

## BAB VI

### PEMBAHASAN

#### 6.1 Kuat Tekan Beton

##### 6.1.1 Pencapaian kuat tekan beton

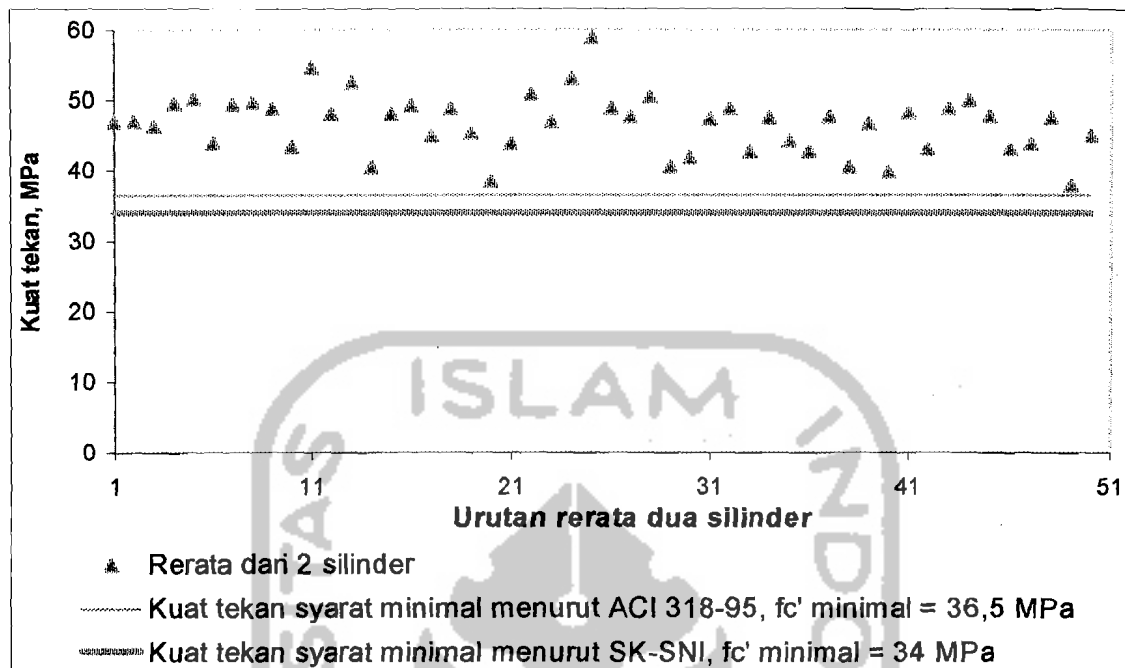
Kuat tekan rata-rata yang dicapai dari hasil pengujian awal terhadap benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium (*standart laboratory moist-cured specimens*), pada tabel 5.1 sebesar 53,997 MPa. Berdasarkan ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2, untuk kuat tekan spesifikasi lebih dari 35 MPa dan data uji kurang dari 15 diambil nilai margin 10 MPa. Kuat tekan hasil pengujian menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2.2 diperoleh 43,997 MPa, lebih tinggi dibanding kuat tekan spesifikasi sebesar 40 Mpa. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa rancangan campuran yang ada memenuhi persyaratan untuk digunakan di lapangan.

Berdasarkan analisis hasil pengujian kuat tekan untuk benda uji yang dibuat dan dirawat di lapangan (*field-cured specimens*) pada tabel 5.2, diperoleh nilai kuat tekan rata-rata ( $f_c'r$ ) 46,59159 MPa dengan standar deviasi adalah 4,61230 MPa. Jika digunakan persamaan 5.9, diperoleh kuat tekan ( $f_c'$ ) dari hasil pengujian 39,02742 MPa, ternyata lebih rendah dari kuat tekan spesifikasi yaitu 40 MPa. ACI 318-95 sub bab 5.6.3.4 menyebutkan bahwa hasil uji kuat tekan benda uji beton yang dibuat dan dirawat di lapangan (*field-cured specimens*) tidak boleh kurang dari 0,85 kuat tekan

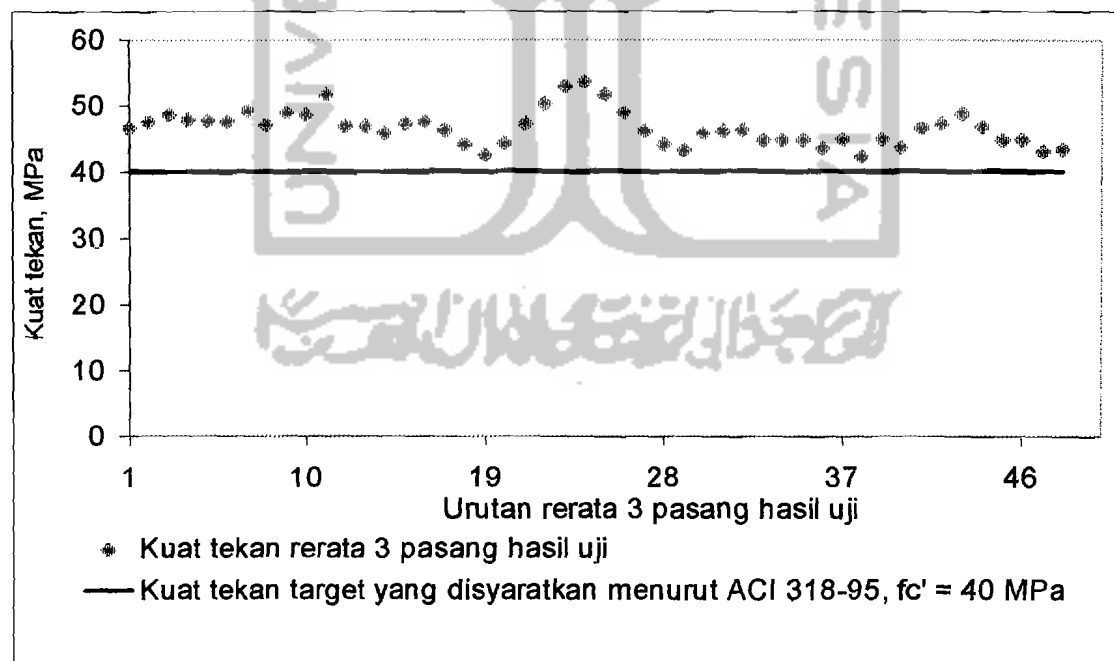
hasil pengujian terhadap benda uji yang dibuat dan dirawat dengan standar laboratorium (*standart laboratory moist-cured specimens*). Nilai 0,85 kuat tekan *standart laboratory moist-cured specimens* dari analisis pada tabel 5.1, diketahui sebesar 37,381 MPa. Kuat tekan hasil uji *field-cured specimens* sebesar 39,027 MPa, masih lebih tinggi dari 37,381 MPa. Mutu beton yang dihasilkan di lapangan berdasarkan analisis tersebut, memenuhi persyaratan terhadap kuat tekan spesifikasi.

