

TINJAUAN MODULUS ELASTISITAS REPAIR MORTAR DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAN

(Observation of Elastic Modulus of Repair Mortar Containing Tire Fiber)

SKRIPSI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

DITA RAHADIAN FAHNANI
NIM I 0105006

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2009

TINJAUAN MODULUS ELASTISITAS REPAIR MORTAR DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAN

(Observation of Elastic Modulus of Repair Mortar Containing Tire Fiber)

SKRIPSI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

DITA RAHADIAN FAHNANI
NIM I 0105006

Persetujuan :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

S A Kristiawan, ST, MSc. (Eng), Ph.D
NIP. 19690501 199512 1 001

Ir. Sunarmasto, MT
NIP. 19560717 198703 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

**TINJAUAN MODULUS ELASTISITAS REPAIR
MORTAR DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAN**

(Observation of Elastic Modulus of Repair Mortar Containing Tire Fiber)

SKRIPSI

Disusun Oleh :

DITA RAHADIAN FAHNANI
NIM I 0105006

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada hari Kamis, 22 Oktober 2009 :

1. S A Kristiawan, ST, MSc, (Eng), Ph.D _____
NIP. 19690501 199512 1 001
2. Ir. Sunarmasto, MT _____
NIP. 19560717 198703 1 003
3. Edy Purwanto, ST, MT _____
NIP.
4. Achmad Basuki, ST, MT _____
NIP. 131 693 685

Mengetahui,
a.n Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Ir. Noegroho Djarwanti, MT
NIP. 19561112 198403 2 007

Ir. Bambang Santosa, MT
NIP. 19590823 198601 1 001

MOTTO

Believe in yourself, have faith in what you do and you'll make it through

PERSEMBAHAN

Allah SWT

Mami & papi, you're the best parents ever

My fabulous sisters, mbk Tantri & mbk Astri

Berta, thanks for being an amazing twin

My lovely nephew n cousin, Aan & Bang Rip

Pak Iwan & Pak Masto, terimakasih atas bimbingannya

Sari & Rini, aza aza fighting!!!!

Teman-temanku, terimakasih untuk semuanya,,

ABSTRAK

Dita Rahadian Fahnani, 2009. “TINJAUAN MODULUS ELASTISITAS REPAIR MORTAR DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAN”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Ban merupakan salah satu bahan yang dapat dengan mudah dicari dan ditemukan di setiap daerah di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai modulus elastisitas (E) material *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban dan membandingkannya dengan nilai modulus elastisitas (E) beton normal juga mengetahui distribusi tegangan pada komposit antara beton normal dengan *repair* mortar.

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan mengadakan suatu percobaan di laboratorium, benda uji yang dipakai adalah silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Variasi serat ban yang digunakan adalah 0%, 4%, 8% dan 12% dari volume mortar, dan dari percobaan akan diperoleh data perubahan panjang (ΔL) kemudian dianalisis sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas dan diketahui bagaimana distribusi tegangan dari komposit antara beton normal dengan *repair* mortar.

Analisis data menunjukkan bahwa penambahan kadar serat ban dengan persentase tertentu pada *repair* mortar mempengaruhi nilai modulus elastisitasnya, semakin besar kadar serat ban maka semakin kecil nilai modulus elastisitasnya. Penurunan modulus elastisitas *repair* mortar pada setiap penambahan serat ban sebanyak 4 % adalah sekitar 17,145 %. Nilai modulus elastisitas *repair* mortar pada umur satu hari juga lebih rendah dari modulus elastisitas beton normal pada umur 28 hari, modulus elastisitas *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban hanya mencapai 63,48 %, 54,74 %, 38,24 % dan 32,43%. Penambahan serat ban sebanyak 4 % menyebabkan modulus elastisitas mortar menurun sekitar 10,964 % terhadap modulus elastisitas beton normal. Perbedaan kekuatan material beton dan mortar pada komposit ini menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan dalam menahan tegangan-regangan yang terjadi akibat beban yang diberikan sehingga kondisi yang terjadi adalah *non isostrain*. Distribusi tegangan yang terjadi pada komposit tidak seragam antara sisi beton dan sisi mortar. Distribusi tegangan yang terjadi dalam kondisi *isostrain* dan *non isostrain* menunjukkan bahwa semakin banyak kadar serat yang ditambahkan kedalam mortar, tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi mortar semakin kecil sedangkan tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi beton semakin besar.

Kata kunci : *repair* mortar, serat ban, modulus elastisitas, distribusi tegangan

PENGANTAR

Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S-1 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak maka banyak kendala yang sulit untuk dipecahkan hingga terselesaikannya penyusunan laporan skripsi ini. Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Yang terhormat Bapak S A Kristiawan, ST, MSc, (Eng), PhD selaku Dosen Pembimbing I.
2. Yang terhormat Bapak Ir. Sunarmasto, MT selaku Dosen Pembimbing II.
3. Rekan rekan satu kelompok yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.
4. Rekan-rekan angkatan 2005

Penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh sebab itu penyusun mengharap saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan skripsi yang akan datang. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada umumnya dan mahasiswa pada khususnya.

Surakarta, Oktober 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO DAN PESEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2. LANDASAN TEORI	
2.1. Beton	4
2.2. Kerusakan Beton	5
2.3. Metode Perbaikan Beton	7
2.4. Metode <i>Patch Repair</i>	9
2.5. Material <i>Repair</i>	10
2.6. Serat Ban	13
2.7. Modulus Elastisitas	15
2.8. Komposit	17

BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1. Umum	20
3.2. Bahan-bahan Penyusun	21
3.3. Benda Uji	23
3.4. Pengujian	27
3.4.1. Alat-alat yang Digunakan	27
3.4.2. Prosedur Pengujian.....	28
BAB 4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis data	31
4.1.1 Kuat Desak	31
4.1.2. Modulus Elastisitas	32
4.1.3. Disitribusi Tegangan pada Komposit	37
4.2. Pembahasan.....	41
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	xiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Regangan pada Komposit.....	18
Gambar 3.1 Benda Uji.....	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian	30
Gambar 4.1 Grafik hubungan Tegangan-regangan Mortar Serat Ban 0%-1	33
Gambar 4.2 Grafik Hubungan % Serat Ban dengan Modulus elastisitas <i>repair</i> mortar.....	35
Gambar 4.3 Diagram Perbandingan Modulus Elastisitas <i>Repair</i> Mortar dengan Beton Normal	35
Gambar 4.4 Diagram Regangan pada Komposit.....	38
Gambar 4.5 Grafik Hubungan % Modulus Elastisitas Mortar terhadap Beton dengan % Tegangan Mortar	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil pengujian gradasi serat ban	23
Tabel 3.2 Macam benda uji	24
Tabel 4.1 Data kuat desak rata-rata <i>repair</i> mortar umur satu hari.....	31
Tabel 4.2 Beban pada pengujian modulus elastisitas.....	32
Tabel 4.3. Nilai modulus elastisitas beton normal dan mortar dengan bahan tambah serat ban pada benda uji silinder utuh	34
Tabel 4.4. Nilai regangan ketika benda uji komposit menerima beban 32000 N	36
Tabel 4.5 Distribusi tegangan komposit pada pembebanan sebesar 32000 N ...	39
Tabel 4.6 Persentase tegangan yang terdistribusi pada sisi beton dan mortar pada pembebanan 32000 N	40

DAFTAR NOTASI

ΔL	= perubahan panjang (μm)
L	= panjang mula-mula yaitu jarak antara dua <i>ring</i> (mm)
ϵ	= regangan
σ	= tegangan (MPa)
F	= beban yang diberikan (N)
A	= luas penampang benda uji (mm^2)
E_c	= modulus elastisitas
S_2	= tegangan sebesar $0,4 f'_c$
S_1	= tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005
ϵ_2	= regangan longitudinal akibat tegangan S_2
E_k	= modulus elastisitas komposit
E_b	= modulus elastisitas beton
E_m	= modulus elastisitas mortar
V_b	= fraksi volume beton
V_m	= fraksi volume mortar
ϵ_{bu}	= regangan beton pada serat terluar
ϵ_{bu}	= regangan mortar pada serat terluar
ϵ_t	= regangan pertemuan antara mortar dengan beton
ϵ_b	= regangan beton rata-rata
ϵ_m	= regangan mortar rata-rata
A_b	= luas penampang beton (mm^2)
A_m	= luas penampang mortar (mm^2)
F_k	= beban pada komposit (N)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Beton adalah campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air sehingga membentuk suatu massa mirip batuan. Beton merupakan bahan struktur yang sering digunakan dalam sebuah konstruksi karena beton mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan lain diantaranya adalah relatif murah, bahan-bahannya mudah diperoleh, mempunyai kuat tekan tinggi, memiliki usia layan yang sangat panjang, mudah untuk dilaksanakan dan mudah dalam pemeliharannya, beton juga memiliki ketahanan yang tinggi terhadap cuaca dan lingkungan sekitar.

Beton dapat mengalami kerusakan karena adanya beberapa faktor seperti serangan asam, korosi, beban yang telalu berlebihan dan lain sebagainya. Kerusakan-kerusakan yang timbul diantaranya terjadinya retak-retak, aus, *delaminasi*, *spalling* (terlepasnya bagian beton), berlubang (*void*). Kerusakan-kerusakan tersebut perlu mengalami perbaikan antara lain dengan cara penambalan (*patch repair*), namun cara penambalan ini harus memperhatikan syarat-syarat material yang digunakan untuk *patch repair*. Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk material *patch repair* yaitu diantaranya mampu menyatu atau melekat erat dengan beton yang akan di *patch repair*, dapat menyesuaikan bentuk beton yang akan di *patch repair* dan tidak mengurangi kekuatan beton seperti kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang pada gilirannya nanti akan mengurangi keawetan beton.

Harga material *repair* yang terdapat di pasaran saat ini relatif mahal, oleh karena itu perlu dikembangkan *repair* material yang dapat dibuat sendiri dengan bahan

dasar mortar. Mortar sebagai repair material relatif mudah dibuat dan diaplikasikan di lapangan. Namun demikian material ini cenderung mengalami susut yang dapat berakibat retak-retak. Mortar dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan bahan serat ban. Ban merupakan salah satu bahan yang dapat dengan mudah dicari dan ditemukan di setiap daerah di Indonesia dan jumlahnya juga relatif cukup tinggi. Ban yang terbuat dari karet alam pada dasarnya mempunyai sifat fisik lembut, fleksibel, dan elastis. Disamping itu juga mempunyai plastisitas yang baik, daya elastis yang sempurna, daya tahan dan daya lengket yang baik.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain :

- a. Bagaimanakah nilai modulus elastisitas (E) material *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban.
- b. Mengetahui perbandingan nilai modulus elastisitas (E) antara beton normal dan material *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban.
- c. Mengetahui distribusi tegangan pada komposit antara *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban dan beton normal.

