

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 BAHAN PENYUSUN BETON

5.1.1 Gradasi Agregat

Dari hasil pemeriksaan terhadap pasir Merapi Sleman, diperoleh modulus halus butir sebesar 2,8982 sehingga masuk pada gradasi pasir daerah II dimana pasir tersebut tergolong pasir agak kasar. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1.6. Pasir Merapi yang tergolong pasir agak kasar tersebut dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton karena pasir tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh *British Standard*. Dimana menurut *British Standard* kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Jika masuk kedalam empat kelompok tersebut maka dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton. Dan dari hasil penelitian didapat modulus halus butir agregat kasar sebesar 6,6446. Menurut Kardiyono, modulus halus butir untuk kerikil berkisar antara 5 sampai 8. Makin besar berarti makin besar pula butir-butir agregatnya. Karena modulus halus butir hasil penelitian 6,6446 berada diantara 5 sampai 8 maka termasuk kedalam nilai yang telah ditentukan. Sedangkan untuk gradasi campuran dengan

campuran kerikil 56 % dan pasir 44 % dapat ditentukan bahwa menurut persyaratan *British Standard* yang juga dipakai di Indonesia saat ini dengan diameter agregat maksimum 20 mm gradasi agregat campuran beton kasar.

5.1.2 Berat Jenis Agregat

Dari pemeriksaan berat jenis agregat diperoleh bahwa berat jenis pasir dalam kondisi SSD sebesar $2,36 \text{ gr/cm}^3$ dan untuk batu pecah sebesar $2,41 \text{ gr/cm}^3$. Sehingga betonnya disebut beton normal. Hasil lengkap pemeriksaan ini dapat dilihat pada Lampiran 1.1 dan Lampiran 1.2.

5.1.3 Berat Jenis Limbah Gelas

Berat jenis limbah gelas dilakukan satu kali pemeriksaan, memberikan hasil sebesar $1,4925 \text{ gr/cm}^3$. Hasil pemeriksaan berat jenis limbah gelas dapat dilihat pada Lampiran 1.10.

5.2 WORKABILITAS

Tingkat kemudahan pada pengerjaan beton dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai. Semakin banyak jumlah air, maka semakin mudah pengerjaan beton. Tingkat kemudahan ini digambarkan oleh nilai hasil percobaan slump (*slump test*) yang merupakan derajat kelecikan atau keenceran adukan semakin besar nilai slump.

Adapun pada penelitian ini nilai slump ditetapkan 10 cm. Dengan adanya substitusi limbah gelas maka campuran beton semakin kental dan mengurangi

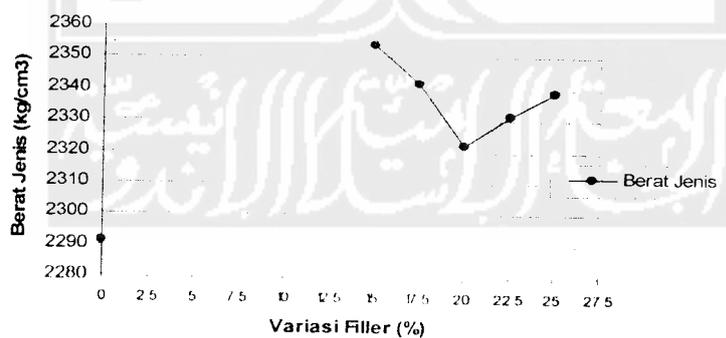
workabilitas. Karena itu untuk menjaga tingkat workabilitas dan mempertahankan nilai slump agar tetap konstan, dilakukan penambahan air.

5.3 BERAT JENIS BETON

Dari pemeriksaan terhadap silinder beton yaitu dengan cara mengukur diameter, tinggi, dan berat benda uji, diperoleh berat jenis benda uji dengan cara membagi berat silinder dengan volume silinder beton. Data berat jenis untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.1 Berat Jenis Beton Rerata Untuk Uji Desak