Pada hasil pengujian tabel 5.2 digunakan persamaan 5.10 sebagai kontrol terhadap mutu beton yang dihasilkan, berdasarkan ACI 318-95 sub bab 5.3.2 diperoleh  $f_c'$  40,411 MPa. Nilai  $f_c'$  tersebut lebih tinggi dibanding kuat tekan spesifikasi sebesar 40 MPa maupun nilai 0,85 kuat tekan hasil pengujian terhadap *standart laboratory moist-cured specimens* sebesar 37,381 MPa. Kuat tekan beton yang dihasilkan di lapangan, dari analisis menurut ACI 318-95 sub bab 5.3.2 memenuhi persyaratan.

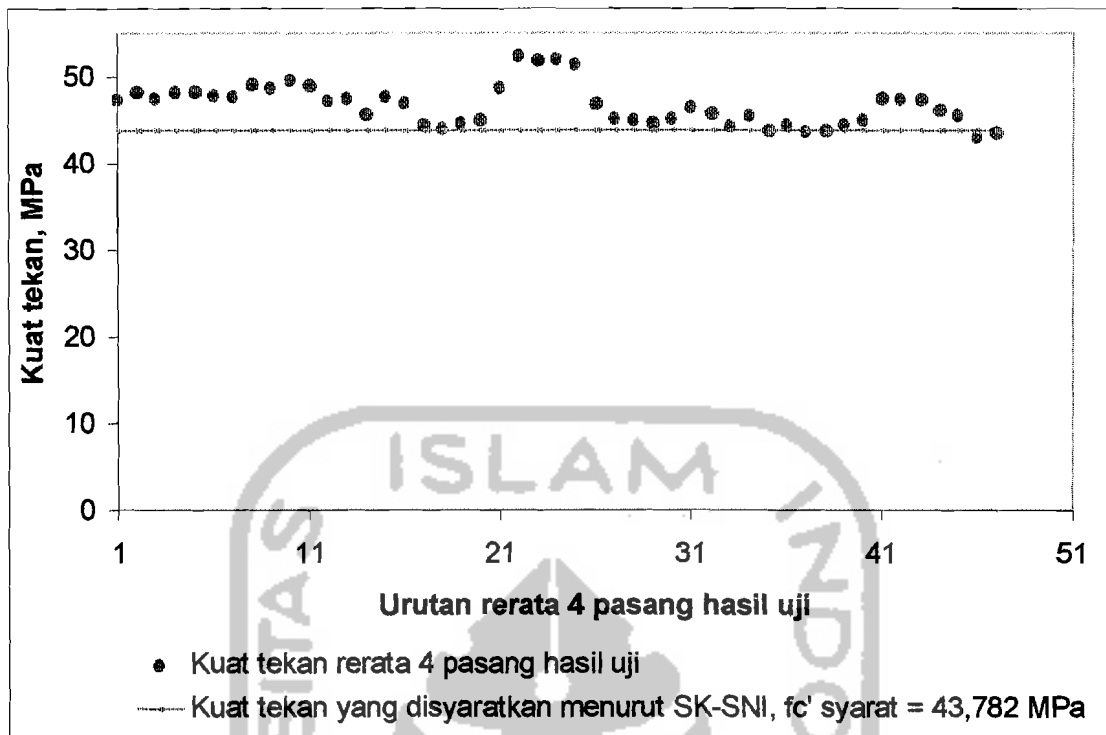
Evaluasi terhadap hasil uji kuat tekan secara individual perlu dilakukan untuk mengetahui pencapaian mutu beton yang dihasilkan. Evaluasi dilakukan berdasarkan persyaratan ACI 318-95 sub bab 5.6.2.3 dan SK-SNI. Berdasarkan tabel 5.3 kolom (6) ditampilkan bentuk sebaran kuat tekan rata-rata dua silinder beton aktual terhadap kuat tekan minimal yang disyaratkan menurut ACI 318-95 dan SK-SNI pada gambar 6.1. Pada gambar 6.2 ditampilkan sebaran kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji berdasarkan kolom (5) tabel 5.4 terhadap kuat tekan target yang disyaratkan menurut ACI 318-95 sub bab 5.6.2.3. Sebaran rerata 4 pasang hasil uji berdasarkan kolom (5) tabel 5.5 terhadap kuat tekan yang disyaratkan menurut SK-SNI ditampilkan pada gambar 6.3..



**Gambar 6.1 Sebaran kuat tekan rerata dua silinder**



**Gambar 6.2 Sebaran kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji**



**Gambar 6.3 Sebaran kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji**

Dari gambar 6.1 terlihat bahwa tidak ada hasil rata-rata dua silinder yang lebih rendah dari persyaratan kuat tekan minimal menurut ACI 318-95 dan SK-SNI. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak perlu dilakukan uji tidak merusak untuk mengetahui keamanan struktur terhadap beban yang terjadi.

Dari gambar 6.2 terlihat bahwa tidak ada nilai kuat tekan rerata dari 3 pasang hasil uji yang lebih rendah dari kuat tekan yang disyaratkan menurut ACI 318-95. Dari gambar 6.3, hanya ada 3 nilai dari 47 nilai kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji yang lebih rendah dari kuat tekan yang disyaratkan menurut SK-SNI.

Dari gambar 6.1 dan 6.2 serta analisis pada tabel 5.3 dan 5.4 diketahui bahwa berdasarkan ACI 318-95 secara individual kuat tekan beton yang dihasilkan telah

memenuhi persyaratan. Berdasarkan evaluasi secara individual menurut SK-SNI pada tabel 5.3 dan 5.5 yang ditunjukkan pada gambar 6.1 dan 6.3 diketahui bahwa sebagian besar nilai kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji lebih dari kuat tekan yang disyaratkan sebesar 43,782 MPa, dan seluruh hasil kuat tekan rata-rata dua silinder yang menunjukkan kuat tekan aktual beton yang diproduksi lebih tinggi dari 0,85  $f_c'$  yaitu 34 MPa.

Hasil kuat tekan rata-rata sepasang silinder yang rendah kemungkinan diakibatkan oleh pemadatan benda uji yang kurang, hal tersebut dapat dilihat dari berat satuan beton benda uji yang lebih rendah dari berat satuan rata-rata sebesar 2373,69 kg/m<sup>3</sup>. Selain itu kerikil yang agak kotor oleh lumpur akan mengurangi lekatan antara pasta semen dan agregat, sehingga mengurangi kuat tekan beton. Kemungkinan lain adalah pembuatan benda uji yang kurang sempurna menyebabkan hasil uji lebih rendah dari kuat tekan aktual, dikarenakan permukaan yang tidak rata ditekan selama pengujian, maka beban uji tidak dapat bekerja secara merata namun bekerja sebagai beban titik pada permukaan yang lebih tinggi.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap kuat tekan adalah ketepatan takaran, rawatan benda uji, dan alat uji. Pelaksanaan pengawasan yang baik di lapangan terutama dalam ketepatan takaran bahan dan prosedur pelaksanaan pencampuran mampu memperkecil faktor-faktor yang dapat merugikan antara lain adanya kesalahan manusiawi (*human error*) terutama dalam proses penakaran dan prosedur pencampuran.

