

Studi Tentang Perbaikan Beton pada Struktur di Bawah Air

Oleh: Eva Khuzaifah *)

Abstrak

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Beton yang digunakan pada struktur di bawah air terutama air laut cenderung lebih mudah rusak, hal ini dikarenakan beton yang mengalami perawatan dengan air laut memiliki kekuatan awal yang lebih tinggi dari pada beton yang mengalami perawatan dengan air tawar, namun setelah itu kekuatannya akan lebih rendah dan semakin tinggi mutu beton maka perbedaan kuat tekan antara beton yang mengalami perawatan dengan air laut akan semakin berbeda jauh dengan kuat tekan beton yang mengalami perawatan dengan air tawar. Kerusakan beton yang paling sering terjadi adalah retakan dan terkorosinya tulangan pada beton. Metode yang dapat dilakukan untuk perbaikan beton antara lain adalah dengan injeksi, perawatan permukaan beton, dan penggantian material yang rusak

Kata kunci : beton, material, perbaikan

A. Pendahuluan

Beton banyak digunakan sebagai bahan bangunan di daerah sekitaran laut seperti jembatan, dermaga, pemecah gelombang (*break water*), *piers*, *jetties* dan sebagainya. Di dalam proses pembuatan bangunan tersebut, kontak dengan air laut kadang tidak dapat dihindarkan termasuk ketika beton masih dalam proses perawatan (*curing*).

Air laut sendiri mengandung 3,5% garam-garaman yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida (Hidayat, 2011:3). Kandungan klorida (Cl) yang begitu tinggi pada air laut merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton. Kerusakan

dapat terjadi pada beton akibat reaksi antara air laut yang agresif yang terpenetrasi ke dalam beton dengan senyawa-senyawa di dalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan.

B. Rumusan Masalah

Pada tulisan ini rumusan masalah adalah : Metode apakah yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan beton pada struktur di bawah air?

C. Beton

Beton adalah campuran semen portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tan-

pa menggunakan bahan tambahan (Pedoman Beton, 1971). Berdasarkan beratnya, beton diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Beton normal (normal weight concrete), yaitu beton dengan berat sekitar 2400 kg/m³.
2. Beton ringan (light-weight concrete), yaitu beton dengan berat kurang dari 1800 kg/m³.
3. Beton berat (heavy-weight concrete), yaitu beton dengan berat lebih dari 3200 kg/m³.

Susunan beton secara umum terdiri dari : 7 – 15% PC, 16 -21% air, 25 – 30% pasir , dan 31 – 50% kerikil. Kekuatan beton terletak pada perbandingan jumlah semen dan air, rasio perbandingan air terhadap semen (*W/C ratio*) yang semakin kecil akan menambah kekuatan (*compressive strength*) beton, selama campuran cukup plastis dan beton dapat dipadatkan secara sempurna dengan agregat yang baik. Sifat dan karakter mekanik beton secara umum adalah sebagai berikut :

1. Beton sangat baik menahan gaya tekan (*high compressive strength*), tetapi tidak begitu pada gaya tarik (*low tensile strength*) bahkan kekuatan gaya tarik beton hanya kurang lebih 10% dari kekuatan gaya tekannya.
2. Beton tidak mampu menahan gaya tegangan (*tension*) yang tinggi, karena elastisitasnya rendah.
3. Konduktivitas termal beton relatif rendah.

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur, hal ini dikarenakan beton memiliki faktor-faktor yang menjadi keunggulannya, antara lain :

1. Kemudahan pengolahannya yaitu dalam keadaan plastis, beton dapat diendapkan dan diisi dalam cetakan.

2. Material yang mudah didapat. Sebagian besar dari material-material pembentuknya, biasanya tersedia di lokasi dengan harga murah atau pada tempat yang tidak terlalu jauh dari lokasi konstruksi.
3. Kekuatan tinggi.
4. Daya tahan yang tinggi terhadap api dan cuaca.

Pada bangunan tepi pantai dan bangunan yang bersinggungan dengan tanah biasanya digunakan beton dengan mutu tinggi. Hal ini dimaksudkan agar penetrasi air laut ke dalam beton menjadi semakin sulit karena tingkat kepadatan beton yang tinggi. Sehingga kekuatan beton yang berada di lingkungan laut tidak mengalami perubahan.