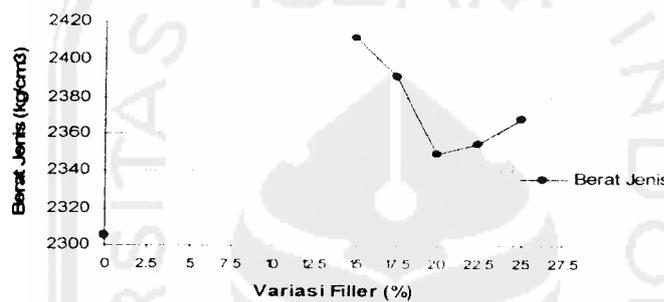
No	Variasi Filler (%)	Berat Jenis (kg/cm ³)
1	0	2291.244
2	15	2354.163
3	17.5	2341.824
4	20	2322.245
5	22.5	2331.628
6	25	2338.83



Gambar 5.1 Hubungan Berat Jenis Dengan Variasi Filler

Tabel 5.2 Berat Jenis Beton Rerata Untuk Uji Tarik

	Variasi Filler (%)	Berat Jenis (kg/cm ³)
1	0	2305.596
2	15	2411.876
3	17.5	2391.123
4	20	2349.304
5	22.5	2355.018
6	25	2368.038



Gambar 5.2 Hubungan Berat Jenis Dengan Variasi Filler

Dari Tabel 5.2 dan Gambar 5.2 hubungan antara variasi filler dengan berat jenis beton, diperoleh suatu kurva yang cenderung naik. Hal ini karena pori-pori pada beton terisi penuh oleh limbah gelas, menyebabkan beton menjadi lebih padat dan berat beton bertambah. Sehingga dengan bertambahnya berat beton tersebut, maka dapat meningkatkan berat jenis betonnya.

Meskipun ada berat jenis yang menurun, tapi masih tetap diatas berat jenis beton normalnya. Hal ini mungkin disebabkan karena kurangnya pemadatan sehingga beton menjadi porous dan berat jenis betonnya menjadi kecil. Tjokrodimuljo (1998) mengatakan apabila dalam beton terjadi rongga-rongga atau



porous akibat kurangnya pemadatan maka berat jenisnya akan mengalami penurunan.

5.4 HASIL PENELITIAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data primer berupa kuat desak silinder, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas dengan dan tanpa campuran limbah gelas. Data tersebut dianalisis untuk memperoleh kekakuan dari beban dan lendutan serta faktor kekakuan dari momen dan kelengkungan.

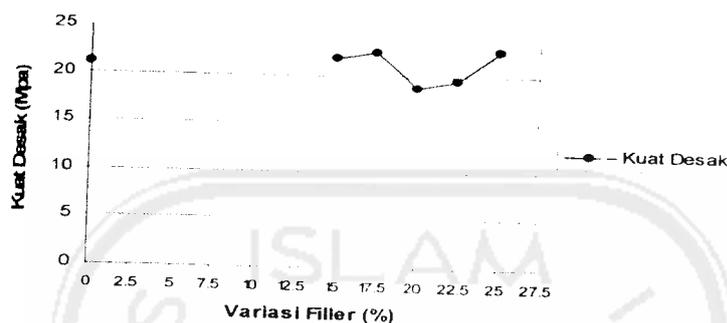
5.4.1 HASIL UJI KUAT DESAK BETON

Pengujian kuat desak beton dilakukan terhadap 13 benda untuk tiap-tiap variasi dan beton normalnya. Kuat desak beton didapat dengan cara merata kuat desak hasil uji. Adapun data kuat desak rerata silinder dapat dilihat pada Lampiran 4. Dari hasil kuat desak beton, dapat dilihat pada Tabel 5.3 yang dapat memberikan hubungan prosentase limbah gelas terhadap penambahan atau penurunan kuat desak beton sebagai berikut :

Tabel 5.3 Perubahan Kuat Desak Beton Filler Terhadap Beton Normal

No	Variasi Filler (%)	Kuat Desak (Mpa)	Penambahan / Penurunan
1	0	21.089	0 %
2	15	21.899	3.841 %
3	17.5	22.454	6.473 %
4	20	18.719	-11.238 %
5	22.5	19.470	-7.677 %
6	25	22.603	7.179 %

Data hasil pengujian kuat Desak, selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik untuk diketahui pengaruh substitusi variasi gelas terhadap kuat desak.



