringan agregat halus dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan gradasi agregat halus, untuk keperluan campuran beton. Hasil perhitungan diatas dapat digambarkan grafik daerah gradasi agregat halus sebagai berikut.



Gambar 1. Grafik Batas Gradasi Pasir Dalam Daerah Gradasi No.2

Pemeriksaan juga dilakukan untuk berat jenis dan penyerapan agregat halus. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat halus serta kemampuannya dalam menyerap air. Besarnya berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering, kering permukaan jenuh (SSD, Saturated Surface Dry) dan semu. Berat jenis (bulk specific gravity) adalah perbandingan

antara berat agregat kering dan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berat jenis kering permukaan jenuh adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berat jenis semu (apparent specific gravity) adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Penyerapan (absorpsi) adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Berat jenis dan nilai absorpsi agregat halus digunakan dalam penentuan proporsi campuran mix desain beton. Pemeriksaan dari berat jenis pasir didapatkan sebesar $2,7756 \text{ gr/cm}^3$ dan absorpsi 0,8370%. Ini berguna sebagai perencanaan campuran beton, saat pembuatan sampel benda uji.

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar buatan (batu bata) dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat kasar serta kemampuannya menyerap air. Besarnya berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering, SSD (Saturated Surface Dry), dan semu. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar buatan (batu bata) digunakan dalam penentuan proporsi campuran (mix design) beton. Pemeriksaan dari berat jenis agregat kasar buatan didapatkan $1,8695 \text{ gr/cm}^3$ dan penyerapan (absorpsi) 7,17%. Persyaratan sifat fisis agregat ringan untuk beton ringan struktural (SK SNI S-16-1990-F,1990: 3) untuk berat jenis adalah $1,0-1,8 \text{ gr/cm}^3$ dan penyerapan air maksimum sebesar 20%.

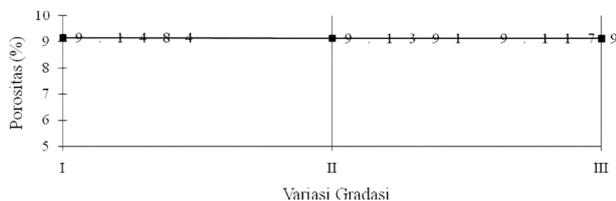
Pemeriksaan kadar air agregat kasar buatan (batu bata) dilakukan untuk menentukan kadar air agregat kasar buatan (batu bata) dalam keadaan sebenarnya dilapangan dengan cara pengeringan. Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dalam keadaan kering lapangan. Nilai kadar air ini digunakan sebagai koreksi proporsi takaran air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat dilapangan. Dari hasil perhitungan diperoleh kadar air agregat kasar buatan (batu bata) dalam keadaan asli atau lapangan sebesar 1,6106%, dan dalam kondisi SSD sebesar 9,0286%. Dari hasil tersebut terlihat perbedaan yang signifikan sehingga dalam perencanaan mix desain diperlukan langkah koreksi perbandingan campuran.

Pemeriksaan ketahanan aus agregat kasar buatan (batu bata) dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keausan agregat kasar, dalam hal ini agregat kasar buatan berupa batu bata. Pengujian ini menggunakan alat uji derak los Angeles. Persentase jumlah berat agregat yang hancur selama pengujian merupakan

ukuran dari sifat-sifat agregat, yaitu keuletan, kekerasan dan ketahanan aus yang diharapkan merupakan sifat langsung yang berhubungan dengan kekuatan. Dari hasil pemeriksaan keausan agregat kasar buatan didapat nilai keausan sebesar 39,62% < 40%, maka agregat kasar buatan (batu bata) dapat digunakan untuk konstruksi struktural. Nilai keausan yang sangat besar ini karena agregat batu bata berpori sehingga mudah pecah.

Pemeriksaan *slump* beton dimaksudkan untuk menentukan nilai *slump* beton yang merupakan ukuran kelecakan dan kekentalan serta tingkat kemudahan dalam pengecoran adukan beton. Dari hasil pemeriksaan *slump* diketahui bahwa nilai *slump* tersebut dibawah nilai *slump* standar yaitu 5–12,5 cm, hal ini disebabkan karena campuran beton yang terlalu kurus (kurang semen). Kekurangan semen berarti kekurangan air, karena jumlah semen akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan kebutuhan air (FAS). Nilai *slump* yang rendah mengakibatkan pematatan lebih sulit dilakukan.

