

KERUSAKAN DAN PERKUATAN STRUKTUR BETON BERTULANG

Mohd Isneini¹

Abstract

Concrete made with Portland cement has been a popular constructing material all over the world for the past 180 years or more. However, cement mortar and concrete have some disadvantages such as delayed hardening, low tensile strength, low chemical resistance, large drying shrinkage. To reduce these advantages, many attempts to use polymers have been made. One such attempt is polymer-modified (or polymer cement) mortar or concrete, which is made by modifying ordinary portland cement with polymer additives such as latexes, redispersible polymer powders, water soluble polymer, liquid resin and monomers. In this paper will be introduced Types of damages occurred to Reinforced concrete structures, method of repaired and usage of polimer concrete as a material used for repairation. In Indonesia polymer concrete is not common yet to use as concrete mass because the cost needed to produce it is still high, so usage polimer for repairing is a choice to make it popular as a construction material.

Keywords: *polymer, modified, damages, repaired.*

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia penggunaan beton polimer sebagai bahan konstruksi masih belum banyak digunakan mengingat harganya yang masih relatif mahal, akan tetapi jika melihat pemakaian beton polimer yang dapat di aplikasikan untuk pemakaian anti korosif lantai misalnya perlu dipikirkan tanpa mempertimbangkan harga yang dikeluarkan. Barangkali suatu saat kita dapat menggunakan beton polimer sebagai beton massal. Penggunaan polimer sebagai bahan konstruksi umumnya masih terbatas sebagai bahan untuk perbaikan material. Dalam tulisan ini dilakukan dengan studi literatur terhadap artikel, leaflet, materi *short course* maupun majalah serta penelitian terkait yang telah dilakukan. Adapun tulisan ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran mengenai jenis-jenis kerusakan yang sering terjadi pada beton bertulang serta metode perbaikannya dengan menggunakan bahan polimer khususnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kerusakan yang terjadi pada beton

Kerusakan yang terjadi umumnya dapat dikelompokkan dalam tiga katagori yaitu:

Retak (*cracks*) adalah pecah pada beton dalam garis-garis yang relatif panjang dan sempit, retak ini dapat ditimbulkan oleh berbagai sebab: diantaranya : evaporasi air dalam campuran beton terjadi dengan cepat akibat cuaca yang panas, kering atau berangin. Retak akibat keadaan ini disebut *plastic cracking*, *Bleeding* yang berlebihan pada beton, biasanya akibat proses *curing* yang tidak sempurna. Retakan bersifat dangkal dan saling berhubungan pada seluruh permukaan pada plat, retak jenis ini disebut *crazing*. Pergerakan struktur, sambungan yang tidak baik pada pertemuan kolom dengan balok atau plat, atau tanah yang tidak stabil. Retakan bersifat dalam atau lebar, retak jenis ini disebut *random cracks* Reaksi antara alkali dan agregat, retakan yang terbentuk sekitar 10

¹ Staf Pengajar Jurusan teknik Sipil Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung

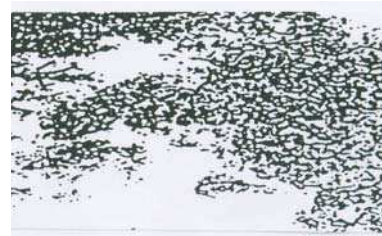
tahun atau lebih setelah pengecoran dan selanjutnya menjadi lebih dalam dan lebar, retakan saling berhubungan satu sama lain

Voids adalah lubang-lubang yang relatif dalam dan lebar pada beton. Void pada beton dapat ditimbulkan oleh berbagai sebab: diantaranya :Pemadatan yang dilakukan dengan vibrator kurang baik, karena jarak antar bekisting dengan tulangan atau jarak antar tulangan terlalu sempit sehingga bagian mortar tidak dapat mengisi rongga antara agregat kasar dengan baik. Void yang terjadi berupa lubang-lubang tidak teratur yang disebut *honey combing*. Bocor pada bekisting yang menyebabkan air atau pasta semen keluar, akan lebih parah jika campuran banyak mengandung air, atau banyak pasta semen atau gradasi agregat yang kurang baik. Keadaan ini disebut *sand streaking*

Scalling/spalling/erosion adalah kelupasan dangkal pada permukaan, yang dapat ditimbulkan oleh beberapa sebab, diantaranya: Eksposisi yang berulang-ulang terhadap pembekuan dan pencairan sehingga permukaan terkelupas, keadaan ini disebut *scalling* Melekatnya material pada permukaan bekisting sehingga permukaan beton terlepas dalam kepingan atau bongkah kecil, keadaan ini disebut *spalling* Terlepasnya partikel-partikel sehalus debu yang dapat terdiri dari semen yang sangat halus atau agregat yang sangat halus, terlepas akibat abrasi misalnya saat lantai disapu, hal semacam ini disebut *dusting*. Terdapatnya material organik dalam campuran, kontaminasi yang reaktif atau korosi pada tulangan dapat menimbulkan rongga pada beton yang disebut sebagai *popouts*, juga dapat disebabkan ekspansi agregat yang *pourous* segera setelah pengecoran sampai setahun lebih tergantung permeabilitas beton dan ketidakstabilan volume agregat yang digunakan. Disintegrasi beton pada titik-titik dimana terdapat aliran air turbulen akibat pecahnya gelembung-gelembung pada air, erosi seperti ini sering disebut *water cavitation*. Erosi oleh air dimana abrasi oleh benda-benda padat yang tersuspensi dalam air terhadap permukaan beton mengakibatkan disintegrasi beton sepanjang alur aliran air.