Gambar 5.3 Hubungan Variasi Filler Dengan Kuat Desak

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Gambar 5.3 dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan kuat desak beton pada variasi 15 % sebesar 3,841 % dari beton normal yaitu 21,899 MPa dan kenaikan pada variasi 17,5 % sebesar 6,475 % terhadap beton normal yaitu 22,454 MPa. Dan kekuatan kuat desak tertinggi diperoleh pada variasi 25 % sebesar 7,179 % terhadap beton normalnya yaitu 22,603 MPa. Dengan demikian penggunaan limbah gelas sebagai pengganti sebagian berat semen dapat meningkatkan kuat desaknya pada batas-batas penggantian tertentu. Hal ini terjadi karena pada variasi-variasi tersebut pori-pori beton terisi penuh oleh filler limbah gelas sehingga kepadatan meningkat. Penelitian yang dilakukan Nurokhman (2002) mendapatkan hasil penambahan desak terbesar pada konsentrasi penambahan limbah gelas sebesar 15 % yaitu 26,80 Mpa dari beton normalnya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan filler limbah gelas dapat memperbaiki kuat desaknya. Dan penelitian yang dilakukan oleh Bobby S dan A Widodo diperoleh peningkatan kuat desak beton sebesar 38,8 % dari beton

normalnya pada konsentrasi penambahan tepung kaca dengan prosentase 10 %. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi penambahan tepung kaca sebesar 10 % silica pada kandungan tersebut masih berfungsi baik sebagai pengikat pada pasta semen. Dengan membandingkan hasil penelitian sebelumnya didapatkan kesimpulan bahwa dengan penambahan filler limbah gelas dapat meningkatkan kuat desak betonnya.

Adapun yang mempengaruhi peningkatan kekuatan tersebut menurut A. Widodo (2001), kandungan silica (SiO_2) pada tepung kaca atau gelas mempunyai kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) pada saat berlangsungnya proses hidrasi semen yang akan membentuk gel kalsium silikat hidrat ($\text{CaO.SiO}_2.11\text{H}_2\text{O}$). Dengan demikian SiO_2 mengurangi jumlah kalsium hidroksida yang merupakan zat sisa hasil reaksi yang dapat menyebabkan menurunnya kekuatan beton.

Penurunan kekuatan desak beton terjadi pada variasi 20 % sebesar 11,238 % terhadap beton normalnya yaitu 18,719 MPa. Dan pada variasi 22,5 % sebesar 7,677 % terhadap beton normalnya yaitu 19,470 MPa. Hal ini terjadi karena penambahan air yang kurang terkontrol pada adukan beton, sehingga faktor air semen bertambah dan dapat menurunkan kuat desak beton.

Kuat desak yang direncanakan pada umur 28 hari yaitu sebesar 22,5 MPa tidak tercapai, didapat beton normal sebesar 21,089 MPa. Hal ini dapat disebabkan karena faktor teknis pembuatan atau pencampuran. Dan kuat desak optimum yang dicari juga belum didapat karena kekuatan desak tertinggi diperoleh pada variasi 25 %.

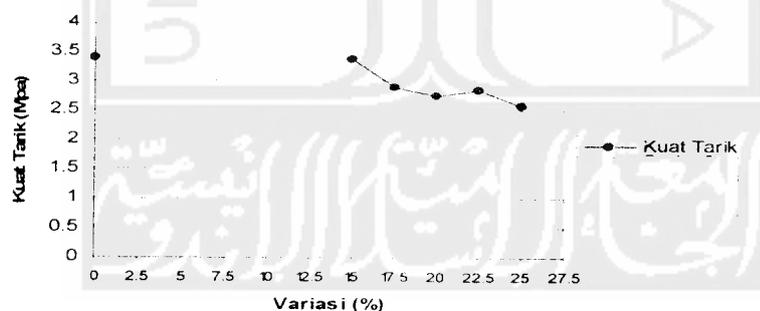
5.4.2 HASIL UJI KUAT TARIK BETON

Pengujian kuat tarik silinder beton dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Untuk beton normal diambil 3 benda uji tiap variasi dan beton normalnya. Pengujian tarik dilakukan dengan uji belah silinder (*tensile splitting cylinder*). Kuat tarik beton diperoleh dengan cara merata nilai kuat tarik silinder beton. Adapun data kuat tarik rerata silinder dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 5.4 Perubahan Kuat Tarik Beton Filler Terhadap Beton Normal

No	Variasi Filler (%)	Kuat Tarik (Mpa)	Penambahan Penurunan
1	0	3.399	0 %
2	15	3.364	-1.030 %
3	17.5	2.895	-14.828 %
4	20	2.753	-19.006 %
5	22.5	2.842	-16.387 %
6	25	2.565	-24.537 %

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah gelas terhadap kuat tarik dapat digambarkan dalam bentuk grafik. hubungan variasi limbah gelas dengan kuat tarik dibawah.