Maksud dari pemeriksaan porositas beton adalah untuk menentukan nilai absorpsi atau penyerapan beton. Berdasar hasil perhitungan dapat digambar grafik hubungan antara porositas dengan variasi gradasi agregat sebagai berikut.

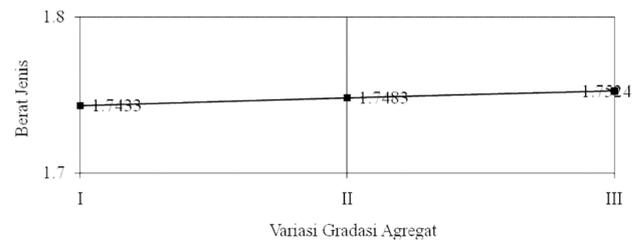


Gambar 2. Hubungan Porositas Beton Terhadap Variasi Gradasi Agregat

Dari grafik di Gambar 2 di atas dapat diketahui bahwa nilai porositas beton ringan dengan variasi gradasi nilainya cenderung turun dari variasi I, II dan III. Yaitu sebesar 9,1484% untuk variasi I, untuk variasi II sebesar 9,1391% dan sebesar 9,1179% untuk variasi III. Dari hasil penelitian tersebut dapat diambil suatu kesimpulan bahwa nilai porositas beton yang paling baik adalah pada variasi III. Hal ini disebabkan oleh 1) besarnya nilai kadar air dan porositas agregat, karena agregat (kerikil dan pasir) menempati sekitar 87,9% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras.. Semakin besar pori (rongga) suatu agregat, maka semakin besar nilai porositas beton yang dihasilkannya. 2) perbandingan *mix design* yang terlalu kurus (1: 4,19: 3,08) dengan FAS 0,55.

Perbandingan *mix design* yang terlalu kurus menyebabkan tingkat kemudahan pengerjaan beton segar semakin rendah (sulit). Hal ini dapat dilihat pada nilai *workability* (2,6–3,5) pada umumnya nilai *workability* berkisar antara 5–12,5 cm. Nilai *workability* yang rendah menjadi salah satu penyebab porositas tinggi (karena beton keropos). 3) gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Apabila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi akan terjadi volume pori yang kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit. Dengan kata lain kemampatannya tinggi.

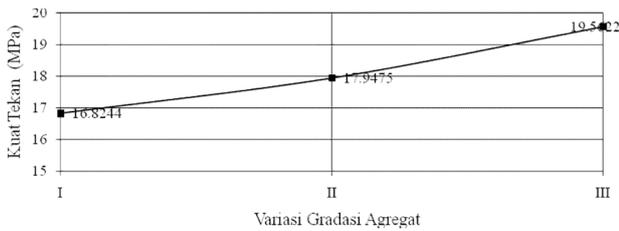
Pemeriksaan berat jenis beton untuk menentukan berat jenis beton. Berdasar perhitungan diatas dapat digambar grafik hubungan antara berat jenis beton dengan variasi gradasi agregat yang akan disajikan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Hubungan Berat Jenis Beton terhadap Variasi Gradasi Agregat

Dari hasil pemeriksaan diketahui bahwa nilai berat jenis beton antara variasi gradasi I, variasi gradasi II dan III relatif sama. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan variasi gradasi agregat tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai berat jenis beton. Dari grafik hubungan antara variasi gradasi agregat dengan berat jenis di atas, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa penggunaan variasi gradasi III lebih berat dibanding variasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan perlakuan variasi gradasi agregat yang mempunyai nilai kemampuan yang lebih tinggi dan mempunyai nilai porositas yang lebih kecil. Hubungan antara porositas dengan berat jenis beton. Semakin kecil nilai porositas beton maka nilai berat jenis akan semakin besar.

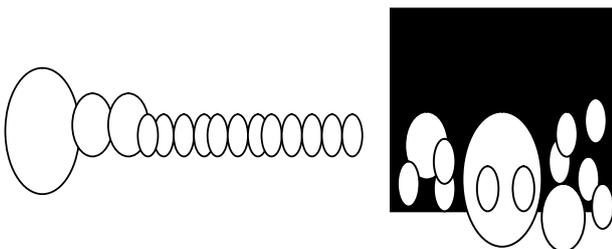
Pemeriksaan kuat tekan beton dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan beton. Kuat tekan beton adalah beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur. Dari hasil perhitungan di atas dapat digambarkan grafik hubungan kuat tekan beton dengan variasi gradasi agregat kasar, sebagai berikut.