Gambar 1. Retak akibat reaksi alkali-agregat



Gambar 2 Scalling



Gambar 3 Voids-Honey combing

Jenis kerusakan lain yang biasanya terjadi pada komponen struktur penunjang bangunan sipil **adalah lekatan baja beton**; kekuatan lekatan dipengaruhi kekasaran permukaan baja, kualitas beton disekitar tulangan. Kegagalan lekatan berakibat menurunnya daya dukung komponen struktur terhadap beban yang bekerja, meningkatnya deformasi, bahkan runtuhnya struktur. Kegagalan lekatan bisa diakibatkan korosi pada tulangan, kebakaran, tipisnya selimut beton, jarak tulangan yang rapat serta diameter tulangan yang

besar dan gaya siklis akibat gempa. Korosi pada baja tulangan biasanya dikenali dengan bercak karat pada permukaan beton, korosi mudah terjadi pada lingkungan asam namun bila terdapat ion chlorida, proses karat dapat terjadi pada lingkungan basa. Kebakaran, pengaruhnya tergantung lama terjadinya serta tingginya temperatur. Pengaruh kebakaran terhadap kekuatan komponen beton yaitu menurunnya kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lekat baja serta ekspansi longitudinal dan radial. Sedangkan akibat gempa, saat terjadi gempa bukan saja diuji secara siklis namun beban yang bekerja pada komponen struktur telah mendekati batas kemampuan komponen dalam memikul beban yang bekerja. Kerusakan lain diakibatkan **serangan kimia** : penggunaan *fly ash* pada campuran beton berpotensi serangan kimia terutama lingkungan bersulfat, selain itu tegangan internal yang disebabkan oleh mengembangnya unsur akibat bereaksinya unsur tertentu pada beton, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dengan unsur kimia penyerang. Air laut mengandung sulfat yang secara kimiawi dapat menyerang beton, selain itu dapat juga berasal dari unsur asam SO_2 dan CO_2 yang bersifat melarutkan unsur semen pada beton. Kerusakan lain diakibatkan **penurunan pondasi**, sering dijumpai daya dukung tanah baik namun disertai konsolidasi besar. Dilain pihak ada daya dukung tanah tidak seragam di sebagian lokasi bangunan, menjadikan perbedaan penurunan pondasi, komponen yang sering rusak akibat penurunan pondasi adalah dinding pengisi. Sedangkan perkuatan merupakan upaya meningkatkan elemen struktur yang telah ada atau menambah elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak perlu saat struktur dibangun. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kerusakan.

2.2. Pemilihan Material untuk Perbaikan

Pemilihan material yang sesuai merupakan persyaratan yang absolut untuk menghasilkan perbaikan yang tahan lama, karena sifatnya dekat dengan beton yang akan diperbaiki, seringkali beton yang dibuat dengan semen Portland atau komposisi yang bersifat *cementitious* lainnya merupakan pilihan yang terbaik untuk material perbaikan. Namun kebutuhan lainnya seperti kondisi kerja tertentu, pencapaian kekuatan secara cepat, perbaikan yang memerlukan ketahanan terhadap serangan bahan kimiawi atau kebutuhan untuk memperoleh permukaan yang estetik seringkali mengakibatkan pilihan jatuh pada material lainnya.

Namun terkadang dalam perbaikan terdapat pilihan lebih dari satu material yang dapat digunakan dengan hasil yang sama, jika ini terjadi, pilihan terakhir terhadap material atau kombinasi material mesti dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan, penerapan biaya, ketersediaan keterampilan buruh dan peralatan. Pada umumnya tiga hal berikut harus diperhitungkan dalam mempertimbangkan pemilihan material yang akan digunakan: kondisi perbaikan, sifat-sifat material perbaikan, dan keterampilan serta peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan perbaikan.