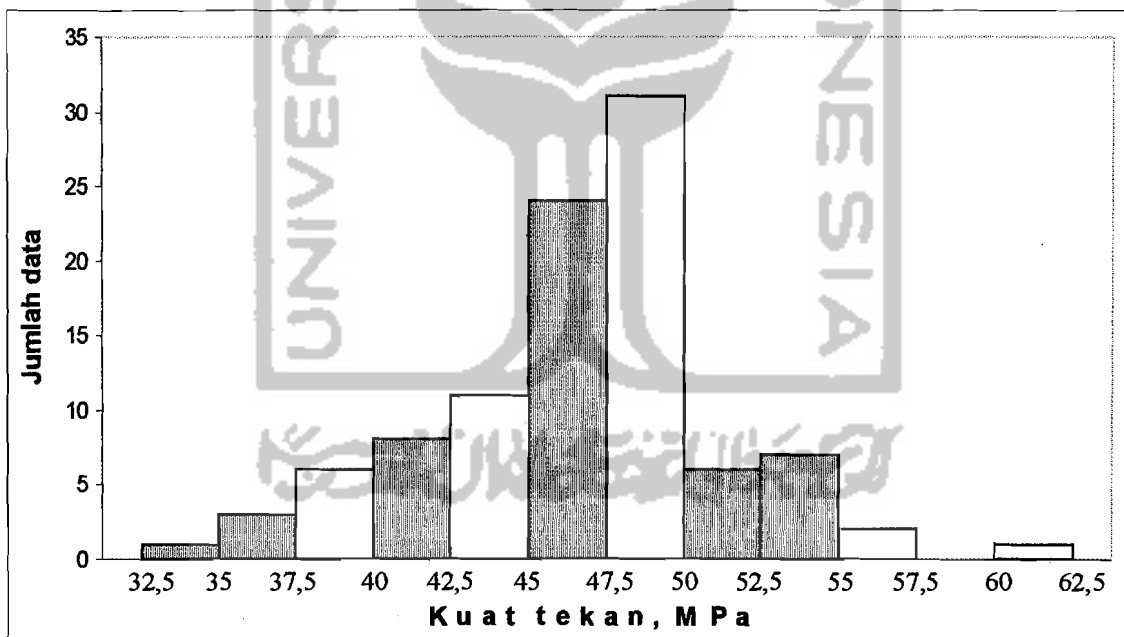
Rawatan benda uji yang baik dapat menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Berdasarkan teori rawatan, benda uji dengan direndam dalam air sampai saat pengujian menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibanding rawatan kering. Rawatan yang dilakukan dalam penelitian adalah dengan direndam dalam air selama 7 hari, kemudian ditempatkan di tempat kering dan terlindung sampai umur 28 hari. Hal ini dikarenakan tempat rawatan benda uji kurang mencukupi. Berdasarkan teori, cara rawatan benda uji seperti ini menghasilkan beton dengan kuat tekan lebih kecil 0,88 – 0,91 dari kuat tekan beton dengan cara rawatan direndam selama 28 hari.

Kecepatan pembebanan saat pengujian kuat tekan, berpengaruh terhadap kuat tekan benda uji. Kecepatan pembebanan yang rendah menyebabkan beton mempunyai cukup banyak waktu untuk terjadinya rayapan. Jenis dan merk alat uji berpengaruh terhadap akurasi hasil pengujian yang dilakukan. Hal tersebut disebabkan setiap alat mempunyai nilai kalibrasi yang berbeda. Untuk menjaga akurasi hasil uji, dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan lebih dari satu jenis atau merk alat uji.

Hasil pengujian menunjukkan beton yang diproduksi di lapangan dengan nilai faktor air-semen 0,39 dapat mencapai kuat tekan rata-rata 46,59159 MPa. Jika hasil tersebut diplotkan pada gambar 2.1, yang merupakan hasil beberapa peneliti terdahulu tentang hubungan faktor air-semen dengan kuat tekan beton, maka hasil penelitian ini akan terlihat sesuai grafik 2 dari hasil penelitian Fiorato (1989). Hal tersebut menunjukkan hasil kuat tekan beton yang diproduksi di lapangan dengan faktor air-semen 0,39 telah sesuai dengan kriteria beton mutu tinggi mengacu penelitian Fiorato (1989).

### 6.1.2 Keseragaman kuat tekan beton

Pada tabel 5.2 diketahui tentang kuat tekan benda uji secara keseluruhan. Dari tabel tersebut ditampilkan dalam bentuk gambar histogram frekuensi pada gambar 6.4. Berdasarkan analisis terhadap tabel 5.2, diketahui bahwa data kuat tekan tersebut mempunyai  $f_c'$  rata-rata 46,59159 MPa, standar deviasi 4,61230 MPa, dan koefisien variasi 9,89942 %. Kuat tekan beton yang dihasilkan dianggap mempunyai keseragaman yang baik, ditunjukkan dengan nilai standar deviasi yang berkisar antara 3,5 MPa sampai 5 MPa menurut ACI Committee 363R-92 dan nilai koefisien variasi yang kurang dari 20 % menurut Suwandojo (2000).



**Gambar 6.4 Diagram frekuensi kuat tekan**

Gambar 6.4 menunjukkan frekuensi kuat tekan dari 100 data pengujian yang telah dilakukan, nampak bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan cukup bervariasi. Sebagian besar hasil uji kuat tekan terletak antara 45 MPa sampai 50 MPa yaitu

sebanyak 56% dari seluruh data pengujian. Data pengujian dengan *range* kuat tekan antara 40 MPa sampai 45 MPa adalah sebanyak 19 %, sedangkan data yang lain tersebar pada *range* 32,5 sampai 40 MPa. Hasil pengujian dengan kuat tekan antara 50 MPa sampai 60 MPa adalah 14% dari keseluruhan hasil uji. Data hasil pengujian yang memiliki kuat tekan di atas 60 MPa sebanyak 1%.

Variasi kuat tekan beton hasil pengujian dipengaruhi oleh beberapa faktor. Karakteristik material terutama agregat di lapangan yang bervariasi seperti gradasi, bentuk, tekstur, dan sifat-sifat fisik lain, dapat mengakibatkan mutu beton yang bervariasi. Sulit untuk mendapatkan agregat yang memiliki karakteristik yang seragam di lapangan, meskipun material di ambil dari sumber yang sama.

Cara pengadukan yang berbeda dari satu adukan ke adukan berikutnya mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Hal tersebut berhubungan dengan stabilitas dan kemampuan sumber daya manusia yang ada. Pengawasan yang baik serta penggunaan pekerja yang berpengalaman dapat mengurangi kesalahan akibat faktor pekerja.

Pemadatan benda uji dengan cara ditumbuk secara manual, mengakibatkan kepadatan beton sangat dipengaruhi oleh pengalaman pembuat benda uji. Kepadatan benda uji satu dan lainnya sulit diukur, karena tidak ada standar yang tepat untuk hal itu. Kurangnya pemadatan menyebabkan gelembung udara dalam beton sehingga menjadikan beton berpori, hal ini mengurangi kekuatan beton. Pada pemadatan yang berlebihan dapat terjadi pemisahan antar bahan penyusun sehingga menimbulkan rongga-rongga. Hal tersebut mengakibatkan masuknya udara dari luar yang menimbulkan gelembung udara pada beton.