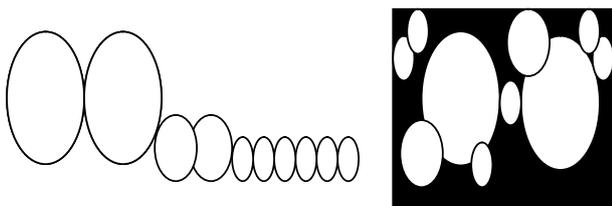
Gambar 4. Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Terhadap Variasi Gradasi

Dari hasil pemeriksaan benda uji diperoleh nilai kuat tekan beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung naik pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai kuat tekan pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 16,8244 MPa dan naik pada variasi II sebesar 17,9475 MPa dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 19,5622 MPa. Dari hasil pengamatan fisik pada tekstur bagian dalam beton yang pecah setelah diuji kuat tekan dan modulus elastisitas menunjukkan bahwa pada perlakuan gradasi III mempunyai penyebaran dan kerapatan agregat yang lebih baik dibandingkan variasi II dan I. Pengamatan fisik penyebaran agregat dapat digambarkan sebagai berikut.

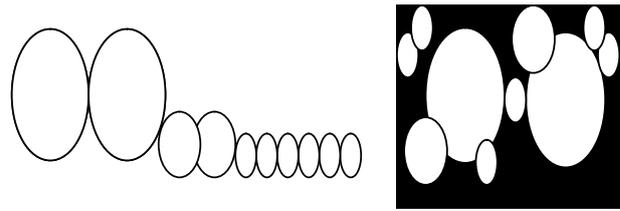
Besarnya nilai kuat tekan pada variasi gradasi dipengaruhi oleh 1) nilai porositas agregat penyusun. Karena agregat (kerikil dan pasir) menempati sekitar 87,9% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras. Semakin besar pori (rongga) suatu agregat, maka nilai kuat tekan beton



Gambar 5. Penyebaran Agregat Kasar Variasi Gradasi Agregat I



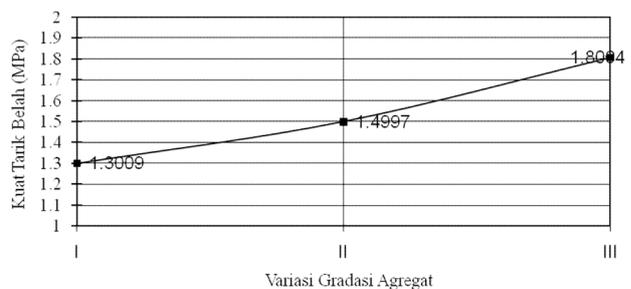
Gambar 6. Penyebaran Agregat Kasar Variasi Gradasi Agregat II



Gambar 7. Penyebaran Agregat Kasar Variasi Gradasi Agregat III

yang dihasilkannya semakin kecil. 2) nilai kuat tekan beton pada tiap-tiap perlakuan gradasi berubah. Perubahan ini dipengaruhi oleh keragaman diameter butir agregat kasar dan besarnya persentase berat ukuran maksimum agregat kasar. Hal ini disebabkan oleh distribusi penyebaran agregat memberikan kontribusi yang besar pada nilai kuat tekan, karena dipengaruhi oleh penyusunan agregat kasar dan lekatannya (pasta semen). Semakin rapat susunan agregat kasar semakin besar nilai kuat tekannya. Semakin tinggi nilai kemampatan suatu agregat maka semakin kecil pula nilai porinya. Karena volume porinya sedikit berarti hanya membutuhkan bahan ikat yang sedikit saja (bahan ikat mengisi pori antara buti-butir agregat).

Pemeriksaan perhitungan kuat tarik belah beton digunakan untuk menentukan nilai kuat tarik belah beton. Dari hasil perhitungan diatas dapat digambarkan grafik hubungan antara kuat tarik belah beton dengan variasi gradasi agregat sebagai berikut.



Gambar 8. Hubungan Kuat Tarik Belah terhadap Variasi Gradasi Agregat.