2.3. Sifat-sifat yang dibutuhkan pada Material Perbaikan

a. Stabilitas Dimensional

Salah satu persyaratan utama bagi perbaikan yang berhasil adalah adanya lekatan yang sempurna antara material yang baru dan beton atau *substrate* yang ada di bawahnya. Rusaknya lekatan ini biasanya disebabkan oleh terjadinya perubahan dimensional akibat susut. Susut yang terjadi pada beton biasanya diperhitungkan dengan memberikan sambungan (*joint*) yang dapat mengontrol keretakan. Sementara itu sebagian besar perbaikan dilakukan pada beton lama yang sudah tidak mengalami susut lagi sehingga material yang digunakan untuk perbaikan harus bebas dari susut atau dapat menyusut tanpa merusak lekatan dengan beton lama.

b. Koefisien Ekspansi Thermal

Semua material akan berekspansi dan berkontraksi apabila terjadi perubahan temperatur. Untuk suatu perubahan temperatur tertentu, besar ekspansi serta kontraksi ini tergantung dari koefisien ekspansi thermal material. Koefisien ekspansi thermal untuk beton adalah 0,000006 s.d 0,000012 $\text{cm}^{\circ}\text{C}$. Jika komposit dari dua material yang memiliki koefisien thermal yang jauh berbeda mengalami perubahan temperatur yang berarti, perbedaan dalam perubahan volume ini akan mengakibatkan kerusakan pada garis lekatan atau di dalam penampang yang memiliki kekuatan yang lebih rendah.

c. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas suatu material merupakan ukuran bagi kekakuannya. Material dengan modulus elastisitas yang tinggi tidak berdeformasi sebanyak material dengan modulus elastisitas yang lebih rendah ketika menerima beban. Bila dua material dengan modulus elastisitas yang jauh berbeda berada dalam kontak satu terhadap yang lain material dengan modulus elastisitas lebih rendah cenderung untuk meleleh atau melengkung/mengelembung ketika menerima beban. Selain beban luar yang dapat menimbulkan kerusakan pada komposit dengan perbedaan modulus elastisitas yang besar, susut atau pergerakan thermal pun dapat mengakibatkan hilangnya lekatan (*bond*) kecuali bila modulus elastisitas material perbaikan cukup rendah sehingga memungkinkan pergerakan tanpa menimbulkan tegangan yang ekksesif pada garis lekatan.

d. Permeabilitas

Permeabilitas berhubungan dengan kemampuan material untuk melakukan cairan atau uap. Beton berkualitas baik secara relatif bersifat tidak permeabel terhadap cairan tetapi dapat mentransmisikan uap secara bebas. Bila suatu material yang tidak permeabel digunakan untuk tamalan yang besar, *overlay* atau lapisan permukaan (*surface coating*), uap lembab yang naik ke atas melalui beton yang terdapat di dasar akan terperangkap diantara beton dan perbaikan tersebut. Kelembaban yang terperangkap dapat mengakibatkan kerusakan pada garis lekatan atau pada material yang lebih lemah. Material yang tidak permeabel juga umumnya harus dihindarkan pada perbaikan beton yang rusak akibat koprosi pada tulangan.

2.4. Jenis-jenis Material untuk perbaikan

Pada masa ini tersedia sejumlah besar pilihan material yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan pada struktur beton, diantaranya yang utama adalah:

a. Material-material yang *Cementitious*

Material ini berkisar dari mortar dan *grout* serta beton yang konvensional sampai kepada material dengan sifat-sifat yang diperbaiki sesuai kebutuhan dengan menggunakan *admixtures*. Penggunaan *admixtures* antara lain dapat menghasilkan sifat-sifat kohesif, pencapaian kekuatan secara cepat, kelecakan yang lebih tinggi, daya tahan terhadap terucunya semen dan pengurangan *bleeding* serta susut.

Material perbaikan yang termasuk dalam jenis ini antara lain:

- Beton, mortar atau *grout*, beton terutama digunakan untuk penggantian total penampang atau untuk memperbaiki rongga-rongga yang dalam sampai melalui tulangan beton. Sedangkan mortar dapat digunakan untuk perbaikan rongga-rongga sampai sekecil 4 cm. *Grout* memiliki keuntungan karena bersifat encer dan dapat dipompa sampai kebagian yang tidak terlihat sekalipun, namun *grout* memiliki kandungan air yang tinggi dan konsekuensinya mengalami penyusutan lebih besar dibanding mortar atau beton.

- Beton, dan mortar yang dimodifikasi dengan menambahkan *latex*, merupakan material perbaikan yang sangat berguna untuk melapisi kembali permukaan lantai bangunan atau lantai jembatan yang rusak. Material seperti ini dikenal dengan sebutan beton latex (*latex concrete*) atau *latex-modified concrete* dan pada akhir-akhir ini sering dikenal sebagai *polimer modified concrete*. (Material ini harus dibedakan dari *polymer concrete* yang mengandung polimer yang tidak ditambahkan dalam bentuk *latex*..

- Beton, mortar atau *grout* yang dimodifikasi dengan menambahkan polimer, polimer ditambahkan sebagai matrik memiliki beberapa keuntungan bagi pekerjaan perbaikan, keuntungan-keuntungan ini meliputi: kekuatan yang tinggi pada umur dini, kemampuan untuk dicor pada temperature dibawah titik beku memiliki kekuatan lekat yang baik, durabilitas yang tinggi walaupun bila harus digunakan pada kondisi yang akan merusak beton biasa. Sebagai polimer biasanya digunakan *epoxy*, *polyurethane*, *unsaturated polyester*, *methyl methacrylate* dan lain-lain.