D. Kerusakan Beton

Diantara masalah yang sering dijumpai adalah masalah keretakan yang terjadi pada bahan tersebut. Keretakan pada beton bertulang dapat timbul pada saat pra-konstruksi dan pasca konstruksi.

Sebenarnya setiap beton bertulang yang diaplikasikan pada struktur bangunan pasti akan terjadi retakan, yang harus dipertimbangkan adalah apakah retakan tersebut dapat ditolerir karena tidak berbahaya atau retakan tersebut membahayakan struktur bangunan secara keseluruhan. Keretakan pada beton bertulang ini disebabkan oleh beberapa hal, karena pengaruh dari sifat beton itu sendiri maupun faktor lingkungan luar yang mempengaruhi beton secara langsung.

Dilihat dari jenis retakannya, ada dua jenis keretakan pada beton bertulang yaitu retakan yang terjadi saat pembuatan beton dan retakan yang terjadi setelah beton selesai dibuat.



Gambar 1. Keretakan Pada Struktur Beton Bertulang

Faktor-faktor penyebab keretakan beton yang terjadi saat pembuatan beton bertulang, antara lain adalah :

1. Sifat Beton

Pada saat awal pembuatan beton bertulang dengan pencampuran bahan penyusunnya seperti kerikil, pasir, air, semen, dan baja tulangan. Dalam proses pengerasannya beton akan mengalami pengurangan volume dari volume awal. Umumnya hal ini disebabkan air yang terkandung pada campuran beton akan mengalami penguapan sebagian yang mengurangi volume beton bertulang tersebut.

Sehingga apabila dikondisikan pada saat beton mengalami pengerasan dan akibat dari volume beton berkurang yang akan menyebabkan penyusutan pada beton tetapi beton tersebut dibiarkan untuk menyusut tanpa adanya pembebanan maka beton pun tidak akan mengalami keretakan. Tetapi pada kondisi sebenarnya dilapangan tidak ada beton yang tidak mengalami pembebanan. Karena tidak ada balok atau kolom pada bangunan yang berdiri sendiri melainkan akan bersambung satu sama lain dan hal ini akan membuat beton bertulang bekerja menahan beban-beban pada bangunan. Sehingga apabila pada kondisi saat beton mengalami penyusutan volume kemudian terjadi pembebanan, maka retakan pun tidak dapat dihindari.

2. Suhu

Tidak dapat diabaikan suhu juga dapat menyebabkan keretakan pada beton bertulang. Maksud suhu disini adalah suhu campuran beton saat mengalami perkerasan. Karena pada saat campuran beton bertulang mengalami perkerasan suhu yang timbul akibat reaksi dari air dengan semen akan terus meningkat. Sehingga pada saat suhu campuran beton ini terlalu tinggi, pada saat beton sudah keras sering timbul retak-retak pada permukaan beton.

3. Korosi pada tulangan

Sebenarnya untuk mengantisipasi retakan yang terjadi akibat dari sifat beton itu sendiri, beton diberi tulangan pada bagian dalamnya yang terbuat dari baja. Sehingga diharapkan dengan adanya baja tulangan tersebut retakan akibat dari sifat beton disebar pada keseluruhan beton menjadi bagian-bagian yang sangat kecil sehingga retakan tersebut dapat diabaikan. Tetapi apabila tulangan yang dipakai pada saat pembuatan beton sudah mengalami korosi, tulangan tersebut itu pun akan menyebabkan retakan pada saat beton engeras.

4. Proses pembuatan yang kurang baik

Contohnya adalah pada saat beton mengalami perkerasan dimana banyak mengeluarkan air, maka perlu adanya perawatan pada beton agar pengeluaran air dari campuran beton tidak berlebihan. Tetapi akibat tidak adanya perawatan, sehingga pada saat beton terbentuk maka terjadi banyak retakan.

5. Material yang kurang baik.

Contohnya adalah agregat halus atau pasir yang kurang bersih, masih bercampur dengan lumpur sehingga ikatan antara PC dan agregat menjadi terlepas. Sehingga ketika beton mengering maka retakan-retakan akan mudah sekali terjadi.