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

- a. Penelitian ini menggunakan *repair* material yang dapat dibuat sendiri dengan bahan dasar mortar dan bahan tambah berupa serat ban.
- b. Penelitian ini meninjau tentang modulus elastisitas *repair* mortar dan beton normal juga meninjau tentang distribusi tegangan pada komposit antara beton normal dengan *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban.

- c. Pengujian dilakukan pada saat beton normal berumur 28 hari dan *repair* mortar berumur satu hari.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai modulus elastisitas (E) material *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban dan membandingkannya dengan nilai modulus elastisitas (E) beton normal juga mengetahui distribusi tegangan pada komposit antara beton normal dengan *repair* mortar.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

- a. Menambah pengetahuan tentang beton ditinjau dari modulus elastisitas.
- b. Menambah pengetahuan tentang material *repair* mortar.
- c. Manfaat praktisnya adalah mengetahui besarnya modulus elastisitas *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Beton

Beton sangat banyak dipakai luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambahan yang bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat sampai bahan bangunan non kimia) pada perbandingan tertentu campuran tersebut apabila dituangkan dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan. Dalam adukan beton, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori diantara butiran-butiran agregat halus juga bersifat sebagai perekat/pengikat dalam proses pengerasan. Sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak/padat.

Struktur beton harus mampu menghadapi kondisi dimana dia direncanakan, tanpa mengalami kerusakan (*deteriorate*) selama jangka waktu yang direncanakan. Beton yang demikian disebut mempunyai ketahanan yang tinggi (*durable*). Kurangnya ketahanan disebabkan oleh pengaruh luar seperti pengaruh fisik, kimia maupun mekanis, misalnya pelapukan oleh cuaca, perubahan temperatur yang drastis, abrasi, aksi elektrolis, serangan oleh cairan atau gas alami ataupun industri. Besarnya kerusakan yang timbul sangat tergantung pada kualitas beton, meskipun pada kondisi yang ekstrim beton yang terlindung dengan baik pun akan mengalami kehancuran. **(Paul Nugraha & Antoni, 2007 : 207)**

Pada perlindungan (perbaikan) konstruksi beton tersedia banyak bahan. Bahan mana yang dipilih tergantung pada kerusakan yang diserang, kualitas bahan dasar

yang dilindungi dan lokasi lingkungan (kering, lembab, agresif). (R. Sagel, P. Kole & Gideon Kusuma, 1997 : 225)

Material perbaikan harus mempunyai sifat yang seragam dengan beton sekitarnya, dalam hal kekuatan dan modulus elastisitas dan juga warna dan tekstur, untuk beton terekspos. (Paul Nugraha & Antoni, 2007 : 227)

2.2. Kerusakan beton

Macam-macam kerusakan beton :

a. Retak (*Crack*)

Retak (*crack*) terjadi pada permukaan beton karena mengalami penyusutan, lendutan akibat beban hidup (*live load*)/ beban mati (*dead load*), akibat gempa bumi maupun perbedaan temperatur yang tinggi pada waktu proses pengeringan.

b. Pengelupasan beton (*Spalling*)

Pengelupasan (*spalling*) pada struktur yaitu terkelupasnya selimut beton besar atau kecil sehingga tulangan pada beton tersebut terlihat, hal ini apabila dibiarkan dengan bertambahnya waktu, tulangan akan berkarat / korosi akhirnya patah.

c. Disintegrasi

Bagian yang terlemah dari beton akan mengalami disintegrasi, permukaan beton menjadi kasar, karena umur akan terjadi proses alami yang mengalami pelapukan pada bidang-bidang terluar beton, proses pelapukan beton akibat lingkungan agresif antara lain air laut, karbonasi dan lain-lain. Beton yang berhubungan dengan lingkungan yang berkadar asam akan lebih cepat mengalami disintegrasi.

d. Patah

Patah yang terjadi pada beton biasanya dikarenakan struktur beton yang tidak mampu untuk menahan beban. Kerusakan ini bisa terjadi karena pada saat

pembuatan campuran beton (*mix design*) kurang diperhatikan proporsi yang digunakan. Sebelum pembuatan campuran beton harus menghitung beban-beban yang akan menimpa struktur beton tersebut agar patah pada beton tidak terjadi.

e. **Keropos**

Keropos merupakan jenis kerusakan yang disebabkan salah satunya karena umur beton yang terlalu lama. Jenis kerusakan ini juga bisa timbul karena pengerjaan beton yang kurang baik, agregat terlalu kasar, kurangnya butiran halus yang termasuk semen, faktor air semen tidak tepat, pemadatan yang tidak sempurna karena rapatnya tulangan, pasta semen keluar dari cetakan yang tidak rapat.

f. **Delaminasi**

Beton mengelupas sampai kelihatan tulangnya disebut delaminasi. Kerusakan ini bisa terjadi pada konstruksi bangunan dikarenakan banyak sebab, diantaranya kegagalan pada pembuatan campuran, reaksi kimia, kelebihan beban dan sebagainya. Oleh karena itu perlu diperhitungkan agar kerusakan ini tidak terjadi pada konstruksi bangunan.

Penyebab kerusakan beton :

a. **Pengaruh Mekanis**

Beton dapat mengalami kerusakan karena adanya pengaruh mekanis, seperti : pengikisan permukaan oleh air, ledakan, gempa bumi dan pembebanan yang berlebihan. Kerusakan beton akibat pengaruh mekanis ini dapat bervariasi dari kerusakan permukaan sampai hancur berkeping-keping.

b. **Pengaruh fisik**

Pengaruh fisik yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton antara lain pengaruh temperatur (panas hidrasi, kebakaran), susut dan rayap, pelesakan yang tidak sama dari pondasi atau perletakan.

c. Pengaruh kimia

Pengaruh kimia yang bisa merusak beton antara lain serangan asam karena semen portland dan semen campuran mempunyai ketahanan yang rendah terhadap asam. Pengaruh lain adalah serangan sulfat yang mana hampir semua sulfat dapat merusak pasta semen. Terjadinya korosi juga dapat menjadi penyebab kerusakan pada beton.

2.3. Metode perbaikan beton

Penentuan metode dan material perbaikan umumnya tergantung pada jenis kerusakan yang ada, disamping besar dan luasnya kerusakan yang terjadi, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perbaikan. Metode dan bahan yang dipakai harus disesuaikan dengan kondisi kerusakan yang terjadi sehingga daya dukung konstruksi dapat dikembalikan sebagaimana semula sesuai dengan yang direncanakan tanpa penambahan kapasitas.

Perbaikan konstruksi beton pada suatu konstruksi bangunan yang diakibatkan oleh kerusakan pada struktur beton bertujuan untuk mengembalikan daya dukung konstruksi beton kepada kondisi yang direncanakan karena pengaruh lingkungan yang disebabkan oleh perubahan massa beton maupun karena pengaruh alam yang agresif mengakibatkan kerusakan pada permukaan struktur beton.

Macam-macam metode perbaikan beton :

a. *Patching*

Metode perbaikan ini adalah metode perbaikan manual, dengan melakukan penempelan mortar secara manual. Pada saat pelaksanaan yang harus diperhatikan adalah penekanan pada saat mortar ditempelkan, sehingga benar-

benar didapatkan hasil yang padat. Umumnya yang dipakai adalah monomer mortar, polymer mortar dan epoxy mortar.

b. *Grouting*

Pekerjaan *grouting* sangat cocok untuk daerah perbaikan yang sulit. Metode ini dapat dilakukan secara manual (gravitasi) atau menggunakan pompa. Pada metode perbaikan ini yang perlu diperhatikan adalah bekisting yang terpasang harus benar-benar kedap, agar tidak ada kebocoran spesi yang mengakibatkan terjadinya keropos dan harus kuat agar mampu menahan tekanan dari bahan *grouting*. Tekanan injeksi *grouting* tidak boleh diambil lebih besar dari kemampuan tarik ijin beton. Material yang dapat digunakan antara lain mortar *grouting*, semen *grouting* dan *chemical grouting*.

c. *Shot-crete* (Beton Tembak)

Metode ini tidak memerlukan bekisting seperti halnya pengecoran pada umumnya. Metode *shotcrete* ada dua sistem yaitu *dry-mix* dan *wet-mix*. Pada sistem *dry-mix*, campuran yang dimasukkan dalam mesin berupa campuran kering, dan akan tercampur dengan air di ujung selang. Mutu dari beton yang ditembakkan sangat tergantung pada keahlian tenaga yang memegang selang yang mengatur jumlah air. Sistem ini sangat mudah dalam perawatan mesin *shotcretenya*, karena tidak pernah terjadi '*blocking*'. Pada sistem *wet-mix*, campuran yang dimasukkan dalam mesin berupa campuran basah, sehingga mutu beton yang ditembakkan lebih seragam. Sistem ini memerlukan perawatan mesin yang tinggi, apalagi bila sampai terjadi '*blocking*'. Pada metode *shotcrete*, umumnya digunakan *additive* untuk mempercepat pengeringan (*accelerator*), dengan tujuan mempercepat pengerasan dan mengurangi terjadinya banyaknya bahan yang terpantul dan jatuh (*rebound*).

d. *Grout Preplaced Agregat* (Beton *Prepack*)

Perbaikan *prepacked concrete* adalah mengupas beton, kemudian dibersihkan dan diisi dengan beton segar, beton baru ini dibuat dengan cara mengisi ruang kosong dengan agregat sampai penuh. Kemudian diinjeksi dengan mortar

yang sifat susutnya kecil dan mempunyai ikatan yang baik dengan beton lama.

e. *Coating*

Perbaikan *coating* adalah melapisi permukaan beton dengan cara mengoleskan atau menyemprotkan bahan yang bersifat plastik dan cair. Lapisan ini digunakan untuk menyelimuti beton terhadap lingkungan yang merusak beton.

f. Injeksi

Perbaikan injeksi adalah memasukkan bahan yang bersifat encer kedalam celah atau retakan pada beton, kemudian diinjeksi dengan tekanan, sampai terlihat pada lubang atau celah lain telah terisi atau mengalir keluar. Metode injeksi ini merupakan metode yang digunakan untuk perbaikan beton yang terjadi retak-retak ringan.

g. *Overlay*

Metode *overlay* ini merupakan metode perbaikan beton yang terjadi *spalling* hampir keseluruhan pada permukaan beton. Oleh karena itu sebelum dilakukannya metode ini perlu persiapan-persiapan permukaan yang akan diperbaiki.

h. *Jacketing*

Perbaikan *jacketing* adalah melindungi beton terhadap kerusakan dengan menggunakan bahan selubung, dapat berupa baja, karet, beton komposit. Pekerjaan *jacketing* bisa dilaksanakan untuk permukaan beton yang mengalami pelapukan atau disintegrasi.