Gambar 5.4 Hubungan Variasi Filler Dengan Kuat Tarik

Dari Tabel 5.4 dan Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekuatan tariknya. Untuk variasi 15 % sebesar 3,364 MPa atau 1,030 %, untuk

17,5 % sebesar 2,895 MPa atau 14,828 %, untuk 20 % sebesar 2,753 MPa atau 19,006 %, untuk 22,5 % sebesar 2,842 MPa atau 16,387 %.

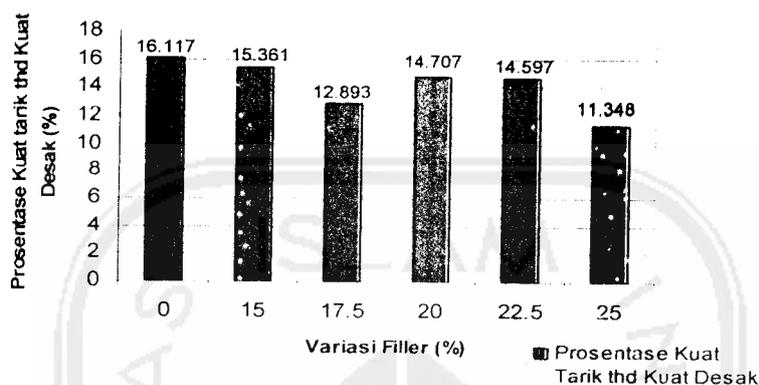
Dan penurunan terbesar terjadi pada variasi 25 % sebesar 2,565 MPa atau 24,537 %. Hal ini terjadi karena semakin banyak konsentrasi filler yang digunakan akan mengurangi lekatan antara pasta semen dengan agregatnya akibat kurang aktifnya fungsi silica pada limbah gelas. Sehingga kekuatan dari silinder betonnya akan semakin berkurang. Penelitian yang dilakukan oleh Yosefto dan Alamanda (2002) beton dengan variasi filler marmer lebih dari 0,5 % dari berat beton mengalami penurunan kuat tarik karena semen sudah tidak dapat mengikat / menyelimuti filler marmer. Hal ini karena filler marmer bertambah banyak, maka luasan campuran betonpun bertambah sehingga semen tidak mampu mengikat / menyelimuti campuran beton. Maka dapat disimpulkan bahwa kuat tarik beton akan menurun seiring dengan bertambahnya filler pada adukan beton.

Untuk mengetahui besar prosentase kuat tarik terhadap kuat desak beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Prosentase Kuat Tarik Terhadap Kuat Desak Beton Untuk Berbagai Variasi Filler

No	Variasi Filler (%)	Kuat Tarik (Mpa)	Kuat Desak (Mpa)	Penambahan / Penurunan
1	0	3.399	21.089	16.117 %
2	15	3.364	21.899	15.361 %
3	17.5	2.895	22.454	12.893 %
4	20	2.753	18.719	14.707 %
5	22.5	2.842	19.470	14.597 %
6	25	2.565	22.603	11.348 %

Gambaran hubungan prosentase kuat tarik terhadap kuat desak beton untuk berbagai variasi dapat dilihat pada Gambar 5.5 dibawah ini



Gambar 5.5 Hubungan Prosentase Kuat Tarik Terhadap Kuat Desak Untuk Berbagai Variasi

Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa penurunan terbesar kuat tarik terhadap kuat desaknya terjadi pada variasi 25 % sebesar 11,348 %. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kuat tarik terjadi seiring dengan peningkatan kuat desaknya.

Pada pengamatan tampang pecah dan retak benda uji setelah dilakukan pengujian menunjukkan bahwa beton normal pecah secara mendadak dan terbelah menjadi sempurna menjadi 2 bagian disertai dengan adanya bunyi ledakan. Sedangkan pada beton filler limbah gelas retak silinder terjadi secara perlahan-lahan tanpa adanya bunyi ledakan. Hal ini terjadi karena energi tarikan ditahan oleh filler-filler yang ada didalam beton.