Beton, mortar atau *grout* yang harus memiliki sifat tertentu untuk suatu tipe perbaikan dapat dibuat menggunakan semen khusus misalnya semen dengan kandungan alumina yang tinggi akan mengalami *setting* dalam 2 s.d 4 jam dan dapat mencapai kuat tekan sebesar 22 Mpa dalam 6 jam. Beton, mortar atau *grout* yang dibuat dengan bahan ini memiliki daya tahan terhadap perusakan asam, sulfat, alkali, air laut dan minyak. Semen Portland tipe III yang dipakai dengan *accelerator* akan menghasilkan bahan yang sesuai untuk pekerjaan perbaikan yang cepat. Selain itu semen *magnesium phosphate* baik untuk pekerjaan penambalan.

- *Dry Pack*, istilah ini biasanya digunakan untuk mortar dengan bahan dasar semen *Portland* dengan kandungan air yang cukup rendah sehingga tidak mengalami *slump*. Sebenarnya setiap material yang dapat digunakan dengan konsistensi sedemikian rupa sehingga tidak mengalami *slump* (*no-slump consistency*) dapat disebut *dry pack*,

- Beton serat, beton serat memiliki kekuatan tarik, kekuatan lentur, daya tahan terhadap dampak dan daya tahan terhadap abrasi yang lebih baik daripada beton biasa. Serat yang digunakan dapat berupa metal, plastic, gelas atau serat natural.

- *Shotcrete*, atau yang juga biasa disebut *sprayed concrete* atau *sprayed mortar* terdiri dari bahan-bahan pembentuk yang sama seperti beton yaitu semen, agregat dan air. Perbedaan *Shotcrete* dengan beton biasa adalah bahwa *Shotcrete* biasanya menggunakan agregat kerikil yang bulat dan kandungan semennya lebih tinggi, selain itu water-cement rasio dari *Shotcrete* lebih rendah- sekitar 0,4.

b. Material yang berbahan dasar resin: Epoxy

Material ini umumnya dibuat atas dasar *epoxy resin* dan meliputi resin untuk injeksi (*injection resins*), mortar yang dapat dicor dan pasta yang dapat diterapkan dengan tangan. *Epoxy mortar* terdiri dari resin *hardener* dan *filler* yang terdiri dari pasir halus, sedangkan *epoxy concrete* terdiri dari resin, *hardener*, pasir halus dan agregat kasar ukuran kecil.

c. **Elastomeric Sealants**

Bila retak yang diperbaiki mengalami pergerakan yang berarti, pilihan untuk material yang digunakan sering jatuh pada material ini. Dua tipe *elastomeric sealant* yang biasa dipakai : *hot-applied*, yang biasanya merupakan campuran material yang bituminous dengan karet yang kompatibel, *cold applied* yang dapat didasarkan atas berbagai material dan biasanya harus dicampur di lapangan.

d. **Silicones**

Biasanya digunakan sebagai material perbaikan untuk masalah uap air melalui dinding. Ada dua cara pembuatannya yaitu dengan melarutkan bahan *silicone* padat pada suatu pelarut atau membuat garam alkali dari asam *siliconic* dan melarutkannya dalam air. Larutan material ini disemprotkan ke dinding dengan kecepatan $3\text{m}^2/\text{ltr}$ dan ketika pelarutnya menguap, silicon resin tertinggal di dalam struktur pori dinding.

e. **Bentonite**

Merupakan bubuk batuan yang diambil dari debu vulkanik yang mengandung mineral tanah liat dengan persentase tinggi terutama *sodium bentonite*. Material ini dapat mengabsorpsi air dalam kuantitas banyak dan mengembang sampai 30 kali volumenya semula dan membentuk massa yang menyerupai *jelly* yang efektif berfungsi sebagai penghalang air.

f. **Bituminous Coating**

Yang berbahan dasar aspal atau *coal tar* sering digunakan sebagai *waterproofing* pada beton atau untuk perlindungan terhadap pelapukan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah bangunan sipil berdiri terdapat beberapa kegiatan penting yang harus dilakukan yakni: pemeliharaan, perbaikan dan perkuatan, yang mana kegiatan tersebut dilakukan untuk menambah masa layan bangunan. Secara singkat tujuan masing-masing kegiatan tersebut: **pemeliharaan** memungkinkan struktur untuk tetap berfungsi sesuai rencana dan memenuhi kinerja standar, **perbaikan** dilakukan untuk mengembalikan fungsi dan kinerja struktur seperti semula, **perkuatan** untuk meningkatkan kekuatan/kekakuan dan kestabilan struktur yang telah ada.