2.4. Metode *Patch Repair*

Metode perbaikan ini adalah metode perbaikan manual, dengan melakukan penempelan mortar secara manual. Pada saat pelaksanaan yang harus diperhatikan adalah penekanan pada saat mortar ditempelkan; sehingga benar-benar didapatkan

hasil yang padat. Permukaan beton yang akan diperbaiki atau diperkuat perlu dipersiapkan, dengan tujuan agar terjadi ikatan yang baik; sehingga material perbaikan atau perkuatan dengan beton lama menjadi satu kesatuan.

Permukaan beton yang akan diperbaiki atau diperkuat harus merupakan permukaan yang kuat dan padat, tidak ada keropos ataupun bagian lemah lainnya (kecuali bila menggunakan metode injeksi untuk mengisi celah keropos), serta harus bersih dari debu dan kotoran lainnya.

Persiapan-persiapan permukaan beton yang akan diperbaiki, yaitu :

a. *Erosion* (pengikisan)

Erosion dilakukan untuk meratakan atau pengasaran permukaan beton. Pengikisan dilakukan dengan menggunakan gerinda atau sejenisnya yang dapat untuk melakukan pekerjaan tersebut.

b. *Impact* (kejut)

Impact pada permukaan beton yang akan diperbaiki gunanya untuk mendapatkan nilai kuat tarik dan kuat tekan beton yang lebih baik.

c. *Pulverization* (menghancurkan permukaan beton)

Penghancuran ini dilakukan dengan cara menabrakan partikel kecil dengan kecepatan yang tinggi ke permukaan beton.

d. *Expansive pressure*

Persiapan ini bisa dilakukan dengan dua cara yaitu *steam* dan *water*. *Steam* dilakukan dengan temperatur sumber panas yang tinggi. Sedangkan cara *water* dilakukan menggunakan *water jetting* yang bekerja dengan tekanan yang tinggi sama dengan cara *steam*.

2.5. Material Repair

Pemilihan material *repair* biasanya dilakukan untuk mengetahui kinerja dari material yang akan diaplikasikan agar sesuai dengan yang dibutuhkan dilapangan.

Adapun syarat-syarat sebagai material *repair*, yaitu :

Adapun syarat-syarat material *patch repair*, yaitu :

a. Daya lekat yang kuat.

Kelekatan antara material *repair* dengan beton yang akan diperbaiki harus menyatu dengan baik sehingga menjadi satu kesatuan beton yang utuh.

- b. *Deformable* pada beton.

Material *repair* harus menyesuaikan bentuk beton yang akan diperbaiki.

- c. Tidak mengurangi kekuatan beton.

Material *repair* yang akan digunakan untuk memperbaiki beton mampu menahan beban yang sama pada beton yang akan diperbaiki.

- d. Tidak susut.

Material *repair* tidak terjadi susut agar beton yang akan diperbaiki tidak kehilangan kekuatan sebagian.

Mo Li dan Victor C Li (2006) melaporkan bahwa daktilitas dari material *repair* sangat penting untuk memperoleh perbaikan struktur yang awet (*durable*), daktilitas material *repair* material yang tinggi akan mengurangi terjadinya tegangan pada lapisan material *repair*, maka delaminasi dapat diminimalkan.

T. Johansson dan B. Täljsten (2005) memaparkan bahwa kesesuaian antara beton induk dengan material *repair*nya sangatlah penting karena akan sangat menentukan kesatuan kombinasi dari material *repair*. Modulus elastisitas yang tidak setara antara beton induk dengan material *repair*nya harus diperhatikan, terutama jika beban bekerja pada ikatan beton induk dengan material *repair*nya. Jika pada ikatan beton induk dan material *repair*nya tidak mampu menahan beban maka akan terjadi keruntuhan. Material *repair* harus memiliki modulus elastisitas yang setara dengan beton induknya agar dapat menerima beban yang seragam.

Pemilihan material *repair* yang akan diperlukan harus mempunyai hasil perbaikan yang tahan lama. Untuk perbaikan beton perlu dipilih bahan perbaikan yang memenuhi sifat bahan yaitu :

- a. Stabilitas bentuk
- b. Koefisien muai panas
- c. Modulus elastisitas
- d. Permeabilitas

Ada beberapa material *patch repair* yang dapat digunakan, antara lain :

- a. Portland Cement Mortar.
- b. Portland Cement Concrete.
- c. Microsilica-Modified Portland Cement Concrete.
- d. Polymer-Modified Portland Cement Concrete.
- e. Polymer-Modified Portland Cement Mortar.
- f. Magnesium Phosphate Cement Concrete.
- g. Preplaced aggregate Concrete.
- h. Epoxy Mortar.
- i. Methyl Methacrylate (MMA) Concrete.
- j. Shotcrete.

Salah satu material *repair* yang dapat digunakan adalah mortar. Mortar merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Campuran antara semen, pasir dan air akan menghasilkan ikatan yang kuat sehingga mortar dapat digunakan sebagai bahan dasar *patch repair* yang mempunyai daya lekat yang kuat pada beton induknya.

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI 1982). Semen memiliki sifat adhesif maupun kohesif sehingga mampu merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan mampu mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat.

Pasir dalam campuran mortar sangat menentukan kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari mortar yang dihasilkan. Oleh karena itu, pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan.

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling penting dan paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan menyebabkan terjadinya pengikatan antara pasta semen dengan agregat, sedangkan fungsi lain sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan pada beton, tetapi kelemasan atau daya kerjanya akan berkurang. Sedang proporsi yang besar akan memberikan kemudahan pengerjaan, tetapi kekuatan hancur mortar menjadi rendah.

Bahan tambah *additive* atau *admixture* adalah bahan tambah selain semen, agregat dan air yang ditambahkan pada adukan mortar maupun beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton sesuai dengan keinginan perencanaan.

Menurut ASTM C-194, *superplasticizer* adalah campuran atau bahan aditif pengurang air yang sangat efektif. Pemakaian bahan tambah ini dapat memberikan adukan dengan faktor air semen yang lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau kekentalan adukan yang sama dengan faktor air semen yang sama. *Superplasticizer* juga mempunyai pengaruh yang besar dalam meningkatkan workabilitas.

Accelerating admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton maupun mortar. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton maupun mortar.

Pemakaian mortar sebagai material *repair* masih memiliki kelemahan seperti terjadinya retak, maka dari itu untuk memperoleh material *repair* yang memenuhi syarat diperlukan bahan tambah yang ditambahkan pada campuran mortar sehingga dapat memperbaiki kelemahan mortar itu sendiri. Salah satunya adalah dengan menambahkan serat ban.

2.6. Serat Ban

Ban adalah salah satu hasil olahan yang berasal dari karet. Kelebihan sifat dari ban itu sendiri adalah memberikan kenyamanan daripada roda tanpa ban (kereta api) serta mempunyai kekesatan yang baik, sedangkan kekurangannya adalah memberikan umur pelayanan yang tidak terlalu lama, sehingga dengan perjalanan waktu akan meningkatkan sisa ban yang telah dipakai dan dimanfaatkan dan juga umurnya telah habis, hal itulah yang disebut dengan limbah ban.

Limbah ban merupakan salah satu bahan yang dapat dengan mudah dicari dan ditemukan di setiap daerah di Indonesia dan jumlahnya juga relatif cukup tinggi. Ban yang terbuat dari karet alam pada dasarnya mempunyai sifat fisik lembut, fleksibel, dan elastis. Disamping itu juga mempunyai plastisitas yang baik, daya elastis yang sempurna, daya tahan dan daya lengket yang baik.

Limbah ban berupa potongan – potongan telah lama digunakan sebagai bahan tambahan (*Additif*), hal ini karena beberapa sifat ban yang menguntungkan. Sifat – sifat potongan ban antara lain :

- a. Ringan, murah dan tahan lama.
- b. Merupakan isolator panas yang baik.
- c. *Specific Gravities* bernilai antara 1,02 – 1,27.

Penggunaan serat limbah ban sebagai bahan tambah mortar ini didasarkan pada sifat-sifat karet itu sendiri antara lain elastis, lembut, fleksibel, daya plastisitasnya baik, daya tahan dan daya lengket yang baik. Fungsi serat ban sendiri antara lain meningkatkan kuat tarik dan lentur, meningkatkan daktilitas dan kemampuan menyerap energi saat berdeformasi, mengurangi retak akibat susut, meningkatkan ketahanan *fatigue* (beban berulang) dan meningkatkan ketahanan *impact* (beban tumbukan).

Penambahan serat ban yang mempunyai modulus elastisitas yang lebih rendah dari modulus elastisitas matrik mortar diharapkan dapat membuat mortar lebih daktil. Dengan sifat daktil tersebut, serat yang dicampurkan ke dalam mortar

diharapkan dapat digunakan untuk memperbaiki karakteristik mortar itu sendiri seperti mengurangi potensi retak.

Guoqiang Li (2004) melaporkan bahwa kekakuan serat ban berperan penting dalam peningkatan kekuatan dari beton atau mortar berserat karet, semakin besar kekakuan serat ban maka akan semakin besar pula kekuatan beton atau mortarnya.

2.7. Modulus Elastisitas

Sifat elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang. Semakin besar modulus elastisitas semakin kecil lendutan yang terjadi. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan beton menahan beban yang besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil. Untuk beton normal biasanya memiliki modulus elastisitas antara 25 KN/mm^2 sampai 36 KN/mm^2 . (**Chu-Kia Wang dan Charles G.Salmon. 1986**).

Tolak ukur yang umum dari sifat elastik suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan. Modulus elastisitas tidak berkaitan langsung dengan sifat-sifat beton lainnya, meskipun kekuatan yang lebih tinggi biasanya mempunyai harga E yang lebih tinggi pula (**L. J. Murdock, K. M. Brook. 1999 : 11**)

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan dari diagram tegangan dan regangan yang masih dalam kondisi elastis. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mampu menahan tegangan (desak utama) yang cukup besar akibat beban-beban yang terjadi pada suatu regangan (kemampuan terjadi retak) kecil, tolak ukur yang umum dari sifat

elastisitas yang merupakan perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang sebagai akibat dari desakan yang diberikan.