## 6.2 Slump dan Workabilitas

Tabel 5.6 menunjukkan nilai slump campuran yang dihasilkan dalam satu hari dapat bervariasi dari satu adukan ke adukan berikutnya. Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap data tabel 5.6 diperoleh hasil slump rata-rata 17,38 cm, dengan standar deviasi slump 1,19 cm, koefisien variasi 6,6866 %. Dari hasil analisis tersebut nampak bahwa secara umum nilai slump campuran mempunyai keseragaman yang baik, ditunjukkan dengan standar deviasi dan koefisien variasi slump yang rendah.

Nilai slump campuran yang dihasilkan di lapangan bervariasi antara 13 cm sampai 19 cm, lebih tinggi dari slump rencana yaitu 12 cm sampai 14 cm. Nilai slump campuran yang diproduksi di lapangan mempengaruhi workabilitas. Beton kinerja tinggi umumnya mempunyai nilai faktor air-semen yang rendah, menyebabkan slump campuran rendah. Untuk menjaga workabilitas di lapangan digunakan bahan-tambah *superplasticizer*.

Pada bagian bawah kubah dengan posisi pengecoran hampir vertikal dan tulangan yang tidak terlalu rapat digunakan nilai slump yang lebih rendah (berkisar 14–16 cm), dibandingkan bagian tengah dan atas kubah dengan posisi pengecoran cenderung melengkung dan penulangan semakin rapat (16 – 19 cm). Pada pengecoran bagian tengah dan atas kubah memerlukan nilai slump yang tinggi, bertujuan agar campuran beton dapat mengisi antar tulangan yang rapat dan mengikuti bentuk acuan yang lengkung.

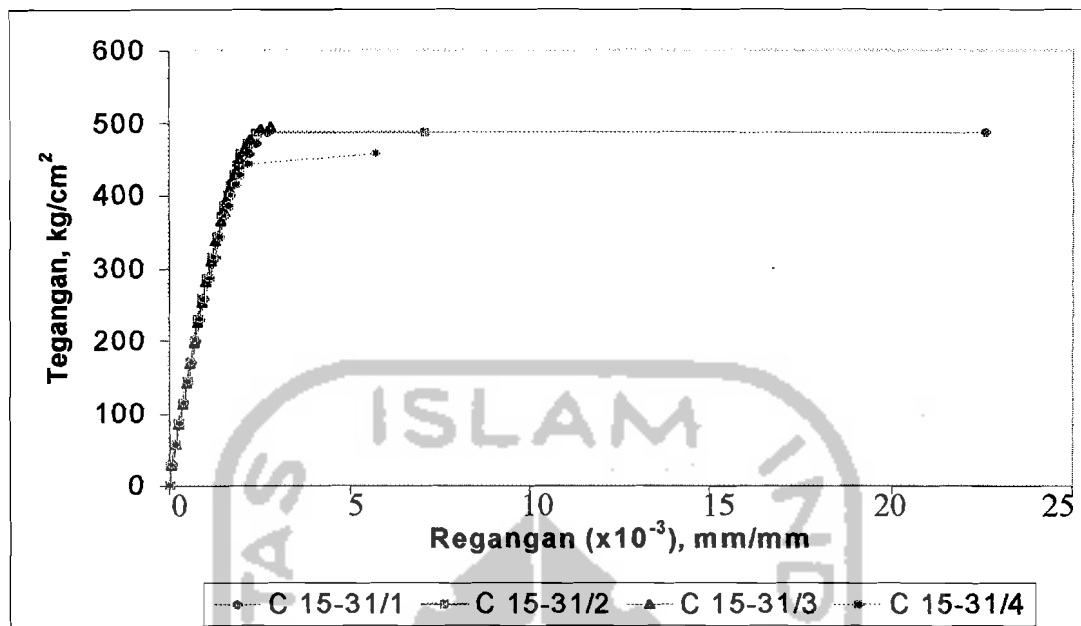
Pada saat cuaca panas dilakukan penambahan jumlah air pencampur, dengan maksud meninggikan nilai slump untuk mengantisipasi terjadinya *slump loose* selama pengangkutan. Pada saat cuaca hujan, maka material terutama agregat basah. Hal

tersebut akan menambah kandungan air dalam campuran, sehingga dilakukan pengurangan air pencampur. Nilai slump campuran diusahakan sesuai dengan slump yang diperlukan untuk menjaga workabilitas, dan menjamin agar struktur kubah dapat dikerjakan dengan standar pelaksanaan yang sama.

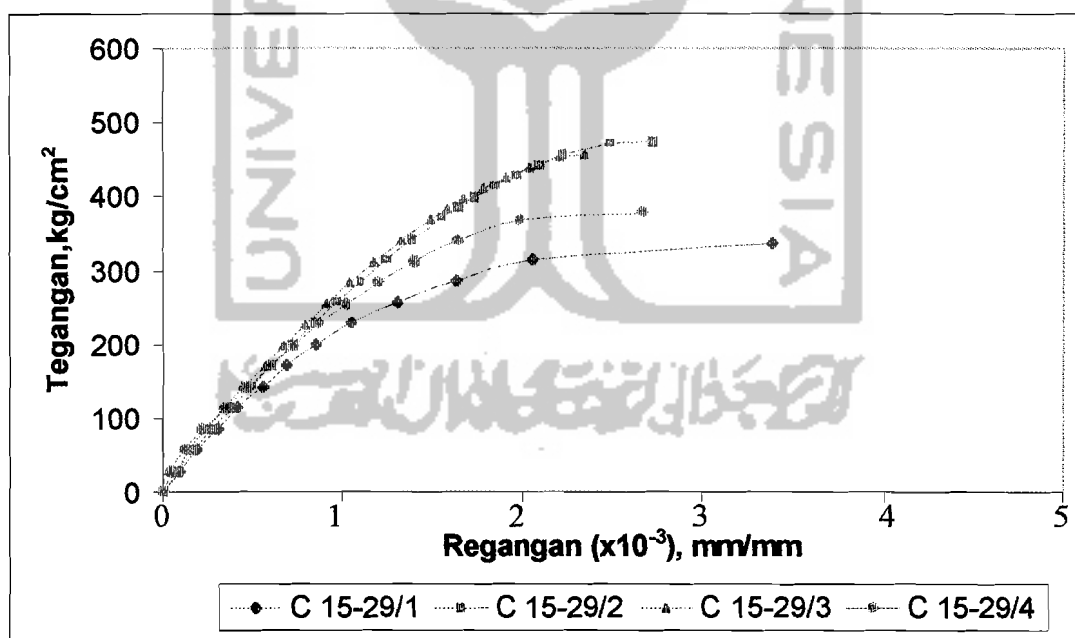
Penyiraman terhadap agregat menyebabkan kandungan air dalam agregat bertambah, sehingga perlu dilakukan pengurangan jumlah air pencampur. Penggunaan agregat kasar dengan absorsi lebih dari 1 % seperti tercantum dalam spesifikasi, mengakibatkan agregat mudah untuk menyerap air. Hal tersebut menimbulkan kesulitan untuk mengontrol penambahan maupun pengurangan air pencampur.

