



PEMANFAATAN FIBER DAN EPOXY UNTUK PENANGGULANGAN RETAK BETON

Kgs. Ahmad A

RINGKASAN

Beton adalah bahan yang mempunyai sifat kuat menerima beban tekan tetapi lemah menerima beban tarik. Beban tarik yang bekerja pada suatu konstruksi, diantaranya akibat lentur, pemuaian dan penyusutan, gaya tarik, perbedaan temperatur.

Bila tegangan tarik beton melampaui tegangan tarik izin, maka terjadi retak-retak pada beton. Lokasi tegangan tarik akibat lentur sudah dapat diperkirakan dan dapat dihitung perkuatannya dengan perhitungan beton bertulang, tetapi akibat pemuaian dan penyusutan serta perbedaan temperatur dapat terjadi menyebar dan berpindah-pindah. Agar kekuatan tarik beton dapat ditingkatkan menyebar, maka salah satu bahan tambah yang digunakan adalah fiber polypropylene. Selanjutnya retak-retak yang terjadi dapat diinjeksi dan ditutup menggunakan bahan epoxy. Salah satu bahan epoxy yang diteliti dan banyak digunakan pada perbaikan retak-retak lantai jembatan adalah epoxy "Sho-bond". Untuk memperoleh gambaran nilai tambah dari kedua bahan di atas, maka telah dilakukan pengujian di laboratorium meliputi kuat lentur, kuat tarik belah, modulus secant, reduksi retak-retak. Hasilnya berupa tabel-tabel yang disajikan pada tulisan ini.

SUMMARY

Concrete is the material have good strength for compression but less strength for tensile. The tensile strength on the structure can be due to flexural loading, expand and shrinkage, tensile loading, high & less temperature.

If the tensile strength is more than the permissible tensile strength, the cracks will be appear on the concrete. The location of tensile strain due to flexural loading can be detected and can be calculated its strengthen by reinforced concrete calculation, but the tensile strain due to expand & shrinkage or temperature can happen spread and appear uncertainly. To overcome this problem one of the material admixture is used "fiber polypropylene". And also the existance craks can be injected and covered by epoxy resin. One of the epoxy resin is used "Sho-bond". To know the result effective of using these material, have been done some testing in laboratory: flexural strength, split test, secant of modulus, cracks reduction and cracks injection. Some test result are in table lists. There are all in this papers.

I. PENDAHULUAN

Sekarang ini sering terjadi kerusakan pada beton berupa retak-retak memanjang, melintang bahkan menyebar menjadi retak buaya, khususnya pada lantai beton jembatan

rangka baja type Belanda dan Australia, yang walaupun mutu beton sudah dinaikkan menjadi K-350 tetap terjadi retak-retak. Dari perhitungan desain akibat beban lalu lintas, ternyata tidak memberikan momen yang besar, ataupun dengan kata lain tegangan tarik

yang timbul tidak melampaui tegangan izin. Kemungkinan lain penyebab retak adalah penyusutan selama proses hidrasi dari beton muda, atau terjadi pemuaian dan penyusutan akibat perbedaan temperatur yang cukup besar.

Terjadi retak akibat perbedaan temperatur kemungkinannya kecil, karena koefisien pemuaian dan penyusutan beton kecil, yaitu $\lambda = 1 \times 10^{-5}$ jadi satu-satunya kemungkinan penyebab retak beton (ditinjau dari segi beton) adalah penyusutan selama proses hidrasi dari beton muda. Di sini merupakan tantangan bagi pelaksana (dalam hal ini kontraktor dan konsultan) untuk melaksanakan perawatan beton muda dengan cara sebaik-baiknya dan selama waktu tertentu.

Apa yang terjadi pada beton muda yang tidak mendapat perawatan sempurna dapat digambarkan sebagai berikut; air bebas yang sudah diperhitungkan dalam perencanaan campuran beton (cara road note 4, cara DOE atau cara ACI code), seluruhnya dibutuhkan untuk proses hidrasi. Pada beton muda berlangsung reaksi kimia dari komponen campuran beton yaitu semen, agregat, air dan bahan tambah (bila ada), yang menimbulkan energi panas. Di sinilah peranan perawatan beton muda, mencegah energi panas tidak cepat menguap dan melindungi beton muda ini selama proses hidrasi tidak terganggu dari pengaruh panas atau pengaruh hujan. Bila pengaruh panas terjadi maka air bebas ini sebagian akan menguap, berarti air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi berkurang akibatnya reaksi kimia tidak berlangsung sempurna, permukaan lebih cepat kering maka muncul retak-retak pada permukaan beton muda.