6. Cara penulangan

Hal yang paling umum terjadi adalah ketebalan dari tulangan sampai permukaan beton terlampaui besar. Hal ini sebenarnya kurang tepat karena fungsi dari baja tulangan tersebut adalah untuk menahan gaya lintang (pada balok dan plat), deformasi akibat lendutan, serta gaya geser.

Jika tebal selimut beton terlampaui besar maka retakan biasa terjadi mulai dari permukaan struktur beton sampai pada bagian tulangan yang ada didalamnya. Seharusnya tulangan dibuat agak keluar, dan selimut atau kulit yang membungkus tulangan dibuat setipis mungkin (1,5 s/d 2 cm). Karena gaya tarik dan gaya tekan paling besar terjadi pada ujung permukaan beton tersebut.



Gambar 2. Contoh Penulangan Pada Struktur Beton Bertulang (Reinforced Concrete)

Faktor-faktor penyebab keretakan beton yang terjadi setelah pembuatan beton bertulang, antara lain adalah :

1. Pengaruh lingkungan

Karena beton bertulang pada bangunan mengalami kontak langsung dengan cuaca luar, pengaruh cuaca ini sedikit banyaknya memberi andil dalam keretakan pada beton, sehingga konstruksi bangunan yang berumur cukup lama banyak mengalami retakan. Salah satu pengaruh lingkungan yang menyebabkan beton retak adalah akibat dari air hujan. Akibat sekian lama beton pada bangunan tua menerima air hujan secara langsung, lama – kelamaan

air hujan masuk meresap kedalam pori-pori beton yang kemudian mencapai tulangan pada beton.

Apabila saat air hujan telah mengenai baja tulangan, maka akan terjadi reaksi antara baja tulangan dengan tulangan yang menyebabkan baja tulangan menjadi berkarat atau korosif. Akibat korosifnya baja tulangan dan ditambah faktor luas seperti pembebanan mengakibatkan beton akan mengalami retak-retak.

2. Pembebanan

Setelah struktur beton bertulang sudah jadi dan bangunan secara keseluruhan telah siap untuk digunakan, maka struktur beton bertulang tersebut akan menerima beban-beban. Beban-beban yang bekerja pada struktur beton bertulang secara umum terdiri atas beban sendiri dan beban luar (beban akibat angin, manusia, beban gempa, dsb).

Apabila struktur beton bertulang tersebut menerima beban sesuai dengan kapasitas atau kuat dukung beban yang direncanakan, seharusnya struktur beton tersebut akan baik-baik saja. Tetapi kadangkala beton akan menerima beban diluar kemampuannya, dan biasanya pembebanan yang melebihi kapasitas yang telah direncanakan itulah yang menyebabkan keretakan pada struktur beton.

Pada saat terjadi keretakan, besi tulangan (pada daerah tarik) tersebut mulai mengambil alih secara penuh beban tarik yang terjadi. Artinya beton (daerah tarik) sudah tidak memikul beban tarik. Beban tarik dialihkan ke besi tulangan. Secara struktural kondisi ini memang dirancang seperti itu dan kekuatan struktur masih dapat dipertanggung jawabkan. Beton yang retak saat beban mulai bertambah sama sekali tidak berarti ada kegagalan struktur.

Lokasi retakan yang terjadi saat beban mulai membesar adalah pada daerah tumpuan / ujung balok sisi atas dan tengah bentang di sisi bawah. Keretakan seperti retak rambut ti-

tidak memerlukan perbaikan. Jika retak beton yang terjadi masih wajar seperti retak halus atau retak rambut, maka tidak perlu diperbaiki karena perhitungan struktur beton memang sudah tidak memperhitungkan beton yang mengalami retak. Namun jika retak yang terjadi cukup parah, perlu dilakukan penelitian yang lebih rinci yang melingkupi perhitungan struktur sesuai kondisi lapangan. Perbaikan dilakukan dengan menutup dengan epoxy, memperbesar dimensi struktur beton bertulangannya atau diberi perkuatan tambahan.