### **6.3 Modulus Elastisitas**

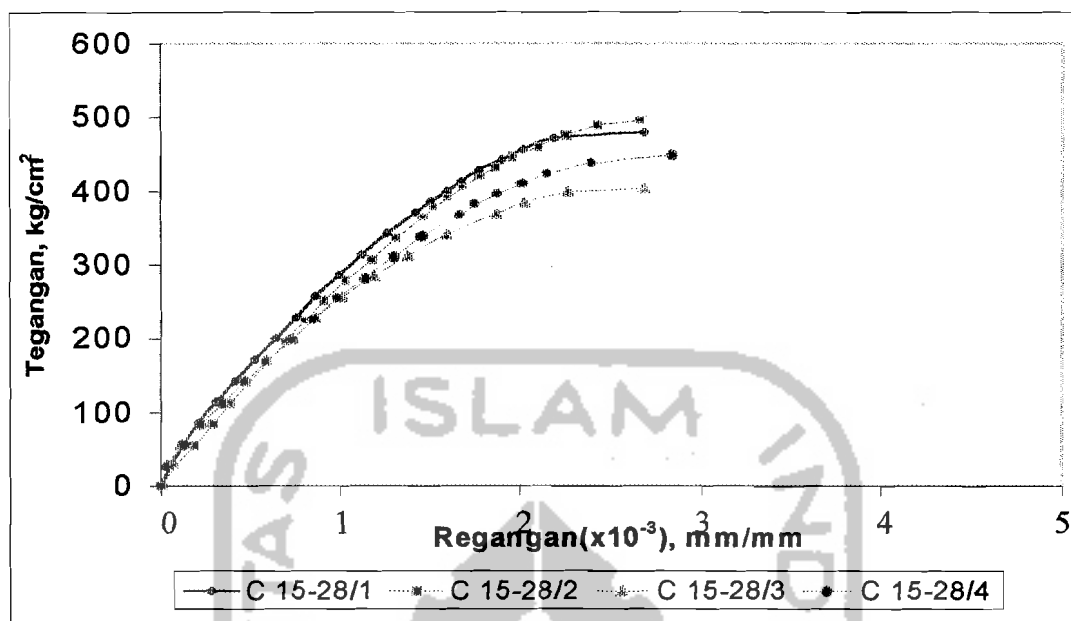
Pengujian tegangan-regangan tidak dilakukan terhadap seluruh benda uji disebabkan keterbatasan sarana dan biaya yang tersedia, sehingga hanya diambil 20 benda uji. Seluruh pengujian tegangan-regangan dilaksanakan di Laboratorium Bahan, PUSLITBANGKIM Bandung. Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji untuk masing-masing umur pengujian ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



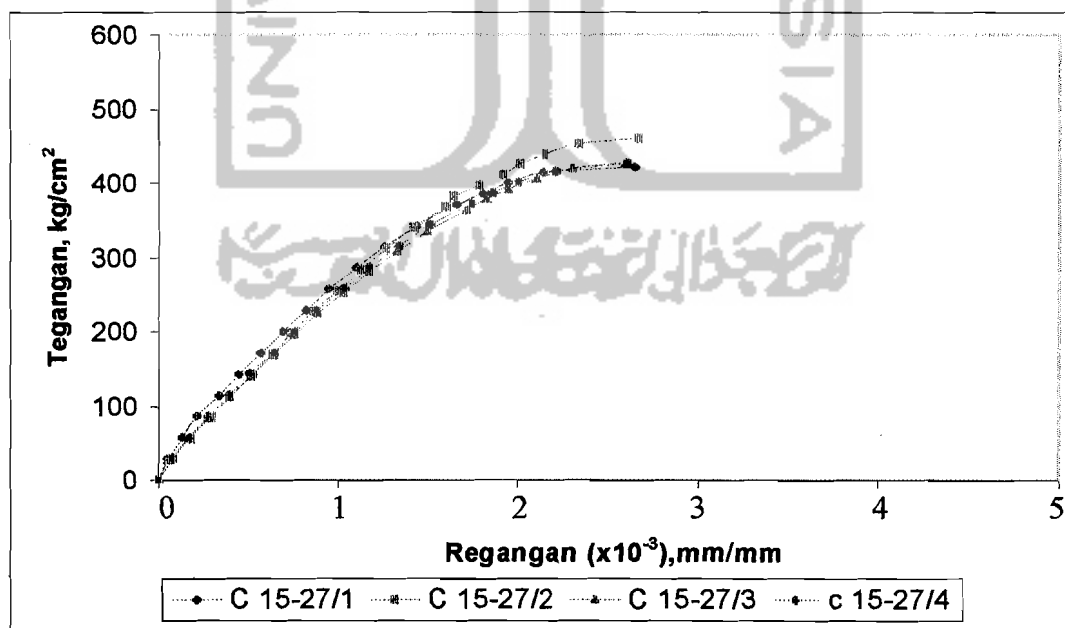
Gambar 6.5 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 31 hari



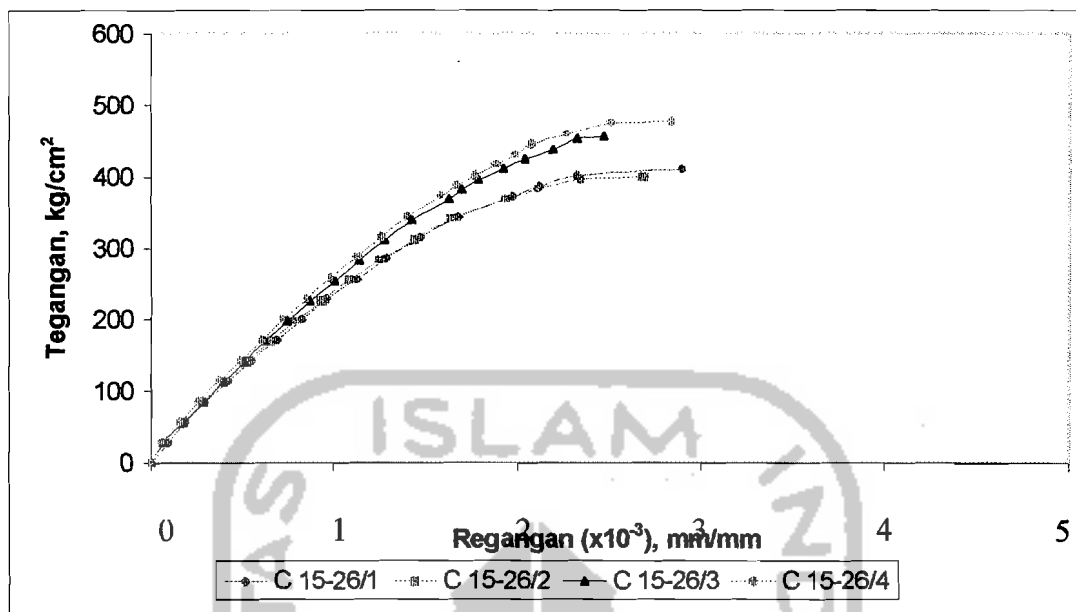
Gambar 6.6 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 29 hari



Gambar 6.7 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 28 hari



Gambar 6.8 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 27 hari



**Gambar 6.9 Kurva hubungan tegangan-regangan benda uji umur 26 hari**

Dari tabel 5.7 diketahui untuk benda uji dengan umur 26 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002471 mm/mm sampai 0,002899 mm/mm dengan rata-rata 0,002844 mm/mm. Untuk benda uji dengan umur 27 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002598 mm/mm dan 0,002667 mm/mm dengan rata-rata 0,002629 mm/mm. Benda uji umur 28 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002656 mm/mm dan 0,002841 mm/mm dengan rata-rata 0,002715 mm/mm. Benda uji dengan umur 29 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002348 mm/mm dan 0,003384 mm/mm dengan rata-rata 0,002783 mm/mm. Untuk benda uji umur 31 hari memiliki regangan maksimum antara 0,002826 mm/mm dan 0,022605 mm/mm dengan rata-rata 0,009565 mm/mm.