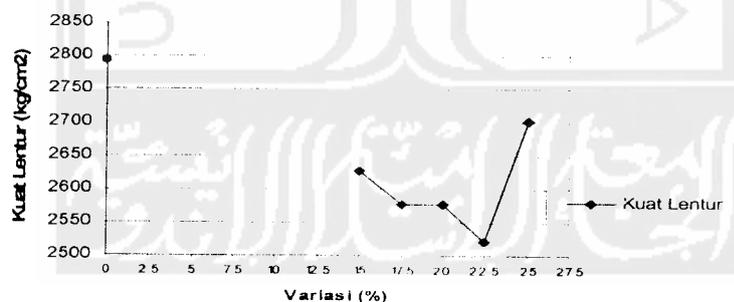
5.4.3 HASIL UJI KUAT LENTUR BETON

Pengujian kuat lentur dilakukan terhadap benda uji balok sebanyak 3 buah untuk setiap variasi. Pengujian dilakukan dengan 2 tumpuan dan satu titik pembebanan, ditengah-tengah bentang, sehingga didapat momen maksimum. Kuat lentur diperoleh dengan cara merataatakan nilai kuat lentur balok beton. Adapun data kuat lentur beton dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 5.6 Prosentase Perubahan Kuat Lentur Beton Filler Terhadap Beton Normalnya

No	Variasi Filler (%)	Kuat Lentur (Kg/cm ²)	Penambahan (%)
1	0	2794.416	0 %
2	15	2627.747	-5.964 %
3	17.5	2578.764	-7.717 %
4	20	2578.426	-7.729 %
5	22.5	2520.916	-9.787 %
6	25	2703.154	-3.266 %

Data hasil pengujian kuat lentur, selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik untuk mengetahui pengaruh substitusi variasi gelas terhadap kuat lentur.



Gambar 5.6 Hubungan Kuat Lentur Dengan Variasi Filler

Dari Tabel 5.6 dan Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kuat lentur pada terhadap beton normalnya. Penurunan tertinggi terjadi pada variasi

22.5 % yaitu sebesar 9,787 %. Hal ini dikarenakan kurang terkontrolnya penambahan air pada adukan beton yang mengakibatkan faktor air semen meningkat sehingga kekuatan beton menurun. Sedangkan pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Bobby S dan A Widodo (2002) dengan penambahan tepung kaca pada balok bertulang dapat meningkatkan kuat lenturnya sebesar 17,96 %. Begitu juga yang dilakukan oleh Nurokhman (2002) penambahan limbah gelas dapat memperbaiki nilai kuat lentur dan mengalami kenaikan lebih dari 100 % yaitu sebesar 105,9 % terhadap beton normalnya.

Pada penelitian tersebut terjadi peningkatan kuat lentur karena menggunakan tulangan, sehingga sangat berpengaruh terhadap kekutan betonnya. Sebagaimana diketahui bahwa baja tulangan tahan terhadap kuat tarik tetapi tidak bisa menahan desak sedangkan beton tahan terhadap desak, tetapi tidak kuat menahan tarik. Oleh sebab itu beton bertulang merupakan suatu komposit yang dapat menutupi masing-masing kelemahan beton dan tulangnya, sehingga dapat meningkatkan kekuatan betonnya.

5.4.4 HASIL UJI MODULUS ELASTISITAS

Modulus elastisitas merupakan sifat yang dimiliki oleh beton yang berhubungan dengan mudah tidaknya beton tersebut mengalami regangan (perpanjangan maupun perpendekan) saat mendapat beban. Semakin besar nilai modulus elastis maka semakin kecil regangan yang terjadi karena nilai modulus elastis berbanding terbalik dengan nilai regangan. Nilai modulus elastis ini akan ditentukan oleh kemiringan kurva pada grafik tegangan - regangan. Dimana kurva

ini dipengaruhi oleh tegangan beton dan regangan beton. Semakin tegak suatu kurva dan semakin panjang garis linier yang panjang, berarti beton tersebut memiliki kuat desak yang besar pula.

Dengan semakin bertambahnya beton maka makin berkurangnya kekakuan material sehingga kurva tidak akan linier lagi, karena dengan semakin tegaknya kurva perubahan yang terjadi pada sampel sangat kecil sehingga dapat dikatakan sampel dalam keadaan kaku.