Perbaikan struktur diperlukan apabila kerusakan yang terjadi menyebabkan degradasi terhadap hal-hal berikut ini: Kekuatan, kekakuan, stabilitas, ketahanan terhadap kinerja tertentu, dan fungsi struktur. Tahapan kegiatan dalam melakukan perbaikan dan perkuatan terhadap struktur beton bertulang, diantaranya kajian kerusakan, struktural, ekonomi dan kajian lainnya. Dalam kajian kerusakan diperlukan langkah-langkah yang mesti dilakukan:

Pengamatan Lapangan, yang dilakukan di lokasi bangunan untuk mendapatkan informasi actual mengenai: lokasi kerusakan pada struktur, jenis kerusakan, kondisi beton dan baja/tulangan. **Informasi dan catatan mengenai struktur**, sangat diperlukan dalam hal perbaikan/perkuatan struktur, kondisi yang akurat mengenai struktur bangunan yang diperoleh dari gambar pelaksanaan (*as built drawing*) serta dokumen/catatan yang dibuat semasa pelaksanaan pembangunan maupun masa pemeliharaan. **Pengujian struktur**, dilakukan untuk memperoleh informasi lebih jelas mengenai tingkat kerusakan dan

kondisi struktur, dilakukan beberapa pengujian terhadap elemen beton bertulang yang rusak maupun terhadap struktur secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan dapat berupa pengujian merusak (*destructive testing*) atau pengujian tak merusak (*Non destructive testing*), adapun informasi yang diperoleh melalui pengujian ini diantaranya: lebar dan kedalaman retak, kondisi beton, potensi korosi baja, kuat tekan beton, modulus elastisitas beton, daya dukung struktur. **Diagnosa penyebab kerusakan**, penyebab kerusakan harus dapat dinyatakan secara jelas sebelum dilakukan kajian lanjut mengenai upaya perbaikan/perkuatan yang akan dilakukan. Diagnosa yang kurang tepat mengenai penyebab kerusakan akan mengurangi efektifitas upaya perbaikan bahkan memperburuk kondisi struktur.

Sedangkan dalam kajian struktural tahapan yang dilaksanakan meliputi: identifikasi kerusakan struktur, evaluasi kinerja struktur eksisting dan usulan alternatif-alternatif teknis. Dalam **identifikasi kerusakan struktur** ditentukan dengan jelas mengenai pengaruh kerusakan yang terjadi terutama terhadap bahaya keruntuhan struktur, sedang dalam **evaluasi kinerja struktur** perlu adanya penyampaian informasi kepada pemilik/pengelola bangunan mengenai kemampuan sisa memikul beban, besarnya tegangan kerja, kekakuan elemen dan system struktur, daktilitas elemen dan struktur serta ketahanan struktur. Untuk perumusan **usulan alternatif teknis** bagi upaya perbaikan/perkuatan dilakukan setelah pemeriksaan visual di lapangan hingga evaluasi kinerja struktur eksisting, dimana dalam usulan tersebut mempertimbangkan jenis dan spesifikasi material serta metode pelaksanaan perbaikan.

Dalam kajian ekonomi berisikan usulan biaya meliputi biaya material, pelaksanaan maupun biaya lain termasuk pemeliharaan serta aspek finansial lain seperti pendanaan, bunga pinjaman dsb, dimana info ini penting bagi bangunan yang disewakan. Sedangkan kajian lainnya dengan mempertimbangkan fungsi bangunan bagi pengguna, ketersediaan alat, teknik, bahan dan pelaksana serta waktu pelaksanaan dan aspek estetika struktur

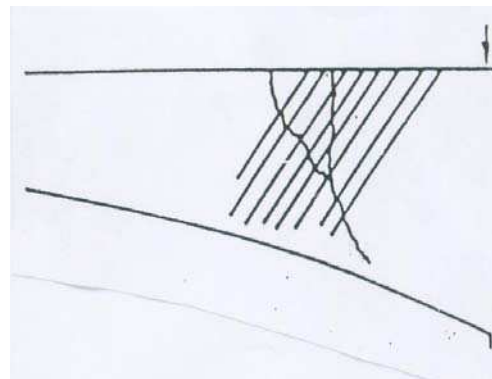
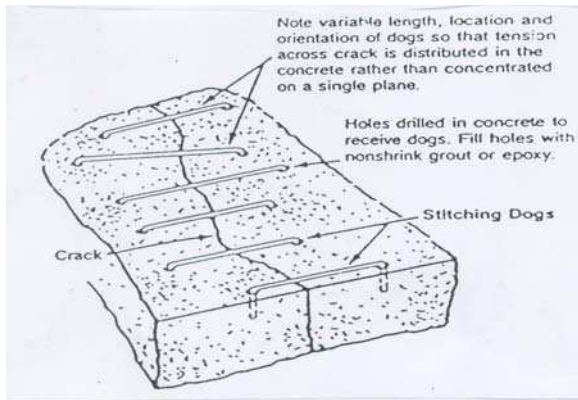
Teknik Perbaikan

Berikut ini disajikan beberapa teknik perbaikan untuk menangani kerusakan yang umum terjadi pada beton:

- a. *Acid Etching*, merupakan teknik yang dapat digunakan untuk mempersiapkan permukaan beton asli yang akan menerima penerapan material perbaikan atau untuk mengkasarkan permukaan licin yang akan dikerjakan. Untuk kebutuhan ini biasanya dipakai *muratic acid* yang dilarutkan kemudian dituang ke permukaan beton dan disapu dengan kuat sehingga tidak timbul gelembung-gelembung lagi, lalu permukaan segera dibersihkan dengan menyiramkan air.
- b. *Caulking*, teknik yang digunakan untuk menangani perbaikan terhadap retak dengan ukuran kecil atau menengah dimana secara keseluruhan tidak perlu dibobok atau diganti. Dengan cara ini retak yang sempit pada beton diisi material yang bersifat plastic, bukan yang mengalir dengan mudah seperti *grout* atau yang kaku seperti *dry pack mortar*.
- c. *Routing dan Sealing*, teknik ini digunakan untuk memperbaiki retak yang bersifat *dormant* dan tidak memiliki signifikansi structural. Dengan metode ini retak diperbesar sepanjang permukaan yang terekspos dan mengisinya dengan *joint sealant* yang sesuai. Sebagai *sealant* dapat dipilih senyawa *epoxy*, selain itu dapat digunakan *urethane* yang akan tetap flexibel pada perubahan temperatur yang besar.

- d. *Coating*, pada cara ini beton dilapisi dengan material bersifat plastic atau cair yang kemudian membentuk lapisan yang menyelimuti beton yang menghadapi lingkungan yang membahayakan. *Coating* dapat diterapkan dengan cara menyikat, *rolling*, atau menyemprot. Penggunaan umum *coating* antara lain untuk *waterproofing*, melindungi beton dari bahan kimia agresif atau untuk memperoleh masa guna lebih panjang pada beton yang memikul beban lalu lintas
- e. Penggantian secara konvensional: material dengan konsistensi plastic, beton yang rusak dapat diganti dengan mortar berkonsistensi plastic yang dibuat atas dasar semen *Portland*, atau beton, atau material penambal yang bersifat plastic lainnya (*bukan elastomeric*). Beton asli dapat dibuang sebagian atau seluruhnya tergantung besarnya dan sifat kerusakan.
- f. Penggantian secara konvensional: *dry pack*, Prosedur serupa seperti butir e, namun material yang digunakan tidak memiliki *slump (no slump)* yang disebut *dry pack*. Material ini dipadatkan kepada daerah yang harus diperbaiki. Cara ini sesuai untuk memperbaiki rongga-rongga yang dalam dan tidak lebar serta tidak dibalik penghalang maupun tulangan beton dengan kata lain yang aksesibilitasnya baik karena dalam hal ini bekisting tidak dibutuhkan.
- g. *Grinding*, bila permukaan suatu plat beton tidak mulus kedatarannya atau bila plat tersebut memiliki lubang atau retak yang dangkal maka teknik ini yang dapat digunakan. Namun cara ini lambat, serta mahal dan menimbulkan debu sehingga cara lain yang juga dapat dipertimbangkan adalah *acid etching*.
- h. Injeksi, retak-retak yang sempit dapat diperbaiki dengan menyuntikkan *epoxy resin*. *Methyl methacrylate resins* juga sering dipakai, injeksi ini digunakan bila retak bersifat *dormant* atau dapat dicegah untuk bergerak lebih lanjut.
- i. *Jacketing*, pada cara ini material dilekatkan dengan menggunakan pengencang pada beton. Material ini dapat berupa metal, karet plastic, atau beton dengan kekuatan tinggi. Pengencangan dilakukan dengan baut, paku, sekrup, adhesive atau *straps*.
- j. *Prepack concrete*, atau disebut juga *preplaced aggregate concrete*. Pada teknik ini agregat yang bersifat *gap graded* dipadatkan pada suatu lubang dan direndam dengan air untuk menjadikan aggregate jenuh, kemudian mortar atau *grout* dipompakan dari dasar sehingga menggantikan tempat air.
- k. *Resurfacing (overlaying)*: tipis atau biasa, suatu lapisan (*overlay*) material perbaikan yang seragam diterapkan pada area beton yang luas. Cara ini digunakan untuk memperbaiki lantai dan perkerasan jalan yang secara struktur masih baik namun permukaan rusak akibat siklus pembekuan-pencairan ataupun lalu lintas berat, terkadang digunakan untuk plat yang akan ditinggikan permukaannya. Ketebalan lapisan yang < 5 cm dikategorikan tipis dan yang > 5 cm dikategorikan biasa.
- l. *Resurfacing (overlaying)*: *bonded* atau *unbonded*, pada saat akan dilakukan *resurfacing*, perlu ditentukan apakah lapisan akan dilekatkan (*bonded*) atau tidak. Bila kerusakan merupakan fenomena permukaan seperti *spalling* atau *scalling* biasanya disarankan dilekatkan. Sebaliknya bila masalah melibatkan retak atau pergerakan struktur mungkin dipilih lapisan yang tidak dilekatkan pada permukaan agar tidak mengganggu plat dasar. Pemisahan antara lapisan atas dengan plat dasar dapat memakai pasir, lembaran *polyethylene* atau keduanya sehingga kedua lapisan dapat bergerak secara bebas.