Dari pemeriksaan benda uji didapat nilai kuat tarik belah beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung naik pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai kuat tarik belah pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 1,3009 MPa dan naik pada variasi II sebesar 1,4997 MPa dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 1,8064 Mpa. Besarnya nilai kuat tarik belah pada variasi gradasi dipengaruhi oleh 1) nilai porositas agregat. Karena agregat (kerikil

dan pasir) menempati sekitar 87,9% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras. Semakin besar pori (rongga) suatu agregat, maka nilai kuat tarik belah beton yang dihasilkannya semakin kecil. 2) nilai kuat tarik belah beton pada tiap-tiap perlakuan gradasi berubah. Perubahan ini dipengaruhi oleh keragaman diameter butir agregat kasar dan besarnya persentase berat ukuran maksimum agregat kasar. Hal ini disebabkan oleh distribusi penyebaran agregat memberikan kontribusi yang besar pada nilai kuat tekan, karena dipengaruhi oleh penyusunan agregat kasar dan lekatannya (pasta semen). Semakin rapat susunan agregat kasar semakin besar nilai kuat tarik belahnya. Semakin tinggi nilai kemampatan suatu agregat maka semakin kecil pula nilai porinya. Karena volume porinya sedikit berarti hanya membutuhkan bahan ikat yang sedikit saja (bahan ikat mengisi pori antara buti-butir agregat).

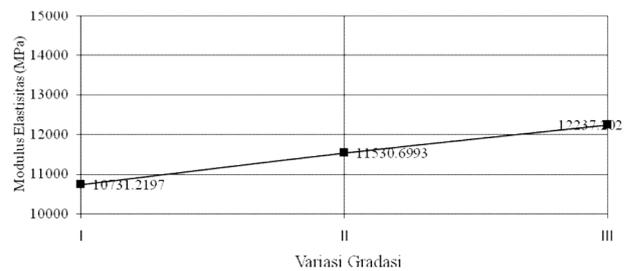
Hasil Modulus Elastisitas Beton dapat dilihat pada Tabel 1 dan dari hasil perhitungan dapat digambarkan grafik hubungan modulus elastisitas dengan variasi gradasi.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

Variasi Gradasi	fci (MPa)	ϵ	Ec (MPa)	Ec rata-rata (MPa)
V1-1	8,904575	0,000803	11089,1345	10731,2197
V1-2	8,188585	0,000781	10484,7439	
V1-3	8,23033	0,000775	10619,7807	
V2-1	9,470336	0,000775	12219,7884	11530,6993
V2-2	8,83826	0,000788	11216,0660	
V2-3	8,61262	0,000772	11156,2435	
V3-1	10,218365	0,000862	11854,4517	
V3-2	9,80259	0,000756	12966,3889	12237,202
V3-3	9,32236	0,000784	11890,7653	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari pemeriksaan benda uji didapat nilai modulus elastisitas beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung naik pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai modulus elastisitas beton pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 10731,2197 MPa dan naik pada variasi II sebesar 11530,6993 MPa dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 12237,202



Gambar 9. Hubungan Variasi Gradasi terhadap Modulus Elastisitas

MPa. Nilai modulus elastisitas beton pada tiap-tiap perlakuan variasi gradasi berubah seiring dengan perubahan yang terjadi pada nilai kuat tekan beton pada perlakuan yang sama. Peningkatan nilai modulus elastisitas pada perlakuan variasi gradasi diatas dipengaruhi oleh keragaman diameter butir agregat kasar dan besarnya persentase berat ukuran maksimum butir agregat kasar. Hal ini disebabkan oleh distribusi penyebaran agregat kasar dan susunan agregat kasar dan lekatannya (pasta semen). Semakin rapat susunan agregat kasar semakin besar nilai modulus elastisitasnya hal ini karena semakin tinggi nilai kemampatan suatu agregat berarti nilai pori semakin kecil, sehingga membutuhkan bahan ikat yang sedikit pula (bahan ikat mengisi butir pori diantara agregat).

Pengujian hipotesis porositas dilakukan dengan menggunakan *software* dan hasilnya adalah sebagai berikut. Dari hasil analisis data yang dilakukan dapat diambil suatu kesimpulan bahwa gradasi agregat kasar buatan (batu bata) tidak menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap nilai porositas beton. Hal ini dapat dibuktikan dengan anlisa varian satu arah yang menghasilkan nilai $F_{hitung} = 0,006595 < F_{tabel} = 5,14$; maka hipotesa nol (H_0) diterima dan hipotesa altenatif (H_a) ditolak. Dari hasil pengujian benda uji diperoleh nilai porositas beton yang terbesar pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung menurun pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai porositas pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 9,1484% dan menurun pada variasi II sebesar 9,1391% dan semakin turun pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 9,1179%.