Dari grafik yang terjadi, diperlukan pengoreksian terhadap nilai regangan, agar nilai regangan pertama mulai dari 0. Angka koreksi besarnya tergantung dari perpanjangan garis linier pertama, besarnya angka ini yang akan menentukan pergeseran kekiri atau kekanan dari nilai regangan pada hasil pengujian beton yang nantinya akan didapatkan dari nilai regangan yang baru atau nilai regangan koreksi. Sehingga regangan koreksi :

$$\epsilon_k = k \pm \epsilon$$

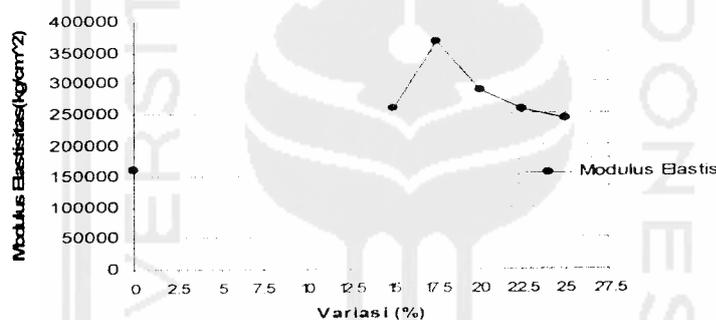
Modulus elastisitas yang terjadi dapat dilihat pada grafik yang digambarkan dari angka regangan koreksi, dengan menarik garis sejajar sumbu x hingga berpotongan dengan grafik regangan. Dari titik perpotongan ini ditarik garis sejajar sumbu y sehingga didapatkan nilai regangannya.

Pada penelitian ini pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada umur 28 hari dan 2 buah benda uji untuk masing-masing variasi. Adapun hasil pengujian modulus elastisitas dengan dan tanpa campuran limbah gelas seperti pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Dengan Filler

No	Variasi Filler (%)	Modulus Elastisitas (Kg/cm ²)	Penambahan (%)
1	0	161537.100	0
2	15	257853.168	59.625
3	17.5	366727.273	127.024
4	20	287073.460	77.714
5	22.5	255925.258	58.431
6	25	241219.996	49.328

Dari data hasil pengujian kuat tarik, selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik untuk diketahui pengaruh substitusi variasi limbah gelas terhadap modulus elastisitas.



Gambar 5.7 Hubungan Variasi Filler Dengan Modulus Elastisitas

Berdasarkan Gambar 5.7 dan Tabel 5.7 menunjukkan bahwa akibat substitusi filler limbah gelas kedalam adukan beton akan meningkatkan nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas terbesar dicapai oleh kandungan filler limbah gelas variasi 17,5 % yang mengalami peningkatan lebih dari 100 % yaitu sebesar 27,539 kg/cm² atau 156,438 %. Kuat modulus elastisitas untuk beton normal berdasarkan rumus empiris $4700\sqrt{f_c}$ adalah 222940,58 Kg/cm². Sedangkan hasil daari penelitian adalah 161537,100 Kg/cm². Dari hasil tersebut terdapat selisih yang cukup besar yaitu -38,012 %. Hal tersebut karena

keterbatasan sampel dan pemilihan sampel yang kurang tepat. Selain itu disebabkan juga kurangnya ketelitian pembacaan dial pada saat pengujian.

Hal yang terpenting yang perlu diperhatikan dalam pengujian tegangan-regangan adalah kondisi permukaan benda uji silinder. Permukaan yang lebih rata akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang cukup representatif karena distribusi beban akan tersebar secara merata keseluruh permukaan benda uji.

Seperti yang telah diuraikan diatas bahwa semakin tegak suatu kurva dan memiliki garis linier yang panjang maka nilai modulus elastisitas beton akan meningkat seiring dengan meningkat pula kuat desaknya. Hal ini dapat dilihat bahwa kuat desak pada variasi 17,5 % mengalami kuat desak yang cukup tinggi yaitu 22,454 MPa atau sekitar 6,475 % meningkat dari beton normalnya. Selain itu kurva tegangan-regangan juga dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan dan faktor pengujian seperti alat uji dan kecepatan pembebanan. Daerah terlemah pada beton adalah daerah antara pasta semen dengan agregat kasar. Penggunaan agregat kasar batu pecah yang memiliki permukaan kasar akan mengurangi hal tersebut, sehingga meningkatkan kuat tekan dan memperkecil deformasi yang terjadi akibat pembebanan.