Retak-retak pada beton muda ini akan berkembang terutama di daerah tarik beton yaitu permukaan bawah lantai, akibat beban lentur dari lalu lintas kendaraan. Perlemahan yang terjadi di daerah tarik beton adalah karena kurang kuat ikatan partikel-partikel bahan beton di daerah tarik. Hal ini dapat dimengerti mengingat sumbangan mengikat ini hanya diberikan oleh pasta semen yang kemampuan mengikatnya tidak begitu besar.

Untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, maka ke dalam adukan beton ditambahkan serat-serat fiber yang akan menyebar ke seluruh bagian beton. Di sini terjadi kerjasama serat-serat fiber dengan pasta semen, yaitu pasta semen sekaligus mengikat partikel agregat dan fiber serta fiber melaksanakan fungsinya sebagai penghubung menjembatani antara partikel-partikel bahan beton.

Di lain pihak beton yang sudah retak-retak harus segera diperbaiki karena melalui celah retak-retak yang ada, udara akan masuk ke dalam beton yang menimbulkan terjadi proses korosi pada tulangan beton. Memperbaiki retak-retak pada beton dalam arti mengisi celah-celah retak dengan bahan epoxy dan menutup permukaan sepanjang retak yang ada sehingga memulihkan kembali kekuatan beton minimum sama dengan kekuatan beton sebelum retak.

II. PENGUJIAN SIFAT FISIK DI LABORATORIUM

Untuk melihat nilai tambah penggunaan fiber dan epoxy, maka dilakukan beberapa pengujian sbb :

2.1. Kuat lentur dan Kuat tarik belah

(1) Kuat lentur

Benda uji beton tanpa fiber dan beton

dengan fiber berbentuk balok prisma ukuran 15 x 15 x 50 cm, diletakkan di atas dua perletakan sendi & rol.

Pada tengah-tengah bentang balok dibebani sentris yang makin lama makin membesar sampai balok prisma hancur dan saat hancur dicatat bebannya. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 2.1.1 sampai dengan Tabel 2.1.3.

(2) Kuat tarik belah

Benda uji beton tanpa fiber dan beton dengan fiber berbentuk silinder ukuran 15 x 30 cm.

Benda uji ini satu persatu diuji menggunakan mesin tekan dengan cara ditidurkan dan beban garis sejajar poros silinder. Beban ini secara berangsur-angsur dinaikkan sampai benda uji belah. Pada saat benda uji belah dicatat bebannya. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 2.1.4 sampai dengan Tabel 2.1.6.

2.2. Modulus Secant

Benda uji beton tanpa fiber dan beton dengan fiber berbentuk silinder ukuran 15 x 30 cm. Sebelum dilakukan pengujian, pada benda uji dipasang "dial" alat pengukur regangan dengan ketelitian pembacaan 0,0001. Benda uji ditempatkan pada mesin tekan. Setiap penambahan beban pada interval 10 ton dicatat regangan. Beban tekan dibatasi sedikit lebih kecil dari beban hancur untuk menghindari terjadi kerusakan pada "dial".

Beton adalah bahan yang elasto plastik, di mana hubungan antara regangan dan tegangan, mulai beban kecil sampai beban hancur, merupakan hubungan garis lengkung. Sudut miring dari garis lengkung dapat dihitung dari garis miring penghubung titik 0 dengan titik pada tegangan 40 % dari tegangan saat hancur. Sudut miring ini adalah modulus secant.

Hasil pengujian terdapat diantaranya pada Tabel 2.2.1 dan Tabel 2.2.2.

2.3. Reduksi Retak-retak Susut

Benda uji beton tanpa fiber dan beton dengan fiber berbentuk pelat ukuran 90 x 60 x 5 cm. Pengamatan dilakukan berjajar sekaligus untuk masing-masing mutu beton yaitu untuk mutu beton K_{175} , benda uji tanpa fiber, dengan fiber 0,5 kg/m³ dan dengan fiber 0,9 kg/m³. Benda uji ditempatkan di ruang terbuka, berjajar dan diblower untuk mempercepat proses pengeringan. Pengamatan retak-retak dilakukan pada 1 jam pertama, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan terakhir pada umur beton 24 jam. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 2.3.1; Tabel 2.3.2; Tabel 2.3.3.