Secara teoritis beton akan mencapai tegangan maksimum pada saat regangan tekan di antara 0,002 dan 0,0025. Regangan ultimit pada saat beton hancur adalah sekitar 0,003 sampai 0,008, tetapi dalam praktek regangan maksimum diambil 0,003 sampai 0,004. Pada pengujian beton, tegangan maksimum adalah tegangan ultimit, karena saat mencapai tegangan maksimum beton langsung hancur. Menurut ACI sub bab 10.2.3 nilai regangan maksimum untuk serat tekan ekstrim diambil 0,003. Nilai regangan maksimum menurut ACI tersebut dapat tidak konservatif untuk beton berkekuatan tinggi.

Beton yang dihasilkan dalam penelitian memiliki regangan maksimum pada saat beton hancur antara 0,0023 sampai 0,0096. Dari data uji diketahui pada benda uji umur 31 hari regangan maksimal ada yang mencapai 0,022605, hal tersebut dapat disebabkan oleh kesalahan pengambilan data *logger*. Pengujian benda uji umur 31 hari dilakukan pertama kali dari keseluruhan pengujian, pada pengujian tersebut dilakukan pengukuran sampai benda uji hancur. Tegangan yang terjadi saat beton hancur tidak dapat terprediksi, sehingga dapat terjadi data *logger* untuk tegangan maksimum diambil terlambat yaitu setelah beton hancur. Hal tersebut menyebabkan pengukuran nilai perpendekan tidak akurat. Untuk mengatasinya pada pengujian setelah benda uji umur 31 hari data *logger* untuk tegangan maksimal diambil pada saat tidak ada lagi penambahan beban, kemudian pengujian langsung dihentikan untuk menghindari pengaruh ledakan beton terhadap alat uji. Apabila data regangan maksimum dari hasil uji untuk benda uji umur 31 hari dihilangkan didapat nilai regangan maksimum antara 0,002199 sampai 0,002826 dengan rata-rata 0,002554,

maka dari gambar 6.5 dapat dilihat bahwa secara umum bentuk kurva tegangan-regangan untuk benda uji umur 31 hari tidak jauh berbeda dengan benda uji yang lain.

Untuk mengetahui bentuk kurva tegangan-regangan yang benar, diperlukan hasil pengujian yang akurat terutama data perpendekan. Pengukuran dengan manual dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pembacaan. Salah satu cara pengujian yang cukup akurat adalah menggunakan *tranduser*, yaitu alat pencatat deformasi semi otomatis dengan ketelitian mencapai 0,001 mm. Namun penggunaan alat semi otomatis *tranduser* mempunyai kesulitan pada pengambilan nilai perpendekan pada saat tegangan maksimal dan tegangan ultimit. Hal tersebut disebabkan pada saat beton maksimal dan hancur berlangsung sangat cepat dan tidak terprediksi, sehingga operator *tranduser* kurang akurat dalam mengambil data *logger*. Untuk lebih meningkatkan ketelitian dalam penggunaan *tranduser* pada saat diperkirakan beton mendekati tegangan hancur, rentang pembacaan penambahan beban diperkecil.

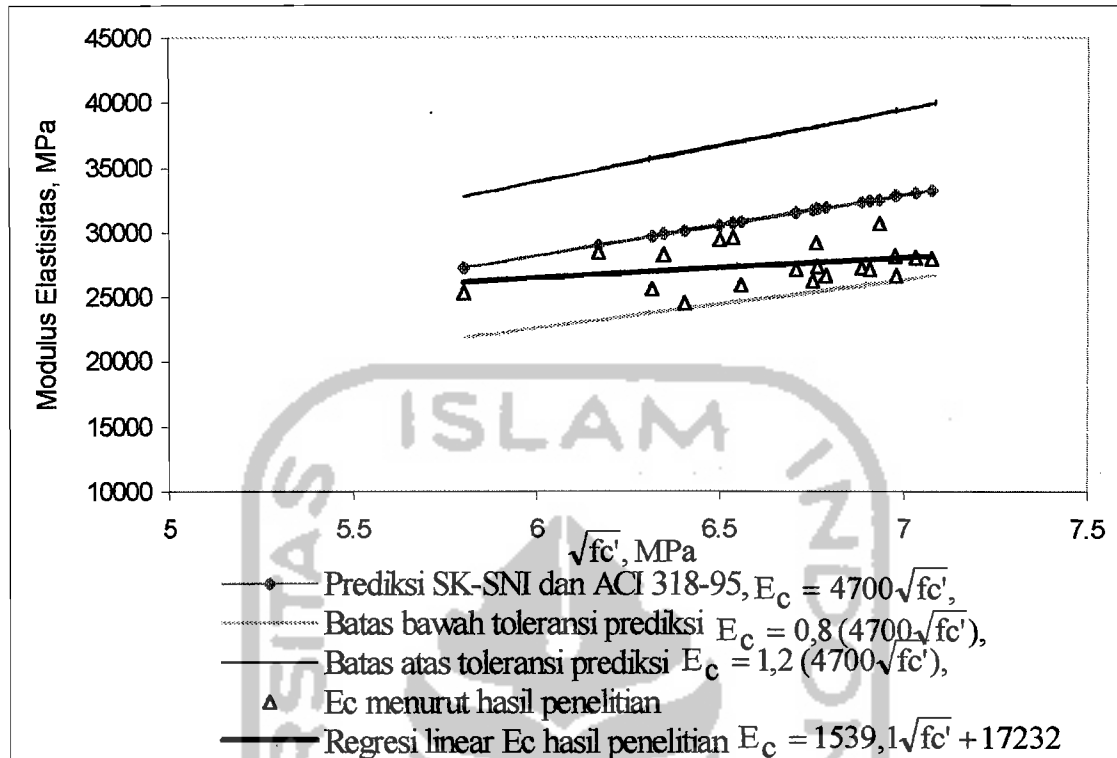
Ketelitian pengujian tegangan-regangan dapat lebih teliti menggunakan alat *strain gauge* dengan bantuan komputer. Kecepatan pembebanan mempengaruhi bentuk kurva tegangan-regangan. Pembebanan yang terlalu lambat akan mengakibatkan terjadinya rangkai, sehingga nilai deformasi menjadi tidak akurat.

Bentuk kurva tegangan-regangan 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.