Regangan (ε) yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 0,001 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

ΔL = perubahan panjang (μm)

L = panjang mula-mula yaitu jarak antara dua *ring* (mm)

0,001 = konversi satuan dial (mm)

Tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan 2.2.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

F = beban yang diberikan (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

Modulus elastisitas yang digunakan berdasarkan ASTM C 469-94 yaitu modulus elastisitas chord (E_C). Modulus elastisitas dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

S_2 = tegangan sebesar $0,4 f_c$

S_1 = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar
0, 00005

ε_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2

Faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas :

1. Kelembaban
Beton dengan kandungan air yang lebih tinggi mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada beton dengan spesifikasi yang sama.
2. Agregat

Nilai modulus dan proporsi volume agregat dalam campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton. Semakin tinggi modulus agregat dan semakin besar proporsi agregat dalam beton, semakin tinggi pula modulus elastisitas beton tersebut.

3. Umur beton

Modulus elastisitas semakin besar seiring dengan bertambahnya umur beton seperti kuat tekannya, namun modulus elastisitas bertambah lebih cepat daripada kekuatan.

4. *Mix Design* beton

Jenis beton memberikan nilai modulus elastisitas yang berbeda pada umur dan kekuatan yang sama.

2.8. Komposit

Komposit merupakan bahan yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang menyatu menjadi satu bahan. Komposit antara lain bahan yang diberi lapisan, bahan yang diperkuat, dan kombinasi lain yang memanfaatkan sifat khusus beberapa bahan yang ada.

Beban yang terjadi pada komposit merupakan jumlah beban dari material-material penyusunnya. Dalam penelitian ini, material penyusun dari komposit adalah beton normal dan *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban, sehingga beban yang terjadi pada komposit (F_k) merupakan jumlah dari beban pada mortar (F_m) dan beban pada beton (F_b). Beban pada komposit dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$F_k = F_m + F_b \dots\dots\dots(2.4)$$

Beban atau gaya dapat diperoleh dari perkalian antara tegangan (σ) dengan luas penampang (A), namun jika panjang masing-masing lapisan penyusun komposit sama maka luas penampang dapat diganti dengan volume yang dinyatakan dalam bentuk fraksi, sehingga beban atau gaya dapat dihitung dengan persamaan 2.5.

$$\sigma_k.V_k = \sigma_m.V_m + \sigma_b.V_b \dots\dots\dots(2.5)$$

Volume komposit adalah 100 %, jika dinyatakan dalam fraksi adalah 1, maka persamaan 2.5 dapat berubah menjadi persamaan 2.6.

$$\sigma k = \sigma m.Vm + \sigma b.Vb \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada kondisi *isostrain*, tegangan mengakibatkan terjadinya regangan yang sama antara lapisan komposit, ikatan antara lapisan komposit diasumsikan tetap selama pembebanan. Sehingga regangan yang terjadi pada komposit (ϵ_c) sama dengan regangan yang terjadi pada mortar (ϵ_m) dan regangan pada beton (ϵ_b), seperti pada persamaan 2.7.

$$\epsilon k = \epsilon m = \epsilon b \dots\dots\dots(2.7)$$

Modulus elastisitas merupakan perbandingan dari tegangan (σ) dengan regangan (ϵ), maka modulus elastisitas komposit dapat dihitung dengan persamaan 2.8 dan 2.9.

$$\frac{\sigma k}{\epsilon k} = \frac{\sigma m.Vm}{\epsilon m} + \frac{\sigma b.Vb}{\epsilon b} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Ek = Em.Vm + Eb.Vb \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

Ek = modulus elastisitas komposit

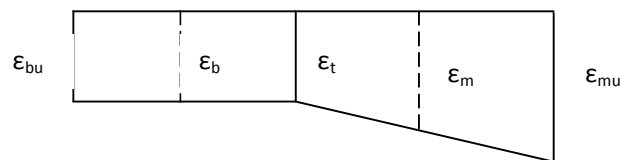
Eb = modulus elastisitas beton

Em = modulus elastisitas mortar

Vb = fraksi volume beton

Vm = fraksi volume mortar

Jika dalam kondisi *non-isostrain*, regangan komposit, beton dan mortar tidak diasumsikan sama. Diagram regangan pada komposit dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram Regangan pada Komposit

Berdasarkan diagram tersebut, regangan rata-rata pada mortar (ϵ_m) merupakan rata-rata dari regangan yang terjadi pada pertemuan beton dengan mortar (ϵ_t) dan regangan mortar yang terjadi pada serat terluar (ϵ_{mu}). Sedangkan regangan rata-rata pada beton (ϵ_b) juga merupakan rata-rata dari regangan yang terjadi pada pertemuan beton dengan mortar (ϵ_t) dan regangan beton yang terjadi pada serat terluar (ϵ_{bu}), seperti pada persamaan 2.10 dan 2.11

$$\epsilon_m = \frac{\epsilon_t + \epsilon_{mu}}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_t + \epsilon_{bu}}{2} \dots\dots\dots(2.11)$$

\

Nilai ϵ_b dan ϵ_m disubstitusikan dengan persamaan 2.10 dan 2.11 maka persamaan 2.4 dapat berubah menjadi persamaan 2.12.

$$Fk = Eb \left(\frac{\epsilon_t + \epsilon_{bu}}{2} \right) . Ab + Em \left(\frac{\epsilon_t + \epsilon_{mu}}{2} \right) . Am \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

E_b = modulus elastisitas beton

E_m = modulus elastisitas mortar

ϵ_{bu} = regangan beton pada serat terluar

ϵ_{mu} = regangan mortar pada serat terluar

ϵ_t = regangan pertemuan antara mortar dengan beton

ϵ_b = regangan beton rata-rata

ϵ_m = regangan mortar rata-rata

Ab = luas penampang beton (mm²)

Am = luas penampang mortar (mm²)

Fk = beban pada komposit (N)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan suatu percobaan langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variabel-variabel yang diselidiki. Metode ini dapat dilakukan di dalam ataupun di luar laboratorium. Penelitian ini eksperimen akan dilakukan di dalam laboratorium.

Penelitian ini dilakukan dengan mengadakan suatu pengujian terhadap modulus elastisitas pada *repair* mortar berbahan tambah serat ban. Pengujian modulus elastisitas akan menghasilkan data yang menggambarkan kualitas beton, selain itu juga dilakukan eksperimental lainnya untuk menunjukkan bahwa penggunaan serat ban adalah mudah dilaksanakan (*workable*).

Pemecahan masalah pada penelitian ini dengan menggunakan cara statistik, yaitu dengan urutan kegiatan dalam memperoleh data sampai data itu berguna sebagai dasar pembuatan keputusan diantaranya melalui proses pengumpulan data, pengolahan data, analisis data dan cara pengambilan keputusan secara umum berdasarkan hasil penelitian.

3.2. Bahan-bahan penyusun

Bahan-bahan penyusun benda uji dalam penelitian ini antara lain:

a. Semen

Semen yang akan digunakan dalam penelitian ini telah diuji yaitu uji vicat. Hasil uji vicat menunjukkan bahwa *Initial setting time* (waktu pengikatan awal) semen dengan faktor air semen 0,5 terjadi pada rentang waktu antara 135-150 menit. Hal ini memenuhi standar yang disyaratkan, yaitu antara 45-375 menit.

b. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini telah diuji bahan antara lain uji gradasi, kandungan zat organik, kandungan lumpur dan *specific gravity*. Hasil pengujian agragat halus :

1. Hasil uji gradasi menunjukkan bahwa modulus kehalusan pasir 2.34, telah memenuhi standar ASTM C – 33 yaitu modulus kehalusan pasir yang memenuhi syarat sebesar 2.3-3.1.
2. Hasil pengujian kandungan zat organik menunjukkan bahwa zat organik yang terkandung dalam pasir cukup besar yaitu sekitar 20-30%. Hal ini tidak memenuhi syarat karena kandungan zat organik dalam pasir > 5 %, maka pasir harus dicuci terlebih dahulu.
3. Pengujian kandungan lumpur dalam pasir menunjukkan bahwa pasir mengandung lumpur sebanyak 13 %, hal ini tidak memenuhi syarat karena menurut standar yang ditetapkan kandungan lumpur dalam pasir maksimum adalah 5 %. Oleh karena itu, pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan agar lumpur yang terkandung dalam pasir hilang.
4. Hasil pengujian *specific gravity* menunjukkan bahwa pasir mempunyai *bulk specific gravity SSD* sebesar 2.55, telah memenuhi standar yang ditetapkan oleh ASTM C.128-79 yaitu sebesar 2.5-2.7.

c. Kerikil

Agregat kasar yang digunakan telah diuji bahan antara lain uji gradasi, *specific gravity*, dan abrasi. Hasil pengujiannya yaitu :

1. Uji gradasi menunjukkan bahwa modulus halus kerikil adalah 5.003. Hal ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.33-84 yaitu 5-8.
2. Hasil pengujian *specific gravity* adalah kerikil mempunyai *specific gravity* sebesar 2.53, telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.127-81 yaitu *specific gravity* agregat kasar sebesar 2.5-2.7.
3. Uji abrasi agregat kasar menunjukkan keausan kerikil yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 23 %, hal ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan yaitu keausan agregat kasar maksimum adalah 50 %.

d. *Superplastizicer*

Superplastizicer yang digunakan dalam penelitian ini adalah sikament-NN. sikament-NN adalah *superplastizicer* berbentuk cairan sehingga bahan ini dapat dengan mudah bercampur dan bereaksi dalam campuran adukan mortar.

e. *Accelerator*

Accelerator digunakan untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton maupun mortar.

f. Serat ban

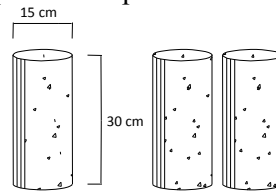
Serat ban yang digunakan adalah limbah ban yang berasal dari sisa-sisa vulkanisir ban. Serat ban yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat ban yang lolos saringan 4.75 mm. *Specific gravity* serat ban sebesar 1.18. Hasil pengujian gradasi serat ban dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil pengujian gradasi serat ban

Ukuran Ayakan (mm)	Ukuran Serat Ban		Tertahan			Lolos Kumulatif (%)
	Panjang (mm)	Diameter (mm)	Berat (gr)	Persentase (%)	Kumulatif (%)	
4.75	-	-	415	33.414	33.414	66.586
2.36	21,5	1,8	125	10.064	43.478	56.522
1.18	9,2	1,2	340	27.375	70.853	29.147
0.85	2,35	0,85	265	21.337	92.190	7.810
Pan	Butiran seperti pasir		97	7.810	100.000	0.000
Jumlah			1242		339.936	

3.3. Benda Uji

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder beton diameter 15 cm tingginya 30 cm. Benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Benda Uji

Benda uji terdiri dari tiga macam yaitu:

- Benda uji yang berbentuk silinder utuh yang terdiri dari mortar dengan bahan tambah serat ban sebanyak empat variasi yaitu 0 %, 4 %, 8 % dan 12 %.
- Benda uji yang berbentuk silinder utuh yang terdiri dari beton normal dengan FAS 0,478.
- Benda uji yang berbentuk silinder utuh yang terdiri dari setengah volume mortar dengan bahan tambah serat ban, masing-masing variasi yaitu 0 %, 4 %, 8 %, 12 % dan setengah volume berupa beton normal. Benda uji ini akan membentuk komposit antara beton normal dengan mortar berbahan tambah serat ban.