2.4. Kuat Lentur Pelat Beton Injeksi Epoxy

Benda uji pelat beton bertulang ukuran 75 x 60 x 10 ditumpu di atas empat tumpuan, dibebani gaya tekan pada tengah-tengah pelat. Beban secara berangsur-angsur dibesarkan sampai terjadi permulaan retak. Pada saat terlihat permulaan retak bebannya dicatat. Selanjutnya beban dibesarkan sampai mencapai beban maximum dan dicatat. Retak-retak pada pelat beton diinjeksi epoxy dari bawah sampai seluruh retak-retak terisi bahan epoxy. Dengan posisi beban dan letak pembebanan sama dengan pada pengujian pelat beton utuh, dilakukan pengujian untuk umur epoxy 1 hari,

3 hari dan 7 hari. Hasil pengujian terdapat pada Tabel 2.4.1; Tabel 2.4.2; Tabel 2.4.3; Tabel 2.4.4.

III. PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian akan dilakukan pembahasan satu persatu.

3.1. Kuat Lentur dan Kuat Belah

Kedua pengujian ini berhubungan dengan beban luar yaitu beban mati dan beban hidup. Akibat dari beban ini maka terjadi bagian konstruksi yang memikul beban tekan dan beban tarik. Dari hasil pengujian ini dapat dilihat nilai tambahnya untuk meningkatkan kuat tarik beton.

(1). Kuat Lentur

Telah dilakukan pengujian untuk mutu beton K_{175} , K_{225} , dan K_{350} . Setiap mutu beton dibuat tiga macam campuran yaitu beton tanpa fiber, beton dengan fiber $0,5 \text{ kg/m}^3$ dan beton dengan fiber $0,9 \text{ kg/m}^3$.

Dari setiap mutu beton ternyata terdapat peningkatan kuat tarik yang sama yaitu beton dengan fiber $0,5 \text{ kg/m}^3$, peningkatan 2 % dan beton dengan $0,9 \text{ kg/m}^3$, peningkatan 5 %, tercantum pada Tabel 2.1.1 sampai dengan Tabel 2.1.3.

Peningkatan kuat tarik beton dengan tambahan fiber tidak cukup besar untuk mutu beton K_{175} , K_{225} , K_{350} . Hal ini berhubungan dengan bentuk fiber yaitu hanya serat-serat, padahal akibat beban di daerah tarik beton terdapat usaha membuat regangan tarik beton lebih besar, usaha ini akan dapat memberikan perlawanan lebih besar bila pada ujung serat terdapat bengkokan untuk menahan. Kenyataan pada setiap ujung serat tidak punya bengkokan, sehingga kuat tarik tidak cukup besar.

(2). Kuat Tarik Belah

Seperti pada kuat tarik lentur, juga dilakukan pengujian untuk mutu beton K_{175} , K_{225} dan K_{350} . Setiap mutu beton dibuat tiga macam campuran yaitu beton tanpa fiber, beton dengan fiber $0,5 \text{ kg/m}^3$ dan beton dengan fiber $0,9 \text{ kg/m}^3$. Dari setiap mutu beton ternyata terdapat peningkatan kuat tarik yang

sama yaitu beton dengan fiber $0,5 \text{ kg/m}^3$, peningkatan 1 % dan beton dengan fiber $0,9 \text{ kg/m}^3$, peningkatan 3%, tercantum pada Tabel 2.1.4 sampai Tabel 2.1.6.

Penjelasan sama dengan kuat lentur, hanya di sini terdapat peningkatan yang lebih kecil. Hal ini berhubungan dengan bentuk benda uji dan sistem pembebanannya. Pada pengujian lentur, benda uji bentuk balok dan beban diberikan sentris di tengah bentang. Dari bagian beton, banyak yang tidak dikenai beban secara langsung dan bagian ini memberikan sumbangan perlawanan sebelum balok hancur. Pada pengujian kuat tarik belah, benda uji bentuk silinder ditidurkan kemudian dibebani membelah sejajar poros silinder. Dalam hal ini sepanjang poros benda uji dikenai beban langsung dan sama besar. Kesempatan untuk melakukan perlawanan sama dan kehancuran terjadi bersamaan. Karena itu kehancuran dapat terjadi lebih cepat sehingga persentase peningkatan kekuatan dengan tambahan fiber tidak begitu banyak membantu.