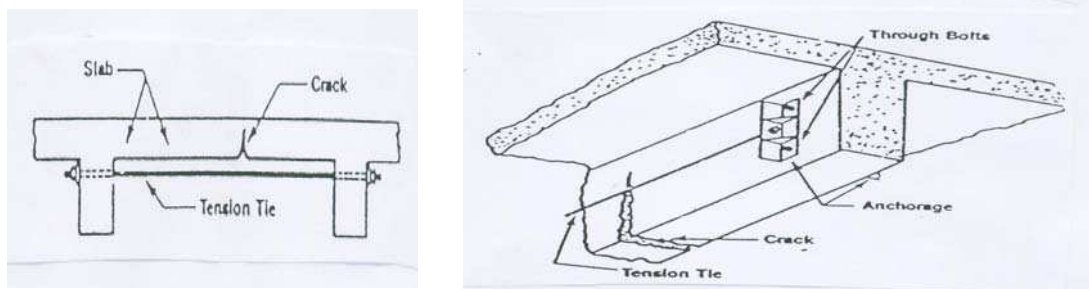
- m. *Shotcreting*, pada cara ini beton atau mortar ditembakkan dengan tekanan pada lubang atau permukaan beton yang akan diperbaiki yang dilakukan dengan memompa seluruh material yang telah dicampur melalui pipa kemudian menembakkan/memompa bahan atau mortar yang masih kering lalu mencampurnya dengan air pada bagian *nozzle*. pembentuk beton
- n. *Stitching*, digunakan untuk memperbaiki retak yang besar dimana kontinuitas struktur dan kekuatan tarik harus dikembalikan seperti semula. Pada teknik ini digunakan *dogs* (metal berbentuk U dengan kaki pendek) diletakkan melalui retak dan diangker pada lubang-lubang dengan menggunakan *grout* atau system perekat berdasarkan *epoxy resin* yang tidak menyusut. *Dogs* dengan beberapa ukuran yang berbeda diletakkan di sepanjang bidang-bidang yang berbeda untuk menghindari konsentrasi tegangan. *Stitching* Tidak akan menutup retak tetapi menghindarkan penyebarannya. Bila terdapat masalah air, retak harus ditutup sehingga tahan air sebelum melakukan untuk mencegah korosi pada *Stitching dogs*.



Gambar 4 Perbaikan retak dengan *stitching* , penambahan tulangan

Gambar 5 Perbaikan retak dengan

- o. Penambahan tulangan, pada cara ini mula-mula retak ditutup, lalu lubang-lubang dibuat dengan bor melalui bidang retak pada arah kurang lebih 90° . Lubang-lubang dan bidang retak kemudian diisi epoxy yang dipompa dengan tekanan rendah dan selanjutnya tulangan diletakan pada lubang-lubang tersebut. Epoxy akan merekatkan kembali permukaan beton yang retak dan akan mengangker tulangan.
- p. *External prestressing*, bila daerah yang retak terlalu luas untuk menerapkan *Stitching* dan retak harus ditutup, metode *post tensioning* sering dapat digunakan. Pada cara ini batang atau kabel *prestressing* ditanam pada beton yang rusak, memberikan tegangan padanya sampai suatu tegangan tarik tertentu lalu mengangkerkannya sehingga elemen yang rusak mendapat gaya tekan.



a) To correct cracking slab

b) To correct cracking of beam

Gambar 6. Perbaikan retak dengan *External prestressing*

q. *Autogenous healing*, suatu proses natural perbaikan retak yang dikenal sebagai dapat terjadi pada beton bila lingkungan sekitarnya bersifat lembab dan tidak ada tegangan tarik atau pergerakan. Proses ini akan menutup retak yang bersifat dormant di dalam lingkungan yang lembab. Perbaikan ini tergantung dari terjadinya proses karbonisasi dari calcium hydroxide di dalam pasta semen oleh carbon dioxide yang ada di dalam udara atau air sekelilingnya. Pelekatan kimiawi dan mekanik yang terjadi antara kristal dan permukaan pasta serta agregat akan mengembalikan sebagian kekuatan tarik beton melalui penampang retak dan retak akan tertutup.

Sedangkan teknik rehabilitasi dengan metode *prepacked concrete* disarankan untuk perbaikan elemen struktur dengan kerusakan yang cukup parah. Misalnya, pada suatu lokasi yang elemen struktur betonnya harus dibongkar dan diganti beton baru. Pelaksanaannya, pada ruang kosong hasil pembongkaran, disiapkan bekisting untuk membentuk massa beton baru, yang berfungsi mempersatukan bagian yang telah dibongkar tadi, selanjutnya pada ruang kosong diisi split (batu pecah) hingga penuh. Kemudian diinjeksikan pasta semen agar diperoleh beton *prepacked* baru, yang dapat menggantikan volume beton yang dibongkar. Pada tabel berikut disajikan rangkuman berbagai metode perbaikan serta material yang dipakai untuk memperbaiki kerusakan pada beton bertulang.