Macam benda uji dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Macam Benda Uji

Kode benda uji	Proporsi Benda Uji	Jumlah Benda Uji
BN-1 BN-2 BN-3	FAS 0,478	3 buah
MS 0%-1 MS 0%-2 MS 0%-3	Perbandingan semen : pasir : 1 : 2,5. Serat ban 0 % <i>Superplasticizer</i> 2%. Pengeras 0,4% Fas 0,5	3 buah
MS 4%-1 MS 4%-2 MS 4%-3	Perbandingan semen : pasir : 1 : 2,5. Serat ban 4 % <i>Superplasticizer</i> 2%. Pengeras 0,4% Fas 0,5	3 buah
MS 8%-1 MS 8%-2 MS 8%-3	Perbandingan semen : pasir : 1 : 2,5. Serat ban 8 % <i>Superplasticizer</i> 2%. Pengeras 0,4% Fas 0,5	3 buah
MS 12 %-1 MS 12 %-2 MS 12 %-3	Perbandingan semen : pasir : 1 : 2,5. Serat ban 12 % <i>Superplasticizer</i> 2%. Pengeras 0,4% Fas 0,5	3 buah
MSB 12 %-1 MSB 12 %-2 MSB 12 %-3	½ Beton Normal + ½ repair mortar serat ban 0 %	3 buah
MSB 12 %-1 MSB 12 %-2 MSB 12 %-3	½ Beton Normal + ½ repair mortar serat ban 4 %	3 buah
MSB 12 %-1 MSB 12 %-2 MSB 12 %-3	½ Beton Normal + ½ repair mortar serat ban 8 %	3 buah
MSB 12 %-1 MSB 12 %-2 MSB 12 %-3	½ Beton Normal + ½ repair mortar serat ban 12 %	3 buah

a. Pembuatan Benda Uji Beton Normal

Pembuatan campuran adukan beton normal dilakukan setelah menghitung proporsi masing-masing bahan yang digunakan, kemudian mencampur dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengambil bahan-bahan pembentuk beton normal dengan berat yang ditentukan sesuai rencana campuran.
2. Mencampur dan mengaduk semen, kerikil dan pasir sampai benar-benar homogen.
3. Menambah air sedikit demi sedikit sesuai dengan jumlah faktor air semen yang telah ditentukan serta terus mengaduk campuran tersebut sehingga menjadi adukan beton segar yang homogen.
4. Memasukkan adukan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan yaitu cetakan silinder dengan ukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm. Adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan secara berlapis dan tiap lapis dipadatkan agar pematatannya sempurna. Permukaan adukan diratakan dengan sendok semen.
5. Cetakan dibuka pada umur 1 hari dan dilanjutkan dengan perawatan benda uji dengan cara menutup benda uji dengan kain basah selama 28 hari.

a. Pembuatan Benda Uji *Repair Mortar*

Pembuatan campuran adukan repair mortar dilakukan setelah menghitung proporsi masing-masing bahan yang dipergunakan, kemudian mencampur dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengambil bahan-bahan pembentuk *repair mortar* dengan berat yang ditentukan sesuai rencana campuran.
2. Mencampur dan mengaduk semen, pasir dan serat ban sampai benar-benar homogen.
3. Menambah air sedikit demi sedikit sesuai dengan jumlah faktor air semen yang telah ditentukan. Menambahkan *superplastizicer* ke dalam air setelah setengah dari volume air dicampurkan kedalam adukan mortar. Menambahkan air

dengan sedikit demi sedikit kedalam adukan mortar, pada saat air yang tersisa sebanyak 75 ml, *accelerator* dicampur ke dalam sisa air kemudian menuangkan air tersebut ke dalam adukan mortar dan mengaduknya sehingga menjadi campuran mortar yang homogen.

4. Memasukkan adukan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan yaitu cetakan silinder dengan ukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm. Adukan mortar dimasukkan ke dalam cetakan secara berlapis dan tiap lapis dipadatkan agar pematatannya sempurna. Permukaan adukan diratakan dengan sendok semen.
5. Membuka cetakan pada umur 1 hari dan dilanjutkan dengan pengujian modulus elastisitas.

b. Pembuatan Benda Uji Beton Normal + *Repair* Mortar

Benda uji ini merupakan komposit antara beton normal dan mortar berbahan tambah serat ban, langkah-langkah pembuatan benda uji ini yaitu:

1. Mengambil bahan-bahan pembentuk beton normal dengan berat yang ditentukan sesuai rencana campuran.
2. Mencampur dan mengaduk semen, kerikil dan pasir sampai benar-benar homogen.
3. Menambah air sedikit demi sedikit sesuai dengan jumlah faktor air semen yang telah ditentukan serta terus mengaduk campuran tersebut sehingga menjadi adukan beton segar yang homogen.
4. Memasukkan adukan ke dalam cetakan silinder dengan ukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm. Adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan sebanyak setengah volume cetakan kemudian dipadatkan.
5. Cetakan dibuka pada umur 1 hari dan dilanjutkan dengan perawatan benda uji dengan cara menutup benda uji dengan kain basah selama 28 hari.
6. Memasukkan beton yang telah berumur 28 hari kedalam cetakan kemudian menambalnya dengan adukan *repair* mortar pada setengah cetakan yang masih kosong.
7. Membuka cetakan setelah *repair* mortar berumur 1 hari dan dilanjutkan dengan pengujian modulus elastisitas.

3.4. Pengujian

3.4.1 Alat-alat yang digunakan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Laboratorium Bahan Bangunan Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta, sehingga menggunakan alat-alat yang terdapat pada laboratorium tersebut.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Timbangan
 - 1). Timbangan Digital.
 - 2). Timbangan “*Bascule*” merk DSN Bola Dunia, dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 0,1 kg.
- b. Ayakan dan mesin penggetar ayakan
Ayakan baja dan penggetar yang digunakan adalah merk “*Controls*” Italy dengan bentuk lubang ayakan bujur sangkar dengan ukuran lubang ayakan yang tersedia adalah 75 mm, 50 mm, 38.1 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.85 mm, 0.30 mm, 0.15 dan pan.
- c. Cetakan benda uji
Cetakan benda uji yang digunakan adalah cetakan silinder yang terbuat dari besi dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
- d. Alat bantu
 - 1). Cetok semen, digunakan untuk memasukkan campuran *repair* mortar dan beton normal kedalam cetakan.
 - 2). Gelas ukur kapasitas 1000 ml, digunakan untuk menakar air yang akan dipakai dalam campuran adukan.
- e. Ember untuk tempat air dan sisa adukan.
- f. *Loading frame*
Bentuk dasar *loading frame* berupa portal segiempat yang berdiri diatas lantai beton dengan perantara plat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *loading frame* tetap stabil, plat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14 mm. Posisi balok portal dapat

diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

g. *Load cell*

Alat ini digunakan untuk menransfer beban dari *hydraulic jack* ke *tranducer*.

h. *Hydraulic jack*

Alat ini digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian modulus elastisitas dengan kapasitas maksimum *hydraulic jack* sebesar 25 ton.

i. *Tranducer*

Alat ini digunakan untuk mengetahui besar beban yang diberikan oleh *hydraulic jack* pada benda uji.

j. *Dial gauge*

Dial gauge digunakan untuk mengukur deformasi atau perubahan panjang (ΔL) yang terjadi pada benda uji akibat tekanan yang diberikan.

k. Trafo 110 volt

3.4.2. Prosedur Pengujian

Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk

kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, untuk beton normal menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm. Pengujian regangan – tegangan akibat pembebanan tekan menggunakan silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian tegangan-regangan menggunakan alat uji tekan *loading frame* dan alat pengukur deformasi berupa *dial gauge*.

a. *Setting* alat

1. Memasang *hydraulic jack* pada *frame* bagian atas menghadap kebawah.
2. Memasang dua buah *dial gauge* pada benda uji dengan menggunakan *ring*.
3. Meletakkan benda uji silinder pada *loading frame*.
4. Memasang *load cell* setelah benda uji dalam keadaan seimbang.
5. Menghubungkan kabel *load cell* ke *tranducer*
6. Menghubungkan kabel *power supply tranducer* ke trafo 110 volt.