3.2. Modulus Secant.

Pengujian ini berhubungan dengan ketahanan bahan dalam menerima pembebanan luar. Modulus secant adalah suatu angka hubungan kekuatan bahan menerima beban dan perpendekkan akibat beban tersebut. Kekuatan bahan menerima beban umumnya disebut tegangan dan perpendekkan akibat beban disebut regangan. Modulus secant dapat diperoleh dari grafik tegangan - regangan, yaitu sudut miring garis mendatar dan garis penghubung titik 0 salib sumbu dengan titik tegangan - regangan pada 40 % beban hancur. Makin tinggi mutu beton, makin tinggi kekuatan bahan dan regangan makin

kecil; karena itu sudut miring makin besar berarti makin kaku. Jadi modulus secant beton mutu K-350 lebih besar dari mutu beton K-225 dan lebih besar dari mutu beton K-175. Penambahan fiber pada campuran beton membuat beton lebih homogen, karena itu hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan modulus secant dengan penambahan fiber hasil pengujian diantaranya pada Tabel 2.2.1 dan Tabel 2.2.2..

3.3. Reduksi Retak-retak Susut

Pengujian ini sangat penting sekali dibanding dengan pengujian sebelumnya, karena banyak menentukan awal keretakan bila perawatan beton muda kurang sempurna. Proses mengerasnya beton dimulai dengan proses kimia, dari bahan campuran beton yang menghasilkan energi yang bersama-sama dengan energi matahari; memacu proses ini menjadi lebih cepat. Proses ini disebut proses hidrasi. Bila proses ini tidak terkendali artinya air bebas yang seharusnya digunakan untuk proses kimia dengan sempurna menjadi berkurang karena penguapan. Supaya tidak terjadi penguapan maka selama proses hidrasi, beton muda diadakan perawatan. Hasil pengujian penambahan fiber menunjukkan nilai tambah yang cukup menguntungkan yaitu persentase pengurangan retak-retak cukup besar. Pengurangan retak-retak untuk tambahan fiber 0,5 kg/m³, mutu beton K-175, K-225, K-350 berkisar antara 52 % sampai dengan 57 %. Pengurangan retak-retak untuk tambahan fiber 0,9 kg/m³, mutu beton K-175, K-225, K-350 berkisar antara 70 % sampai dengan 73 %. Hal ini tercantum pada Tabel 2.3.1 sampai dengan Tabel 2.3.3. Dari hasil pengujian ternyata makin tinggi mutu beton, pengurangan retak-retak makin sedikit. Hal ini disebabkan karena makin tinggi mutu

beton makin kecil faktor air semen (f.a.s), yang berarti makin kental sehingga air bebas yang menguap sedikit. Sebaliknya makin rendah mutu beton makin besar f.a.s yang berarti makin encer sehingga air bebas yang menguap lebih banyak, yang banyak mempengaruhi reduksi retak-retak.

Demikian pula penambahan fiber lebih banyak akan memberikan persentase retak-retak lebih besar. Hal ini disebabkan karena makin banyak fiber makin homogen beton dan makin banyak serat-serat yang menghalangi air bebas menuju permukaan. Kalau air bebas dihalangi menuju permukaan berarti makin sempurna proses hidrasi sehingga mereduksi retak-retak makin besar.

3.4. Kuat Lentur Pelat Beton Injeksi Epoxy

Pengujian ini dilakukan karena banyak terjadi retak-retak pada pelat lantai beton jembatan rangka baja .

Sebagian besar jembatan rangka baja yang dibangun Bina Marga adalah pada jalan yang lalu lintas padat, sehingga perbaikan retak-retak lantai beton jembatan tidak boleh mengganggu kelancaran arus lalu lintas. Untuk melihat nilai tambah injeksi epoxy, maka pengamatan dilakukan pada permulaan terjadi retak untuk permukaan bawah dan pada saat pelat beton hancur (beban max). Dari hasil pengujian ternyata makin rendah mutu beton makin tinggi persentase peningkatan.