Modulus elastisitas beton pada umur 26 hari dari tabel 5.9 sebesar 24522,5505 MPa sampai 27188,7173 MPa dengan rata-rata 25899,0129 MPa. Pada umur 27 hari modulus elastisitas hasil penelitian antara 25971,0778 MPa sampai 29381,6407 MPa dengan rata-rata 27882,0431 MPa. Beton pada umur 28 hari, dari hasil penelitian memiliki modulus elastisitas antara 27141,4162 MPa sampai 30709,0558 MPa dengan rata-rata 28497,7432 MPa. Modulus elastisitas beton hasil penelitian pada umur 29 hari antara 25327,3843 MPa sampai 29134,2354 MPa dengan rata-rata 27551,2207 MPa. Pada umur 31 hari modulus elastisitas hasil penelitian antara 26658,6282 MPa sampai 28181,5890 MPa dengan rata-rata 27577,4672 MPa.

Dari uraian di atas terlihat bahwa nilai modulus elastisitas hasil penelitian dari umur 26 hari akan meningkat sampai umur 28 hari. Pada umur 29 dan 31 hari modulus elastisitas hasil penelitian lebih rendah dari umur 28 hari. Pada tabel 5.10 ditunjukkan hasil analisis perhitungan modulus elastisitas beton berdasarkan hasil uji tegangan-regangan menurut prediksi ACI 318-95 sub bab 8.5.1 dan ACI 363R-84. Perbandingan hubungan modulus elastisitas dengan akar kuadrat kuat tekan beton antara hasil penelitian dengan pendekatan teoritis menurut ACI 363R-84 maupun ACI 318-95 ditampilkan pada gambar 6.10 dan 6.11.



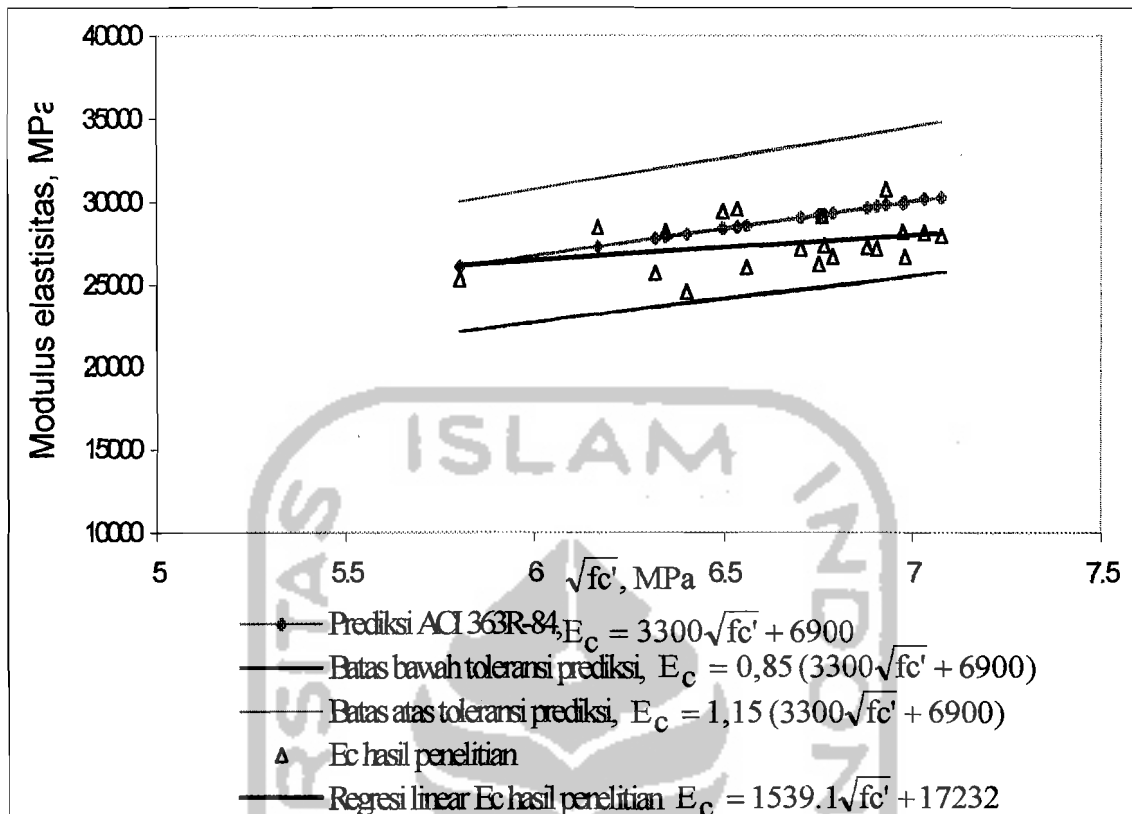


**Gambar 6.10** Komparasi modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 318-95

Gambar 6.10 memperlihatkan perbandingan antara nilai modulus elastisitas dari hasil penelitian dengan prediksi ACI 318-95 sub bab 8.5.1 dengan persamaan  $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ . ACI 318-95 sub bab 8.5.1 memberikan toleransi bagi modulus elastisitas yaitu  $\pm 20\%$  dari nilai prediksi, dengan maksud kemungkinan modulus elastisitas riil akan berada pada *range* 80% sampai 120% dari modulus elastisitas prediksi. Dari gambar tersebut nampak bahwa nilai modulus elastisitas hasil penelitian berada di antara nilai prediksi dan  $0,8 (4700\sqrt{f_c'})$  yang merupakan batas bawah toleransi nilai prediksi modulus elastisitas. Dari hasil analisis regresi terhadap hasil penelitian akan diperoleh persamaan regresi  $E_c = 1539,1\sqrt{f_c'} + 17232$

Pada tabel 5.10 diketahui modulus elastisitas rata-rata dari hasil penelitian terregresi adalah sebesar 27480,7945 MPa, dan prediksi modulus elastisitas rata-rata menurut ACI 318-95 adalah 31297,0789 MPa. Dari tabel 5.11 diketahui selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian yang telah terregresi dengan nilai modulus elastisitas prediksi menurut ACI 318-95 adalah berkisar 4,07% sampai 15,45%, dengan selisih rata-rata 12,06 %. Selisih tersebut masih berada dibawah batas toleransi prediksi modulus elastisitas menurut ACI 318-95 sebesar 20%. Sesuai dengan beberapa penelitian lain menunjukkan terjadinya *overestimates* pada penggunaan persamaan ACI 318-95 untuk memprediksi modulus elastisitas beton berkinerja tinggi.

Gambar 6.11 memperlihatkan perbandingan antara modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 363R-84 dengan persamaan  $E_c = 3300\sqrt{f_c'} + 6900$ . Rumus prediksi menurut ACI 363R-84 tersebut mempunyai batas toleransi sebesar 15%. Dari gambar 6.10 nampak bahwa sebagian besar hasil penelitian tersebar di antara nilai prediksi dan  $0,85(3300\sqrt{f_c'} + 6900)$  yang merupakan batas bawah toleransi nilai prediksi. Setelah hasil penelitian diregresi, dapat dihitung selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi dengan modulus elastisitas prediksi ACI 363R-84 yang ditampilkan pada tabel 5.12.