7. Menghidupkan trafo sehingga pada *tranducer* muncul angka.
8. Memompa *pressure pump* perlahan-lahan sehingga pada *tranducer* muncul angka nol.

b. Pengujian modulus elastisitas

1. Pengujian dilakukan dengan cara memberi beban atau tekanan pada permukaan atas benda uji. Pembebanan diberikan berangsur-angsur dengan menggunakan *hydraulic jack* dan *tranducer*. Setiap kenaikan pembebanan tertentu dilakukan pembacaan *dial* untuk mengetahui besarnya perubahan panjang yang terjadi pada benda uji. Interval pembebanan yang diberikan adalah 400 kg.
2. Pembebanan dilakukan hingga mencapai 30 % dari kuat desak benda uji.
3. Menghitung regangan yang terjadi berdasarkan data perubahan panjang yang diperoleh dari pengujian dengan rumus:

$$(\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.1)$$

4. Menghitung tegangan dengan rumus:

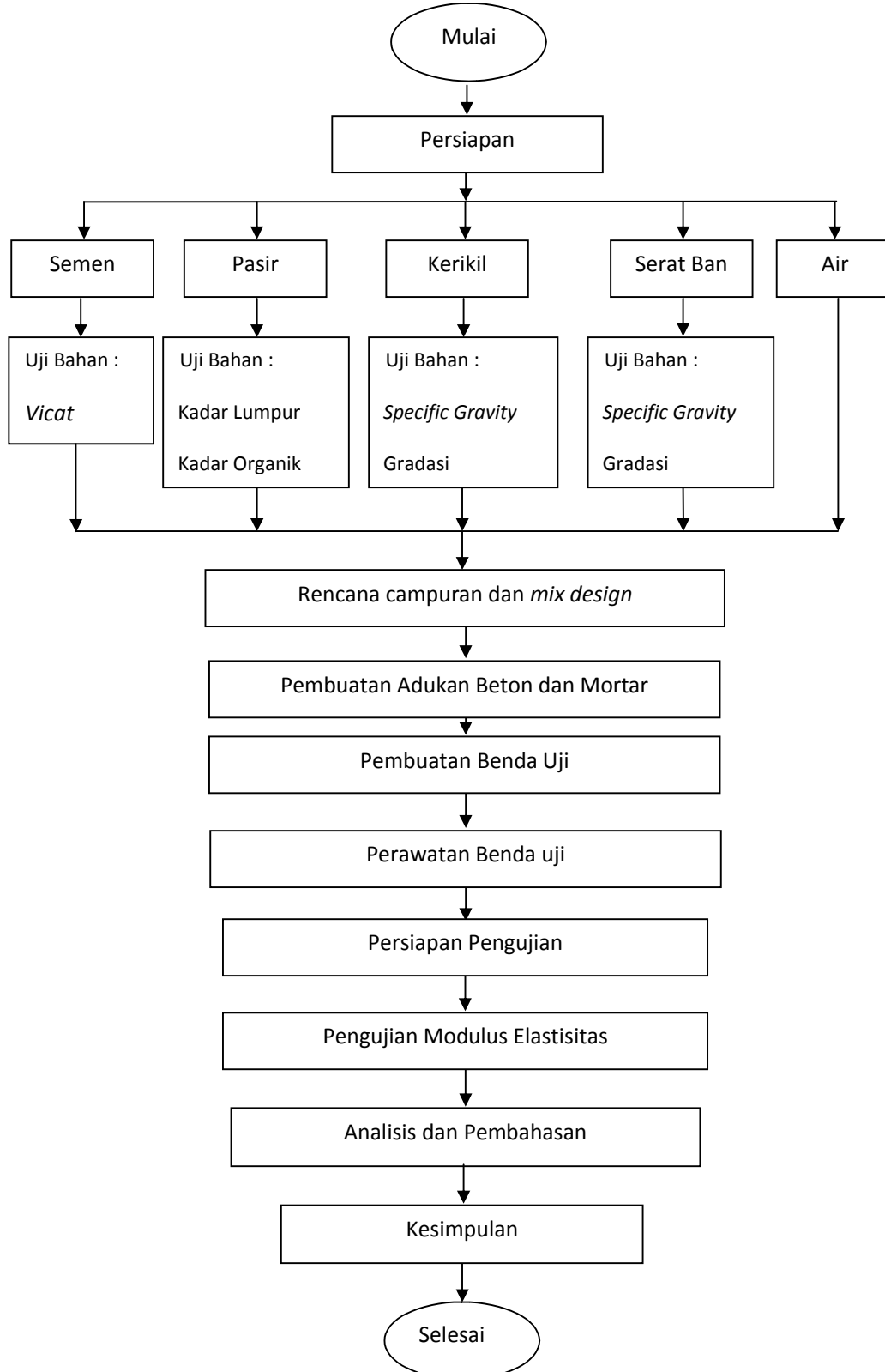
$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

5. Membuat grafik hubungan tegangan-regangan

6. Menghitung nilai modulus elastisitas

$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots (2.3)$$

Bagan alir tahap penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Tahap Penelitian

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Data

4.1.1. Kuat Desak

Pengujian kuat desak dilakukan untuk mengetahui besarnya beban yang akan diberikan pada saat pengujian modulus elastisitas. Pengujian kuat desak dilakukan pada saat *repair* mortar berumur satu hari. Data kuat desak rata-rata *repair* mortar umur satu hari dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Kuat Desak Rata-Rata *Repair*Mortar Umur Satu Hari

Benda uji	Kuat Desak Umur 1 hari (MPa)
Mortar serat ban 0 %	13,73
Mortar serat ban 4 %	10,51
Mortar serat ban 8 %	7,12
Mortar serat ban 12 %	5,33

Pengujian kuat desak beton normal dilakukan saat beton berumur 28 hari, dari pengujian tersebut diketahui bahwa kuat desak beton normal umur 28 hari adalah 27,78 MPa.

Beban yang diberikan pada saat pengujian modulus elastisitas dihitung ketika tegangan mencapai minimal 30 % kuat desaknya yaitu pada saat dalam kondisi elastis. Beban pada pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Beban pada Pengujian Modulus Elastisitas

Benda uji	Beban (kg)
Beton normal	14800
Mortar serat ban 0 %	7600
Mortar serat ban 4 %	5600
Mortar serat ban 8 %	4000
Mortar serat ban 12 %	3200

Pembebanan pada pengujian benda uji yang berupa komposit antara beton normal dan *repair* mortar berbahan tambah serat ban diambil dari data kuat desak material yang lebih kecil. Kuat desak *repair* mortar lebih kecil daripada kuat desak beton normal maka pembebanan pada benda uji komposit diberikan ketika tegangan mencapai 30 % dari kuat desak *repair* mortar.

4.1.2. Modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan *loading frame* sebagai alat uji desak yang digunakan untuk memberikan beban pada benda uji secara berangsur-angsur dengan interval pembebanan 400 kg sampai mencapai 30 % dari kuat desak. Sedangkan untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi digunakan *dial gauge* dengan skala 0,001 mm.

Data yang diperoleh langsung dari pengujian adalah data perubahan panjang (ΔL) yang terjadi pada masing-masing benda uji di setiap kenaikan beban yang diberikan, kemudian dari data tersebut dapat dianalisis menjadi nilai modulus elastisitas masing-masing benda uji. Perhitungan nilai modulus elastisitas:

1. Regangan (ϵ) yang terjadi dihitung dengan persamaan 2.1
2. Perhitungan tegangan dapat dihitung dengan persamaan 2.2
3. Membuat grafik hubungan tegangan-regangan
4. Menghitung nilai modulus elastisitas

Sebagai contoh perhitungan diambil salah satu sampel benda uji mortar berserat ban 0 % (MS 0%-1)

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L_1}{L} \times 0,001 = \frac{2}{210} \times 0,001 = 9,524 \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta L_2}{L} \times 0,001 = \frac{4}{210} \times 0,001 = 1,905 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rata rata regangan} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} = \frac{9,524 \times 10^{-6} + 1,905 \times 10^{-5}}{2} = 1,428 \times 10^{-5}$$

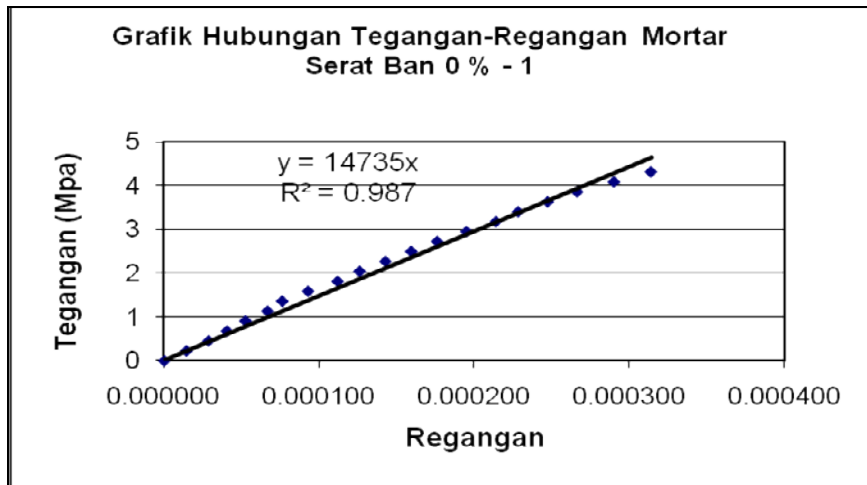
Sedangkan tegangan yang terjadi

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4000}{17662,5} = 0,226469 \text{ MPa}$$

Data selengkapnya terdapat pada lampiran C.

Grafik hubungan tegangan-regangan dapat diperoleh dengan memplotkan data tegangan setiap kenaikan beban aksial 400 kg dengan regangan yang terjadi pada setiap benda uji. Grafik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.

Grafik hubungan tegangan-regangan kemudian dianalisis dengan regresi linier untuk memperoleh persamaan regresi yang menunjukkan nilai modulus elastisitas.