Tabel 1 Metode dan Material untuk Perbaikan Beton

Kerusakan	Metode Perbaikan	Material
Retak yang hidup (<i>Live/active crack</i>)	- <i>Caulking</i>	<i>Elastomeric Sealer</i>
	-Injeksi bertekanan menggunakan <i>flexible filler</i>	<i>flexible epoxy filler</i>
	- <i>Jacketing (strapping)</i>	Kawat atau batang baja
	- <i>Overlaying</i>	Membran atau mortar khusus
	- Perkuatan	Plat baja, <i>post tensioning</i> , <i>stitching</i> , dsb
Retak yang "dormant"	- <i>Caulking</i>	<i>Cement grout</i> atau mortar, <i>fast setting mortar</i>
	-Injeksi bertekanan menggunakan <i>rigid filler</i>	<i>rigid epoxy filler</i>
	- <i>Coating</i>	<i>Bituminous coating</i> , tar
	- <i>Overlaying</i>	<i>Asphalt overlay</i> dengan membran
	- <i>Grinding</i> dan <i>overlaying</i>	<i>Latex modified concrete</i> , beton sangat padat
	- <i>Dry pack</i>	<i>Dry pack</i>

	- Shotcrete	Mortar(semen), <i>fast setting mortar</i> , Mortar semen, beton epoxy atau poyimer
	- Jacketing (strapping)	Batang baja
	- Perkuatan	<i>post tensioning</i> dsb
	- Rekonstruksi	Sesuai kebutuhan
- Voids	- Dry pack	- Dry pack
-Honeycombs	- Patching -	PC grout, mortar atau semen
	- Resurfacing	Beton epoxy atau polymer
	- Shotcrete	Fast setting mortar
	- Preplaced aggregate	Agregat kasar dan grout
	- Penggantian	Sesuai kebutuhan
Scalling	- Overlaying	Beton, latex modified concrete, semen aspal, epoxy atau polymer concrete
	- Shotcrete	Fast setting mortar, mortar semen
	- Coating	Bituminous coating
	- Penggantian	Sesuai kebutuhan
Spalling	- Patching -	Beton epoxy, polymer, latex, aspal
	- Shotcrete	mortar semen, Fast setting mortar
	- Overlay	latex modified concrete, beton aspal, beton
	- Coating	Bituminous coating
	- Penggantian	Sesuai kebutuhan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dalam perbaikan pada suatu struktur haruslah ditentukan terlebih dahulu penyebab kerusakan, kemudian metode apa yang akan digunakan serta material perbaikan yang tepat, sehingga hasil dari perbaikan tersebut akan menghentikan kerusakan pada struktur, dapat mengembalikan integritas struktur serta hasil akhir perbaikan secara estetik dapat diterima. Dalam langkah perbaikan harus diupayakan agar penyebab kerusakan dihilangkan atau diminimalkan.

4.2. Saran

Hindari penundaan pelaksanaan perbaikan struktur sehingga akan memperburuk kondisi struktur yang pada akhirnya dapat meningkatkan biaya perbaikan yang diperlukan. Dalam pelaksanaan perbaikan haruslah disertai dengan pengawasan dan dokumentasi yang baik,.

DAFTAR PUSTAKA

- Bijen (editor),” *Maintenance and Repai of Concrete Structures*”, Heron Vol. 34,1989
 Isneini M ;”Analisis Faktor Redaman Beton Polimer terhadap modulus Elastisitas Tekan dan Modulus Elastisitas Lentur ”, Jurnal Wahana Teknik, UII, Vol 7 no 2 Agustus 2005, Yogyakarta
 Mangkoesobroto P Sindur :”Jenis-jenis Kerusakan pada Struktur Beton Bertulang”, Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi Bandung 1998.

- Moestopo M :”Overview dan Prosedur Perbaikan/Perkuatan Struktur Beton Bertulang”,
Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi
Bandung 1998.
- Majalah Konstruksi :”Evaluasi Bangunan yang Mengalami Kebakaran”, Desember 1998.
- Suarjana Made :”Perkuatan Struktur Beton Bertulang”, Laboratorium Mekanika Struktur
PAU Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi Bandung 1998.
- Tamin F Puti :”Perbaikan Struktur Beton Bertulang”, Laboratorium Mekanika Struktur
PAU Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi Bandung 1998.
- Tim peneliti beton polimer, Leaflet 001: ”JDB Polymer Base, *Concrete Repairing
Material*”. Institut teknologi Bandung, juni 1999.
- Y.Ohama, M Kawakamo, K Fukuzawa, ”Polymers in Concrete”, E&FN SPON,1997