Hal ini disebabkan karena makin tinggi mutu beton berarti makin kuat sehingga beban permulaan maupun beban max pelat beton utuh, cukup tinggi yang walaupun setelah pelat beton digROUT bebannya meningkat; tetapi selisih beban pada pelat utuh dan pelat digROUT menjadi lebih kecil. Dari Tabel 2.4.4 ternyata persentase peningkatan pada beban permulaan retak lebih tinggi

dibanding dengan beban max. Pengujian beban max disini hanya untuk melihat apakah masih efektif untuk digROUT dengan epoxy. Kenyataan dilapangan adalah bila retak-retak sudah cukup banyak dan mendekati runtuh, maka tidak lagi digROUT tetapi dilakukan pengecoran setempat. Selanjutnya dari Tabel 2.4.4 ternyata pada lokasi retak-retak yang sudah digROUT, mempunyai kekuatan lebih tinggi dan memang pada peningkatan beban untuk pelat yang digROUT, retak-retak timbul di daerah beton utuh. Hal ini membuktikan bahwa kekuatan bahan epoxy sebagai pengisi retak-retak, bukan saja dapat menutup retak-retak dengan sempurna tetapi dapat meningkatkan kekuatan rata-rata 75 %.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian bahan di laboratorium dapat disimpulkan :

1. Penggunaan fiber polypropylen untuk penanggulangan retak-retak beton khususnya pada konstruksi jembatan ternyata memberikan nilai tambah menguntungkan pada mengatasi retak-retak susut beton muda.
2. Dengan memberikan tambahan fiber polypropylen cukup sedikit yaitu hanya $0,9 \text{ kg/m}^3$ pada campuran beton dapat meningkatkan sifat homogenitas beton.
3. Penggunaan bahan epoxy shobond untuk memperbaiki retak-retak beton jembatan rangka baja ternyata cukup menguntungkan karena :

- Injeksi retak - retak dapat dilakukan dari bawah, sehingga selama pelaksanaan tidak mengganggu kelancaran arus lalu lintas.
- Pada lokasi retak - retak selain dapat diperbaiki dengan sempurna juga kekuatannya dapat ditingkatkan rata-rata 75%.

4.2. Saran

1. Sesuai dengan tujuan penanggulangan retak-retak beton yang ingin dicapai maka perlu berhati-hati pada pemakaian produk pabrik yang ditawarkan.
2. Sebelum penggunaan produk pabrik sebaiknya dilakukan pengujian di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

1. PB.I. Peraturan Beton Indonesia, 1971 N. 1-2, DPMB
2. Ir. Wiratman dan Ir. Suyud R, Evaluasi Secara Statistik Hasil-hasil Pemeriksaan Keteguhan dan Kualifikasi beton, Bandung, DPMB, 1973.
3. Ir. Kgs. Ahmad, Kolokium I, Pusat Litbang Jalan, Pemanfaatan Polypropylen Fibers untuk Meningkatkan Mutu Beton, 1994.
4. Ir. Kgs. Ahmad, Jurnal Pusat Litbang Jalan, November 1990, Pengendalian Mutu Beton Selama Pelaksanaan Pengecoran.

Penulis :

Ir. Kgs. Ahmad, Ajun Peneliti Bidang Konstruksi Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan.

Tabel 2.1.1
KUAT LENTUR MUTU BETON K-175

Balok 15x15x 50 cm.	Tanpa Fiber		Fiber 0,5 Kg/dm ³		Fiber 0,9 Kg/dm ³	
	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
1	1950	39	1950	39	2100	42
2	2000	40	2000	40	2150	43
3	2150	43	2100	42	2150	43
4	2050	41	2100	42	2100	42
5	1900	38	2050	41	2100	42
6	2100	42	2150	43	2150	43
Rata-rata :		40.5		41.2		42.5
Persentase peningkatan :				2 %		~ 5 %

Tabel 2.1.2
KUAT LENTUR MUTU BETON K-225

Balok 15x15x 50 cm.	Tanpa Fiber		Fiber 0,5 Kg/dm ³		Fiber 0,9 Kg/dm ³	
	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
1	2750	55	2800	56	2900	58
2	2700	54	2850	57	2850	57
3	2650	53	2700	54	2950	58
4	2800	56	2750	55	2950	59
5	2650	53	2700	54	2800	56
6	2700	54	2750	55	2700	54
Rata-rata :		54.2		55.2		57.0
Persentase peningkatan :				2 %		~ 5 %