**Gambar 6.11** Komparasi modulus elastisitas hasil penelitian dengan prediksi ACI 363R-84

Dari tabel 5.12 diketahui nilai modulus elastisitas prediksi menurut ACI 363R-84 rata-rata sebesar 28874,5448 MPa, sedangkan modulus elastisitas hasil penelitian yang terregresi sebesar 27480,7945 MPa. Selisih antara modulus elastisitas hasil penelitian terregresi dengan prediksi ACI 363R-84 adalah berkisar  $-0,44\%$  sampai  $+7,04\%$  dengan selisih rata-rata  $4,76\%$ . Hasil analisis menunjukkan bahwa modulus elastisitas hasil penelitian mempunyai selisih yang cukup kecil dibandingkan prediksi ACI 363R-84. Nilai selisih tersebut cukup jauh berada di bawah nilai toleransi prediksi modulus elastisitas menurut ACI 363R-84 sebesar  $15\%$ .

Dari gambar 6.10 dan 6.11 terlihat bahwa nilai modulus elastisitas beton hasil penelitian lebih mendekati prediksi ACI 363R-84 dibandingkan prediksi menurut ACI 318-95. Hal tersebut menunjukkan nilai modulus elastisitas beton hasil penelitian memenuhi kriteria modulus elastisitas untuk beton kinerja tinggi karena mendekati prediksi ACI 363R-84 yang direkomendasikan untuk beton kinerja tinggi. Prediksi ACI 318-95 yang direkomendasikan untuk beton normal akan menghasilkan nilai yang lebih besar jika digunakan pada beton kinerja tinggi.

Dari analisis regresi terhadap hasil penelitian diperoleh persamaan regresi sebagai berikut  $E_c = 1539.1\sqrt{f_c'} + 17232$ . Persamaan regresi diatas menunjukkan ada hubungan linear antara modulus elastisitas (Y) dengan akar kuadrat kuat tekan beton (x). Koefisien arah regresi bernilai positif yaitu 1539,1 sehingga dapat dikatakan bahwa untuk setiap penambahan akar kuadrat kuat tekan (x) sebesar satu satuan maka modulus elastisitas beton (Y) rata-rata bertambah sebesar 1539,1 satuan.

Setelah persamaan regresi linear diperoleh maka dilakukan analisis korelasi, didapatkan hasil koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,1057 dan koefisien korelasi ( $R$ ) = 0,3251. Hasil analisis korelasi menunjukkan koefisien korelasi bernilai positif dapat ditafsirkan ada hubungan antara variabel x (akar kuadrat kuat tekan beton) terhadap variabel Y (modulus elastisitas beton), tetapi nilai R yang cukup rendah terletak antara batas  $0 \leq R \leq 1$  dan lebih mendekati 0 maka dapat juga ditafsirkan bahwa kuat tekan beton mempunyai pengaruh yang kurang kuat terhadap modulus elastisitas beton.

Hubungan antara akar kuadrat kuat tekan dan modulus elastisitas yang lemah dipengaruhi oleh berbagai faktor terutama untuk beton yang diproduksi di lapangan.

Modulus elastisitas dipengaruhi oleh karakteristik agregat seperti kekuatan agregat, ukuran butir dan mineralogi agregat seperti jenis batuan dan kandungan kimiawi. Penggunaan agregat batu pecah, akan meningkatkan modulus elastisitas beton. Faktor lain yang berpengaruh adalah metode pengukuran tegangan regangan yang bersifat semi otomatis masih memungkinkan terjadinya kesalahan dan juga ketepatan perhitungan modulus elastisitas yang menggunakan metode interpolasi untuk menentukan regangan pada saat tegangan  $0,45 f_c'$ .

#### **6.4 Pelaksanaan Pencampuran di Lapangan**

Secara umum pelaksanaan pencampuran di lapangan baik, karena dapat dihasilkan beton yang memenuhi persyaratan yang ada. Namun ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Material diusahakan berasal dari satu sumber yang sama, bertujuan untuk menjaga agar material yang digunakan di lapangan, tidak terlalu jauh menyimpang dari spesifikasi material dalam perancangan. Batu pecah yang datang dari *supplier* kurang bersih dari lumpur dan batu kapur atau batuan lain yang tidak sejenis. Untuk mengatasi pengaruh lumpur dan batu kapur pada campuran, batu pecah disiram serta dibersihkan. Pelaksanaan penyiraman dan pembersihan tersebut tidak dapat dilakukan dengan maksimal, disebabkan keterbatasan waktu, tenaga dan sarana yang ada.

Waktu pengadukan di lapangan sering lebih cepat dari waktu pengadukan yang ditetapkan. Hal tersebut karena pekerja mengejar waktu untuk mempercepat pekerjaan. Pada posisi pengecoran yang tinggi, penggunaan tenaga manusia mengakibatkan lambatnya pengangkutan campuran, sehingga dapat terjadi antrian

campuran beton yang belum terangkut. Pada kondisi posisi pengecoran yang tinggi dan cuaca panas digunakan campuran dengan slump yang tinggi (diatas 15 cm) untuk mengatasi terjadinya *slump loose* pada campuran beton yang dapat menurunkan workabilitas dan mutu beton yang dihasilkan.

Pengecoran dilakukan dengan menuangkan campuran beton ke dalam acuan, kemudian dilakukan pemadatan dengan alat pemadat getar (*vibrator*). Pengalaman pekerja dalam proses pemadatan sangat diperlukan, karena pemadatan dilakukan dengan alat pemadat yang dikendalikan secara manual. Beton dengan slump yang terlalu rendah atau terlalu tinggi, menyebabkan terjadinya proses pemadatan yang tidak sempurna. Pada slump tinggi dapat terjadi pemadatan yang berlebihan sehingga menimbulkan pemisahan antar butiran penyusun beton. Beton dengan slump rendah dapat mengakibatkan terjadi kurang pemadatan, sehingga beton menjadi keropos.

Menurut ACI 318-95 kuat tekan beton yang diproduksi di lapangan secara keseluruhan maupun individual memenuhi persyaratan yang ditunjukkan dengan kuat tekan beton lebih dari kuat tekan spesifikasi 40 MPa, kuat tekan rata-rata dua silinder lebih dari 36,5 MPa dan tidak ada kuat tekan rerata 3 pasang hasil uji yang lebih rendah dari 40 MPa. Menurut SK-SNI secara individual sebagian besar kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji lebih besar dari kuat tekan yang disyaratkan sebesar 43,782 MPa, hanya ada 3 kuat tekan rerata 4 pasang hasil uji yang lebih rendah dari 43,782 MPa, dan tidak satupun kuat tekan rata-rata dua silinder yang kurang dari 0,85 fc' atau 34 MPa. Mutu beton yang diproduksi secara umum memiliki keseragaman yang baik, ditunjukkan oleh standar deviasi yang terletak antara 3,5 MPa sampai 5 MPa menurut ACI 363R-92 dan koefisien variasi yang kurang dari 20%. Nilai slump

campuran tidak terlalu bervariasi, dapat dilihat dari standar deviasi slump hanya 1,19 cm dan koefisien variasi slump sekitar 6,87 %. Dari uraian di atas dapat dianggap bahwa secara umum dihasilkan mutu beton yang baik sehingga dapat dinyatakan bahwa kinerja pelaksanaan pencampuran di lapangan adalah baik.