E. Perbaikan Beton

Perbaikan beton pada struktur bangunan dapat timbul karena hal-hal berikut ini :

1. Kesalahan pada saat perencanaan (design) struktur.
2. Kesalahan pada saat pelaksanaan pekerjaan dan kurang terampilnya pekerja.
3. Kondisi cuaca dan lingkungan yang ekstrim.
4. Terpapar dalam jumlah yang besar unsur kimia yang dapat mengurangi kekuatan beton.

5. Bertambahnya usia struktur

Pemilihan metode perbaikan beton yang sesuai dipengaruhi oleh : penyebab, luas dan sifat kerusakan, fungsi dan pentingnya struktur, ketersediaan material dan alat yang sesuai, serta pengetahuan menyeluruh tentang perilaku jangka panjang bahan yang akan digunakan untuk pekerjaan perbaikan. Sesuai dengan kebutuhan, metode perbaikan bersifat *superficial*/kosmetik atau mungkin memerlukan penggantian sebagian atau keseluruhan struktur bangunan.

Terdapat beberapa material yang umumnya digunakan untuk melakukan perbaikan beton, antara lain adalah :

1. Semen Grout

Grouting adalah suatu proses, dimana suatu cairan campuran antara semen dan air diinjeksikan dengan tekanan ke dalam rongga, pori, rekahan dan retakan batuan yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Bahan *grouting* yang digunakan dalam pekerjaan *grouting* dapat berupa material suspensi dan atau kimiawi. Material suspensi yang umum dipakai adalah semen dan bila perlu dipakai bahan tambahan berupa bentonit atau bahan sejenis. Air sebagai bahan cairan yang dipakai sebagai pencampur semen, harus bebas dari kandungan lumpur, bahan organik dan unsur lain yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas campuran. Sedangkan bahan semen yang digunakan adalah Portland Cement (PC), tipe I yang tidak mengandung bahan lain dan memenuhi syarat yang ditentukan dalam SII - 3 - 1981.

Perbandingan bahan *grout* untuk cement milk, ditentukan berdasarkan tujuan dari *grouting* tersebut dan kondisi batuan yang juga akan berubah menurut besarnya penyerapan *grouting*. Perbandingan campuran semen yang sering dipakai untuk pekerjaan *grouting* ini adalah C : W = 1 : 10 sampai 1 : 1. Untuk retakan yang relatif besar dipakai C : B = 1 : 0,5, dan bahkan kadang - kadang dipakai mortar (campuran semen dan pasir).

Pada umumnya proporsi campuran dimulai dari C : W = 1 : 10 atau 1 : 8. Apabila *grouting* memperlihatkan penyerapan *grout* yang lebih besar dari 30 liter per menit dan berlangsung selama 20 menit maka campuran dikentalkan secara berangsur. Namun sebaliknya apabila tekanan injeksi naik tiba - tiba atau jumlah volume *grout* masuk turun sangat banyak maka campuran diubah menjadi lebih encer.

2. Epoxy Resin

Resin yang digunakan pada umumnya berasal dari epoxide, polyester, acrylic atau polythene. Penerapan resin untuk pekerjaan perbaikan memerlukan pemahaman menyeluruh tentang sifat kimia dan fisik dan kinerjanya dalam struktur, terutama dengan berlalunya waktu dan di lingkungan yang tidak bersahabat.

Aplikasi resin epoksi teknik sipil contohnya seperti memperbaiki retakan, perbaikan struktur beton yang tererosi, perbaikan jembatan, saluran air, kolom dan balok yang berkarat secara kimia.

Umumnya bahan resin digunakan dalam pekerjaan perbaikan dan restorasi dimana sifat seperti, kekuatan tinggi (karenanya bagian tipis), adhesi yang sangat baik (dengan demikian tambalan kecil), waktu curing lebih cepat (sehingga menghemat waktu), dan ketahanan kimia yang tinggi diperlukan. Salah satu resin yang paling banyak diadopsi adalah dari epoksida.