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Mortar Serat Ban 0%-1

Persamaan regresi yang terjadi adalah $y = 14735x$

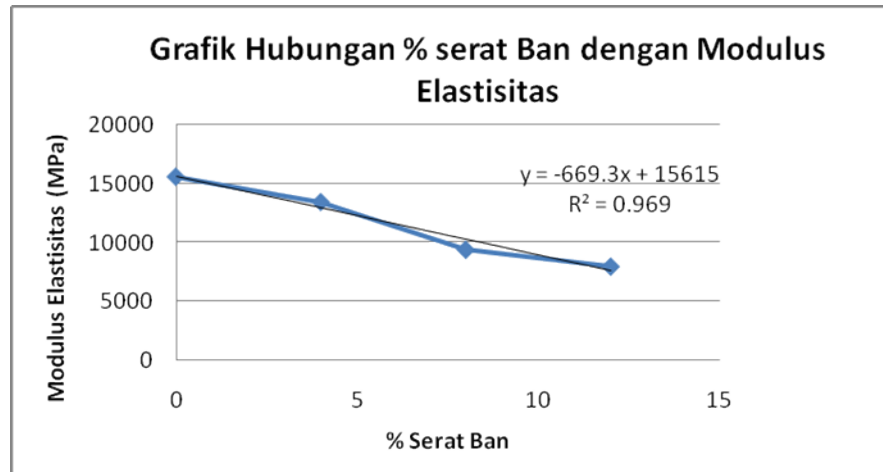
Nilai modulus elastisitas benda uji MS 0 %-1 adalah 14735

Nilai modulus elastisitas beton normal dan mortar dengan bahan tambah serat pada benda uji silinder utuh dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai Modulus Elastisitas Beton Normal dan *Repair*Mortar Dengan Bahan Tambah Serat Ban pada Benda Uji Silinder Utuh

Kode benda uji	Persamaan regresi	Modulus elastisitas (MPa)	Modulus elastisitas rata-rata (MPa)
BN-1	$y = 23585x$	23585	24597,33
BN-2	$y = 24453x$	24453	
BN-3	$y = 25754x$	25754	
MS 0%-1	$y = 14735x$	14735	15615
MS 0%-2	$y = 14964x$	14964	
MS 0%-3	$y = 17146x$	17146	
MS 4%-1	$y = 13879x$	13879	13465,47
MS 4%-2	$y = 16812x$	16812	
MS 4%-3	$y = 9705,4x$	9705,4	
MS 8%-1	$y = 9588,7x$	9588,7	9407,067
MS 8%-2	$y = 9267,7x$	9297,7	
MS 8%-3	$y = 9364,8x$	9364,8	
MS 12%-1	$y = 6756,3x$	6756,3	7976,333
MS 12%-2	$y = 8595,7x$	8595,7	
MS 12%-3	$y = 8577x$	8577	

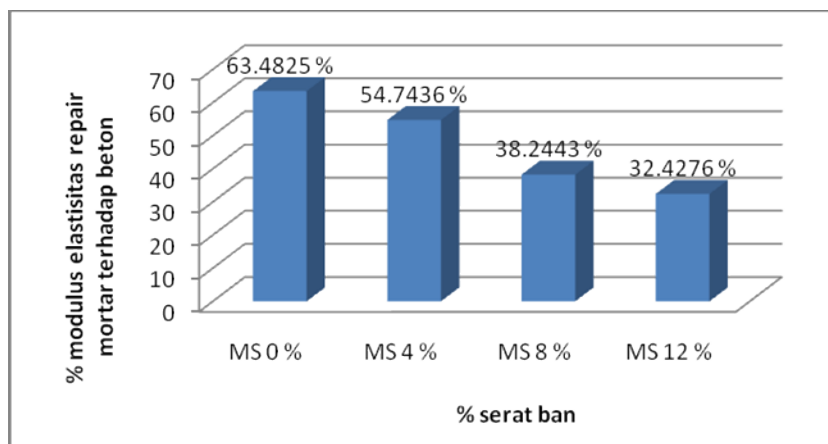
Hubungan antara % serat ban dengan modulus elastisitas dapat dilihat pada grafik 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan % Serat Ban dengan Modulus Elastisitas *Repair* mortar

Gambar 4.2. menunjukkan bahwa semakin besar kadar serat ban maka nilai modulus *repa* *r*mortar semakin kecil. Penurunan yang terjadi pada setiap penambahan serat ban sebesar 4 % adalah sebesar 17,145 %.

Syarat yang harus dipenuhi oleh material *repair* diantaranya harus memiliki modulus elastisitas yang setara dengan beton induknya, namun hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas *repair* mortar pada umur satu hari jauh lebih rendah dari nilai modulus elastisitas beton normal pada umur 28 hari. Ketidak setaraan ini ditunjukkan pada diagram 4.3.



Gambar 4.3. Diagram Perbandingan Modulus Elastisitas *Repair*Mortar dengan Beton normal

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa jika modulus elastisitas beton normal pada umur 28 hari dianggap 100 % maka modulus elastisitas *repair* mortar pada umur satu hari belum dapat mencapai 100 %. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa penambahan serat ke dalam *repair* mortar menyebabkan nilai modulus elastisitas semakin menurun terhadap nilai modulus elastisitas beton normal, penurunannya sekitar 10,964 % pada setiap penambahan serat ban sebanyak 4 % .

Ketidak setaraan modulus elastisitas beton dan *repair* mortar ini menunjukkan perbedaan kemampuan menahan tegangan dan regangan antara beton dan *repair* mortar. Perbedaan nilai regangan dapat terlihat pada saat pengujian benda uji komposit. Nilai regangan ketika benda uji komposit menerima beban 32000 N dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai Regangan ketika Benda Uji Komposit Menerima Beban 32000 N

Kode benda uji	Regangan pada sisi mortar	Regangan pada sisi beton
MSB 0%-1	0.000138	0.000057
MSB 0%-2	0.000129	0.000062
MSB 4%-1	0.000143	0.000052
MSB 4%-2	0.000124	0.000067
MSB 4%-3	0.000152	0.000071
MSB 8%-1	0.000257	0.000052
MSB 8%-2	0.000181	0.000095
MSB 8%-3	0.000252	0.000086
MSB 12%-1	0.000233	0.000076
MSB 12%-2	0.000248	0.000081
MSB 12%-3	0.000257	0.000071

Perbedaan regangan pada sisi beton dan mortar menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada sisi beton dan mortar tidak seragam. Perhitungan komposit yang ada pada literatur selama ini selalu diasumsikan bahwa regangan yang terjadi pada kedua material adalah sama atau *isostrain*, padahal kondisi yang terjadi dalam penelitian ini adalah regangan yang terjadi pada beton normal dan *repair* mortar

tidak sama atau *non isostrain*, maka akan dilakukan analisis mengenai distribusi tegangan yang terjadi baik pada kondisi *isostrain* maupun *non isotrain*.

4.1.3. Distribusi Tegangan Pada Komposit

a. Kondisi *Isostrain*

Pada kondisi isostrain regangan pada beton dan mortar diasumsikan sama dengan regangan yang terjadi pada komposit, seperti pada persamaan 2.7.

$$\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_b \dots\dots\dots(2.7)$$

Nilai modulus elastisitas komposit dapat dilihat pada persamaan 2.9.

$$E_c = E_m.V_m + E_b.V_b \dots\dots\dots(2.9)$$

Analisis data dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian di laboratorium sehingga akan diketahui bagaimana distribusi tegangan beton dan mortar sebagai sistem komposit jika disumsikan dalam kondisi *isostrain*.

Sebagai contoh perhitungannya, diambil salah satu sampel komposit antara beton normal dengan mortar berbahan tambah serat ban 0 %

- 1. Modulus elastisitas beton = 24597,33 MPa
- 2. Modulus elastisitas mortar = 15615 MPa

Untuk perhitungan distribusi tegangan diambil pada salah satu beban yang diberikan yaitu pada beban 32000 N.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{32000}{17662,5} = 1,8117 \text{ MPa}$$

$$E_c = E_m.V_m + E_b.V_b = (15615.0,5) + (24597,33.0,5) = 20106,165$$

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{1,8117}{20106,165} = 0,0000901$$

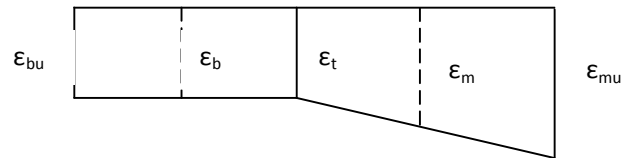
$$\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_b = 0,0000901$$

$$\sigma_m = E_m \times \varepsilon_m = 15615 \times 0,0000901 = 1,4069 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = E_b \times \varepsilon_b = 24597,33 \times 0,0000901 = 2,2162 \text{ MPa}$$

b. Kondisi *Non Isostrain*

Untuk mengetahui distribusi tegangan pada kondisi *non isostrain* diasumsikan bahwa regangan pada komposit tidak sama dengan regangan pada beton maupun mortar. Regangan yang terjadi diasumsikan seperti diagram berikut:



Gambar 4.4. Diagram Regangan pada Komposit

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_{mu}}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_{bu}}{2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Langkah perhitungan berikutnya adalah mensubstitusikan nilai ε_m dan ε_b dengan persamaan 2.10 dan 2.11 maka diperoleh persamaan 2.12.

$$F_k = E_b \left(\frac{\varepsilon_t + \varepsilon_{bu}}{2} \right) \cdot A_b + E_m \left(\frac{\varepsilon_t + \varepsilon_{mu}}{2} \right) \cdot A_m \dots\dots\dots(2.12)$$

Perhitungan distribusi tegangan dalam kondisi *non isostrain* berdasarkan data yang diperoleh pada benda uji yang utuh. Sebagai contoh perhitungan, diambil salah satu sampel komposit beton normal dengan mortar serat ban 0 % (MSB 0%-1) pada beban 32000 N.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{32000}{17662,5} = 1,8117 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{mu} = 0,000151$$

$$\varepsilon_{bu} = 0,000078$$

Nilai ε_t diperoleh dari persamaan (2.12), yaitu sebesar 0,000074 sehingga:

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_{mu}}{2} = \frac{0,000074 + 0,000151}{2} = 0,000112$$

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_{bu}}{2} = \frac{0,000074 + 0,000078}{2} = 0,000078$$

$$\sigma_m = E_m \times \varepsilon_m = 15615 \times 0,000112 = 1,7537 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = E_b \times \varepsilon_b = 24597,33 \times 0,000078 = 1,8698 \text{ MPa}$$

Data mengenai distribusi tegangan komposit yang terjadi saat menerima beban sebesar 32000 N dapat dilihat pada tabel 4.5.