Tabel 2.1.3
KUAT LENTUR MUTU BETON K-350

Balok 15x15x 50 cm.	Tanpa Fiber		Fiber 0,5 Kg/dm ³		Fiber 0,9 Kg/dm ³	
	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
1	2800	56	2850	57	2900	58
2	2850	57	2900	58	3000	60
3	2750	55	2800	56	2950	59
4	2800	56	2850	57	3000	60
5	2850	57	2900	58	2850	57
6	2750	55	2850	57	2950	59
Rata-rata :		56.0		57.2		58.0
Persentase peningkatan :				2 %		~ 5 %

Tabel 2.1.4
KUAT TARIK BELAH MUTU BETON K-175

Balok 15x15x 50 cm.	Tanpa Fiber		Fiber 0,5 Kg/cm ³		Fiber 0,9 Kg/cm ³	
	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
1	14100	20	14100	20	14800	21
2	13400	19	14800	21	13400	19
3	14100	20	13400	19	14800	21
4	14800	21	14100	20	14100	20
5	12700	18	13400	19	14100	20
6	14800	21	14800	21	14800	21
Rata-rata :		19.8		20.0		20.3
Persentase peningkatan :				1 %		~ 3 %

Tabel 2.1.5
KUAT TARIK BELAH MUTU BETON K-225

Balok 15x15x 50 cm.	Tanpa Fiber		Fiber 0,5 Kg/cm ³		Fiber 0,9 Kg/cm ³	
	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
1	16200	23	16900	24	16900	24
2	16900	24	16200	23	16200	23
3	15500	22	16200	23	16900	24
4	16200	23	16500	22	16900	24
5	16900	24	16900	24	16900	24
6	16500	22	16200	23	16200	23
Rata-rata :		23.0		23.2		23.7
Persentase peningkatan :				1 %		~ 3 %

Tabel 2.1.6
KUAT TARIK BELAH MUTU BETON K-350

Balok 15x15x 50 cm.	Tanpa Fiber		Fiber 0,5 Kg/cm ³		Fiber 0,9 Kg/cm ³	
	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
1	17700	25	17700	25	18400	26
2	18400	26	18400	26	19100	27
3	17700	25	19100	27	18400	26
4	19100	27	18400	26	18400	26
5	16900	24	17700	25	19100	27
6	18400	26	18400	26	18400	26
Rata-rata :		25.5		25.8		26.3
Persentase peningkatan :				1 %		~ 3 %

Tabel 2.2.1
 MODULUS SECANT MUTU BETON K-350, 0.9 kg/m² FIBER

Beban (ton)	Tegangan (Kg/cm ²)	Pembacaan (cm)	Regangan %
10.0	57	0.0043	0.00022
20.0	113	0.0070	0.00035
30.0	167	0.0103	0.00052
40.0	226	0.0115	0.00058
44.8	254	0.0137	0.00068
50.0	283	0.0149	0.00075
60.0	340	0.0184	0.00092
70.0	396	0.0225	0.00113
80.0	453	0.0290	0.00145
90.0	510	0.0359	0.00180
112.0	634	-	-

Tabel 2.2.2
 MODULUS SECANT E 9kg/cm²) X 10

Mutu Beton	Beton Tanpa Fiber	Beton dengan Fiber 0,5 kg/cm ³	Regangan Fiber 0,9 kg/cm ³
K-175	2.36	2.42	2.45
K-225	2.79	3.14	3.23
K-350	3.34	3.63	3.74

Tabel 2.3.1
 PENGAMATAN RETAK SUSUT MUTU BETON K-175

Benda Uji	Lebar retak(mm)	Panjang Total Retak (mm)	Bobol retak retak (2x3)	%Pengurangan retak rata-rata
1	2	3	4	5
Beton tanpa fiber	2.0	0	0	0
	1.0	620	620	
	0.5	675	338	
			958	
Beton dg 0.5 kg/m ³ fiber	2.0	0	0	(543/958)x100% = 56.7 %
	1.0	295	295	
	0.5	240	120	
			415	
Beton dg 0.9 kg/m ³ fiber	2.0	0	0	(700/958)x100% = 73.1 %
	1.0	190	190	
	0.5	135	68	
			258	