Tabel 2. Daftar Anava untuk Porositas Beton dengan Microsoft Excel

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,001466	2	0,000733	0,006595	0,993434	5,143249
Within Groups	0,666921	6	0,111154			
Total	0,668387	8				

Tabel 3. Daftar Anava Berat Jenis Beton dengan Program Microsoft Excel

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,000123742	2	6,19E-05	1,966104	0,220453	5,143249
Within Groups	0,000188813	6	3,15E-05			
Total	0,000312556	8				

Tabel 4. Daftar Anava Kuat Tekan beton dengan Microsoft Excel

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,36422	2	5,682112	7,288476	0,024792	5,143249
Within Groups	4,677614	6	0,779602			
Total	16,04184	8				

Tabel 5. Daftar Anava Kuat Tarik Belah Beton Dengan Microsoft Excel

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,389008	2	0,194504	9,316894	0,01445	5,143249
Within Groups	0,125259	6	0,020876			
Total	0,514267	8				

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Daftar Anava Modulus Elastisitas Beton dengan Microsoft Excel

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3406296	2	1703148,12	5,96355	0,037491	5,143249
Within Groups	1713557	6	285592,789			
Total	5119853	8				

Pengujian hipotesis berat jenis dilakukan dengan cara menentukan F_{hitung} dengan menggunakan program Microsoft Excel. Dari hasil analisis data yang dilakukan dapat diketahui, bahwa perlakuan variasi gradasi agregat kasar buatan (batu bata) tidak mengakibatkan terjadinya perubahan yang signifikan terhadap nilai berat jenis beton. Hal ini dapat dibuktikan dengan analisis varian satu arah yang menghasilkan $F_{hitung} = 1,9661 < F_{tabel} = 5,14$, maka Hipotesa nol (H_0) diterima dan Hipotesa alternatif (H_a) ditolak. Dari hasil pengujian benda uji diperoleh nilai berat jenis beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I sebesar 1,743333 dan naik pada variasi II sebesar 1,748333 dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 1,7524. Pengujian hipotesis kuat tekan beton dilakukan dengan cara menentukan F_{hitung} dengan menggunakan program Microsoft Excel. Dari hasil analisis data yang dilakukan dapat diketahui, bahwa perlakuan gradasi agregat kasar buatan (batu bata) mengakibatkan terjadinya perubahan yang signifikan terhadap nilai kuat tekan beton. Hal ini dapat dibuktikan dengan analisis varian satu arah yang menghasilkan $F_{hitung} = 7,288476 > F_{tabel} = 5,14$, maka Hipotesa nol (H_0) ditolak dan Hipotesa alternatif (H_a) diterima. Dari hasil pengujian benda uji diperoleh nilai kuat tekan

beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung naik pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai kuat tekan pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 16,82443 MPa dan naik pada variasi II sebesar 17,94747 MPa dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 19,56223 MPa. Peningkatan nilai kuat tekan variasi gradasi II terhadap variasi I sebesar 6,6751%, dan peningkatan nilai kuat tekan variasi gradasi III terhadap variasi gradasi I sebesar 16,2728%.

Pengujian hipotesa kuat tarik belah beton dilakukan dengan cara menentukan F_{hitung} dengan menggunakan program Microsoft Excel. Dari hasil analisis data yang dilakukan dapat diketahui, bahwa perlakuan gradasi agregat kasar buatan (batu bata) mengakibatkan terjadinya perubahan yang signifikan terhadap nilai kuat tarik belah beton. Hal ini dapat dibuktikan dengan analisis varian satu arah yang menghasilkan $F_{hitung} = 9,316894 > F_{tabel} = 5,14$, maka Hipotesa nol (H_0) ditolak dan Hipotesa alternatif (H_a) diterima. Dari hasil pengujian benda uji diperoleh nilai kuat tarik belah beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung naik pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai kuat tarik belah pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 1,300933 Mpa dan naik pada variasi II sebesar 1,499733 Mpa

dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 1,806367 Mpa. Peningkatan nilai kuat tarik belah variasi gradasi II terhadap variasi I sebesar 15,2813%, dan peningkatan nilai kuat tarik belah variasi gradasi III terhadap variasi gradasi I sebesar 38,8517%.