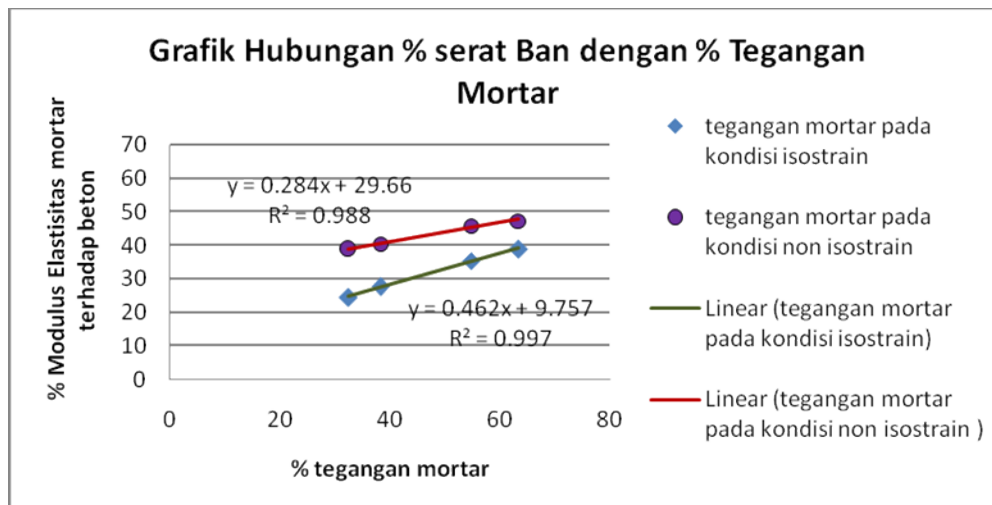
Tabel 4.5. Distribusi Tegangan Komposit pada Pembebanan sebesar 32000 N

Komposit	Kondisi <i>isostrain</i>		Kondisi <i>non isostrain</i>	
	σ_m (MPa)	σ_b (MPa)	σ_m (MPa)	σ_b (MPa)
Beton normal dan mortar serat 0 %	1,407	2,216	1.715	1.909
Beton normal dan mortar serat 4 %	1,282	2,342	1.662	1.962
Beton normal dan mortar serat 8 %	1,002	2,621	1.463	2.160
Beton normal dan mortar serat 12 %	0,887	2,736	1.408	2.216

Perbandingan antara modulus elastisitas pada komposit pada beton normal dengan *repair* mortar dan tegangan komposit yang terdistribusi pada sisi beton dan mortar dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Persentase Tegangan yang Terdistribusi pada Sisi Beton dan Mortar pada Pembebanan 32000 N

% serat ban	% Modulus Elastisitas <i>Repair</i> Mortar Terhadap Modulus Elastisitas Beton	% Tegangan Terdistribusi pada Mortar dalam Kondisi <i>Isostrain</i>		% Tegangan Terdistribusi pada Mortar dalam Kondisi <i>Non Isostrain</i>	
		Mortar	Beton	Mortar	Beton
0	63,48	38.830	61.156	47.321	52.679
4	54,74	35.380	64.634	45.864	54.136
8	38,24	27.653	72.333	40.388	59.612
12	32,43	24.479	75.507	38.852	61.148



Gambar 4.5. Grafik Hubungan % Modulus Elastisitas Mortar terhadap Beton dengan % Tegangan Mortar

Gambar 4.5 menunjukkan semakin kecil % modulus elastisitas mortar terhadap modulus elastisitas beton semakin kecil % tegangan komposit yang tersalurkan ke mortar. Penambahan serat ban pada mortar menyebabkan modulus elastisitas mortar menurun terhadap beton, maka pengaruh serat ban terhadap distribusi tegangan adalah memperkecil tegangan yang akan tersalurkan pada sisi mortar.

Setiap penurunan modulus elastisitas mortar sebesar 10 % terhadap modulus elastisitas beton maka tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi mortar pada kondisi *isostrain* menurun sekitar 4,62 % sedangkan pada kondisi *non isostrain* akan menurun sekitar 2,84 %.

4.2. Pembahasan

Syarat yang harus dipenuhi oleh material *repair* adalah harus mempunyai kekuatan yang setara. Hasil pengujian kuat desak menunjukkan bahwa nilai kuat desak *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban pada umur satu hari jauh lebih rendah daripada kuat desak beton normal pada umur 28 hari, ini berarti bahwa kekuatan awal *repair* mortar belum setara dengan kekuatan beton sehingga perlu ditambahkan kadar *accelerator* yang lebih besar ke dalam campuran mortar agar kekuatan awal *repair* mortar bisa meningkat dan setara dengan kekuatan beton.

Serat ban terbuat dari karet, sifat karet itu sendiri antara lain elastis, lembut, fleksibel, daya plastisitasnya baik, daya tahan dan daya lengket yang baik. Penelitian ini menghasilkan data yang menunjukkan bahwa modulus elastisitas *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban pada umur satu hari lebih rendah daripada beton normal pada umur 28 hari.. Penurunan modulus elastisitas mortar terhadap beton pada setiap penambahan kadar serat ban sebesar 4 % adalah sekitar 10,964 %. Sedangkan penurunan modulus elastisitas *repair* mortar sendiri pada tiap penambahan serat ban sebesar 4 % adalah sebesar 17,145 %, hal ini disebabkan oleh penurunan kuat desak *repair* mortar yang menyebabkan terjadinya perbedaan tegangan-regangan yang berubah-ubah.

Pengujian modulus elastisitas pada benda uji komposit menunjukkan terdapatnya perbedaan regangan yang terjadi pada sisi beton dan sisi *repair* mortar, hal ini terjadi karena pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dan sudah mencapai kekuatan maksimalnya sedangkan *repair* mortar masih berumur satu

hari dan kekuatan awalnya belum setara dengan kekuatan beton. Perbedaan kekuatan kedua material pada komposit ini menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan dalam menahan tegangan-regangan yang terjadi akibat beban yang diberikan sehingga kondisi yang terjadi adalah *non isostrain*.

Distribusi tegangan yang terjadi dalam kondisi *isostrain* dan *non isostrain* menunjukkan bahwa semakin banyak kadar serat ban yang ditambahkan kedalam mortar, tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi mortar semakin kecil sedangkan tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi beton semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin banyak kadar serat yang ditambahkan, maka semakin kecil modulus elastisitasnya terhadap beton sehingga tegangan komposit akan yang tersalurkan ke sisi beton lebih besar daripada tegangan pada sisi mortar. Setiap penurunan modulus elastisitas mortar sebesar 10 % terhadap modulus elastisitas beton maka tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi mortar pada kondisi *isostrain* menurun sekitar 4,62 %, sedangkan pada kondisi *non isostrain* akan menurun sekitar 2,84 %.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari seluruh pengujian, analisis data, dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Penambahan serat ban ke dalam *repair* mortar menyebabkan nilai modulus elastisitasnya menurun. Penurunan nilai modulus elastisitas pada tiap penambahan serat ban sebanyak 4 % adalah sekitar 17,145 %.
- b. Nilai modulus elastisitas *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban pada umur satu hari lebih rendah daripada nilai modulus elastisitas beton normal. Penurunan modulus elastisitas *repair* mortar terhadap modulus elastisitas beton normal pada tiap penambahan serat sebanyak 4 % adalah sekitar 10,964 %.
- c. Perbedaan kekuatan material beton dan mortar pada komposit ini menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan dalam menahan tegangan-regangan yang terjadi akibat beban yang diberikan sehingga kondisi yang terjadi adalah *non isostrain*.
- d. Distribusi tegangan yang terjadi dalam kondisi *isostrain* dan *non isostrain* menunjukkan bahwa semakin banyak kadar serat yang ditambahkan kedalam mortar, tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi mortar semakin kecil sedangkan tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi beton semakin besar. Setiap penurunan modulus elastisitas mortar sebesar 10 % terhadap modulus elastisitas beton maka tegangan komposit yang tersalurkan ke sisi mortar pada kondisi *isostrain* menurun sekitar 4,62 %, sedangkan pada kondisi *non isostrain* akan menurun sekitar 2,84 %.

5.2. Saran

Salah satu syarat material *repair* yang dapat digunakan sebagai material *repair* bagian bangunan yang struktural adalah mempunyai modulus elastisitas yang setara dengan beton induknya sehingga akan diperoleh kekuatan yang sama, sedangkan pada pengujian modulus elastisitas *repair* mortar dengan bahan tambah serat ban diperoleh data yang menunjukkan nilai modulus elastisitas *repair* mortar lebih rendah daripada beton induknya. Hal ini disebabkan oleh umur beton normal pada saat pengujian adalah 28 hari sedangkan umur *repair* mortar adalah satu hari. Oleh karena itu, agar *repair* mortar dapat diaplikasikan pada umur satu hari diperlukan rancang campur *repair* mortar dengan kadar *accelelerator* tertentu yang dapat menambah kekuatan awal *repair* mortar sehingga setara dengan kekuatan beton induknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Yohanes L. D. Adianto., TB , Joewono., 2006, *Penelitian Pendahuluan Hubungan Penambahan Serat Polymeric terhadap Karakteristik Beton Normal*, Dimensi Teknik Sipil Vol. 8, No. 1, Maret 2006: 34 – 40.
- Anonim, 2008, *Beton Mutu Tinggi*, http://untarconstruction.com/perancangan_konstruksi.html.
- Anonymous, *Explosive Spalling Of Concrete : Towards A Model Resistant Design Of Concrete Elements*, Article, <http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina>.
- Anonymous, 1996, *Technical guidelines*, No. 03733.
- Henry Hartono, 2007, “*Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Gedung Bappeda Wonogiri*”, *Dinamika Teknik Sipil*. Volume 7, Nomor 1, Januari 2007 : 63 – 71, Surakarta.
- Johansson, T dan Täljsten B., 2005, *End Peeling Of Mineral Based Cfrp Strengthened Concrete Structures – A Parametric Study*, Proceedings of the International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures (BBFS 2005) Chen and Teng (eds) © 2005 International Institute for FRP in Construction.
- Kasno, 2006, *Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Campuran Beton (Tinjauan Terhadap Kuat Tarik Belah, Kuat Tekan, dan Modulus Elastisitas Beton Pada Konsentrasi Panjang Serat 8 cm, Berat Semen 350 kg/m³, Faktor Air Semen 0,5)*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Li, Guoqiang., 2004, *Waste Tire Fiber Modified Concrete*, Composites Part B : Engineering, January 5th 2004.
- McCormac, J.C., 2004, *Desain Beton Bertulang*, Jilid 2, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
- Mo Li and Li C. Victor., 2006, *Behavior of ECC/Concrete Layer Repair System Under Drying Shrinkage Conditions*, Restoration of Buildings and Monument, Vol. 12, No. 2, 143-160.
- Mosley, W.H. dan Bungey, J.H., 1989, *Perencanaan beton bertulang*, Edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Murdock, L.J., and Brook, K, M, (alih bahasa : Stephanus Handoko). 1991. *Bahan dan Praktek Beto.*, Erlangga, Jakarta.
- Paul Nugraha dan Antoni, 2007, *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Novan Prihasa, 2008, *Korosi pada Beton*, Makalah, <http://novanprihasa.wordpress.com>

- Sagel, R., Kole. P., dan Kusuma. G, 1994, *Pedoman Pengerjaan Beton berdasarkan SK-SNI T-15-1991-0*, Edisi keempat, Jakarta, Erlangga
- Van, Vlack, Lawrence H.,1994., *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi Kelima., Erlangga, Jakarta
- Wang, Chu-Kia dan Salmon, G, Charles.,1986. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Smith, F, William., 1996, *Principles Materials Science and Engineering*, 3th edition, McGraw hill inc. international edition.