Tabel 2.3.2
PENGAMATAN RETAK SUSUT MUTU BETON K-225

Benda Uji	Lebar retak(mm)	Panjang Total Retak (mm)	Bobot retak retak (2x3)	%Pengurangan retak rata-rata
1	2	3	4	5
Beton tanpa fiber	2.0	0	0	0
	1.0	535	535	
	0.5	620	310	
			845	
Beton dg 0.5 kg/m ³ fiber	2.0	0	0	(450/845)x100% = 53.3 %
	1.0	276	275	
	0.5	240	120	
			395	
Beton dg 0.9 kg/m ³ fiber	2.0	0	0	(600/845)x100% = 71.0 %
	1.0	185	185	
	0.5	120	60	
			245	

Tabel 2.3.3
PENGAMATAN RETAK SUSUT MUTU BETON K-350

Benda Uji	Lebar retak(mm)	Panjang Total Retak (mm)	Bobot retak retak (2x3)	%Pengurangan retak rata-rata
1	2	3	4	5
Beton tanpa fiber	2.0	0	0	0
	1.0	520	520	
	0.5	600	300	
			820	
Beton dg 0.5 kg/m ³ fiber	2.0	0	0	(430/820)x100% = 52.4 %
	1.0	270	270	
	0.5	240	120	
			390	
Beton dg 0.9 kg/m ³ fiber	2.0	0	0	(575/820)x100% = 70.1 %
	1.0	180	180	
	0.5	120	60	
			240	

Tabel 2.4.1
INJEKSI EPOXY MUTU BETON K-175

No.	Pelat Beton Utuh				Pelat Beton Digrout				Umur epoxy (hari)
	Beban per-mulaan retak		Beban Maximum		Beban per-mulaan retak		Beban Maximum		
	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	
1	3800	0.04	13100	0.89	5700	0.02	17200	0.79	10
2	4500	0.04	12500	0.92	6500	0.04	15300	0.80	10
3	3500	0.08	11500	1.13	6400	0.03	14100	0.79	10
4	3000	0.05	12000	0.99	7300	0.02	16000	0.82	10
5	4200	0.04	11800	1.00	8500	0.04	18500	0.72	10

Tabel 2.4.2
INJEKSI EPOXY MUTU BETON K-225

No.	Pelat Beton Utuh				Pelat Beton DigROUT				Umur epoxy (hari)
	Beban per-mulaan retak		Beban Maximum		Beban per-mulaan retak		Beban Maximum		
	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	
1	4500	0.03	13800	0.98	8400	0.01	19000	0.74	10
2	4000	0.05	14500	1.12	5800	0.02	17200	0.49	10
3	3600	0.08	13000	1.70	5700	0.01	15900	0.64	10
4	4200	0.04	13200	1.28	7500	0.03	16100	0.72	10
5	5000	0.04	13700	1.38	9000	0.01	17100	0.67	10

Tabel 2.4.3
INJEKSI EPOXY MUTU BETON K-350

No.	Pelat Beton Utuh				Pelat Beton DigROUT				Umur epoxy (hari)
	Beban per-mulaan retak		Beban Maximum		Beban per-mulaan retak		Beban Maximum		
	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	Beban (Kg)	Retak (mm)	
1	4500	0.07	13500	2.20	8500	0.03	19000	1.85	10
2	4800	0.04	16500	1.38	7500	0.02	20500	1.10	10
3	5000	0.05	16600	2.05	7500	0.02	18400	1.88	10
4	5000	0.03	17800	1.00	8700	0.02	17700	0.85	10
5	4900	0.05	17100	1.90	7500	0.03	17500	1.40	10

Tabel 2.4.4
PERSENTASE PENINGKATAN SETELAH DIGROUT

Mutu Beton	Beban Permulaan Retak			Beban Maximum		
	Pelat Beton Utuh (Kg)	Pelat Beton DigROUT (Kg)	Peningkatan (%)	Pelat Beton Utuh (Kg)	Pelat Beton DigROUT (Kg)	Peningkatan (%)
175	3800	6880	81	12180	16220	33
225	4260	7300	71	13640	16460	21
350	4840	7940	64	16300	18620	14