Pengujian hipotesa modulus elastisitas beton dilakukan dengan cara menentukan F_{hitung} dengan menggunakan program Microsoft Excel. Dari hasil analisis data yang dilakukan dapat diketahui, bahwa perlakuan gradasi agregat kasar buatan (batu bata) mengakibatkan terjadinya perubahan yang signifikan terhadap nilai modulus elastisitas beton. Hal ini dapat dibuktikan dengan analisis varian satu arah yang menghasilkan $F_{hitung} = 5,96355 > F_{tabel} = 5,14$, maka Hipotesa nol (H_0) ditolak dan Hipotesa alternatif (H_a) diterima. Dari hasil pengujian benda uji diperoleh nilai modulus elastisitas beton yang terkecil pada perlakuan variasi gradasi I dan cenderung naik pada variasi gradasi II dan variasi gradasi III. Nilai modulus elastisitas pada perlakuan variasi I didapat nilai sebesar 10731,2197 MPa dan naik pada variasi II sebesar 11530,6993 MPa dan semakin naik pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 12237,202 MPa. Peningkatan nilai modulus elastisitas variasi gradasi II terhadap variasi I sebesar 7,45%, dan peningkatan nilai modulus elastisitas variasi gradasi III terhadap variasi gradasi I sebesar 14,03%.

SIMPULAN

Kuat tekan yang dihasilkan dari penggunaan agregat kasar buatan (batu bata) menunjukkan peningkatan yang tinggi pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 19,56223 MPa. Peningkatan kuat tekan dari variasi gradasi agregat I terhadap variasi gradasi III sebesar 16,2728%. Kuat tarik belah yang dihasilkan dari penggunaan agregat kasar buatan (batu bata) menunjukkan peningkatan yang tinggi pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 1,806367 MPa. Peningkatan kuat tekan dari variasi gradasi agregat I terhadap variasi gradasi III sebesar 38,8517%. Modulus elastisitas yang dihasilkan dari penggunaan agregat kasar buatan (batu bata) menunjukkan peningkatan yang tinggi pada variasi gradasi agregat III yaitu sebesar 12237,202 MPa. Peningkatan modulus elastisitas dari variasi gradasi agregat I terhadap variasi gradasi III sebesar 14,03%.

Perlakuan gradasi agregat kasar dalam beton akan memengaruhi besar dan kecilnya bidang kontak antar agregat. Pada variasi agregat yang baik bidang kontak antar agregat akan semakin kecil sehingga angka pori (porositas) beton yang dihasilkan akan semakin kecil. Dengan kecilnya porositas dan bidang kontak maka jumlah semen yang diperlukan dalam suatu perlakuan yang sama akan semakin sedikit. Semakin kecilnya porositas dalam penggunaan variasi gradasi agregat akan menyebabkan nilai berat jenis beton semakin besar. Nilai porositas yang kecil akan membuat beto semakin padat sehingga kuat tekan yang dihasilkan akan menjadi besar. Pada peningkatan kuat tekan beton, akan diikuti oleh naiknya nilai kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Dipohusodo, I, 1993. Struktur beton Bertulang. Jakarta: DPU.
- Mudock, L.J. and Brook, K.M., 1986. Bahan dan Praktek Beton. Terjemahan oleh Stephanus, H. 1986. Jakarta: Erlangga.
- Prasetyo, L., 2003. Agregat Kasar Dari Lempung Pasir Terhadap Kekuatan Beton. Penelitian tidak diterbitkan. Malang: Lembaga Penelitian Universitas Muhammadiyah Malang.
- Sudarsono, D.U., 1987. Rencana Campuran (Mix Design). Bandung: Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum.
- Sudjana, 1992, Metoda Statistika. Bandung: Tarsito.
- Tjokrodinuljo, K. 1992. Teknologi Beton. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Wang, C.K. and Salmon, C.G., 1985. Disain Beton Bertulang. Terjemahan oleh Hariandja, Binsar. 1994. Jakarta: Erlangga.
- Yayasan LPMB, 1990. Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Struktural. SK SNI S-16-1990-F. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Yayasan LPMB, 1993. Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan. SK SNI T-09-1993-03. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Yayasan LPMB, 1990. Metode Pengujian Kuat Tarik-Belah Beton. SK SNI M-60-1990-03. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Yayasan Dana Normalisasi Indonesia, 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. NI-2. Bandung: Direktorat Jenderal Cipta Karya, Departemen Pekerjaan