Mortar resin dapat diperoleh dengan menambahkan pengisi seperti pasir kasar atau pasir kapur yang dikalsinasi. Reaksi kimia dimulai segera setelah resin dan pengeras digabungkan. Kebanyakan kombinasi memiliki pot-life antara 30 dan 60 menit. Mereka mengembangkan kekuatan dan sifat perekat yang sangat baik dan tahan terhadap banyak bahan kimia selain memiliki ketahanan terhadap air yang baik.

Resin epoksi yang pada masa curing diberikan pengeras memberikan hasil akhir yang bermacam-macam. Setelah masa curing, mereka membentuk sistem ireversibel (thermosetting).

3. Polymer Concrete Composites

Sebagian besar kekurangan yang ditemukan pada beton struktural biasa diatasi dengan menggunakan komposit beton polimer baik dalam bentuk lapisan permukaan di atas struktur atau dengan memasukkannya ke dalam

struktur. Komposit beton polimer merupakan perkembangan yang relatif baru dan telah digunakan dalam aplikasi struktural sejak tahun 1950. Mereka memiliki kekuatan yang sangat tinggi dan lebih tahan lama dan tahan terhadap kebanyakan bahan kimia dan asam.

Terdapat 3 (tiga) jenis komposit beton polimer, yaitu *polymer impregnated concretes* (PIC), *polymer concretes* (PC), dan *polymer cement concretes* atau *polymer modified concretes* (PCC or PMC). Semua tiga jenis komposit beton polimer berguna untuk melakukan perbaikan dan pekerjaan restorasi pada struktur yang rusak. Penggunaan komposit ini untuk aplikasi post-distress dan post-failure terus meningkat karena daya tahan superior, ikatan yang sangat baik dengan struktur beton induk, abrasi superior dan sifat tahan aus, tingkat resistensi yang tinggi terhadap bahan kimia seperti klorida dan asam, dan penyerapan airnya sangat rendah. Perbaikan retak dapat dengan mudah dilakukan dengan cara menyuntikkan beton polimer yang rusak akibat korosi tulangan yang bisa terkelupas dan diganti dengan beton polimer.

4. Sealants

Banyak jenis *sealant* yang tersedia di pasaran untuk menyegel retakan pada struktur beton. Penggunaan *sealant* harus memastikan integritas struktural dan kemampuan servis. Mereka juga harus berfungsi sebagai perlindungan terhadap pelepasan cairan berbahaya, gas, dan zat lain yang tidak diinginkan yang akan mengganggu kualitas beton. Dalam kasus perbaikan permukaan yang retak, retakan pertama kali membesar di sepanjang permukaan yang terbuka dan ditutup dengan *sealant*.

Daya tahan beton juga dapat ditingkatkan terutama di permukaan dengan penerapan berbagai bahan yang membuatnya tahan air, mengeras dan tahan terhadap serangan kimia. Beberapa *sealant* yang digunakan untuk per-

baikan permukaan beton antara lain adalah :

- Sodium silicate, magnesium or zinc fluoride
- Drying oils seperti Tung atau Linseed oil
- Cat chlorinated rubber dan neoprene
- Cat epoxy
- Silican Fluoride

5. Steel Fiber Reinforced Concrete

Penggunaan serat baja berdiameter kecil di beton telah ditemukan untuk memperbaiki beberapa sifat beton dan terutama kekuatan tarik dan impact dan ketahanan ausnya. Salah satu penggunaan *steel fiber reinforced concrete* (SFRC) adalah pada perbaikan dan restorasi struktur beton.

Bagian struktur beton yang rusak dapat dilepas dan dapat diperbaiki dengan menempatkan SFRC ke sisi dan bagian bawah struktur yang rusak dengan teknik guiniting atau shotcrete. Karena ketahanan keausan dan abrasi yang meningkat, SFRC telah berhasil bekerja untuk memperbaiki lantai industri dan deck jembatan dengan atau tanpa menggunakan beton polimer.

Pada struktur di bawah permukaan air terdapat beberapa metode perbaikan yang dapat digunakan, antara lain adalah :

1. Perbaikan permukaan yang pecah (*surface spalling repair*).

Penutup elemen pada struktur di bawah air dapat pecah karena hal yang tidak disengaja. Beton penutup yang rusak harus diganti dan diperbaiki untuk mencegah terjadinya korosi di kemudian hari.

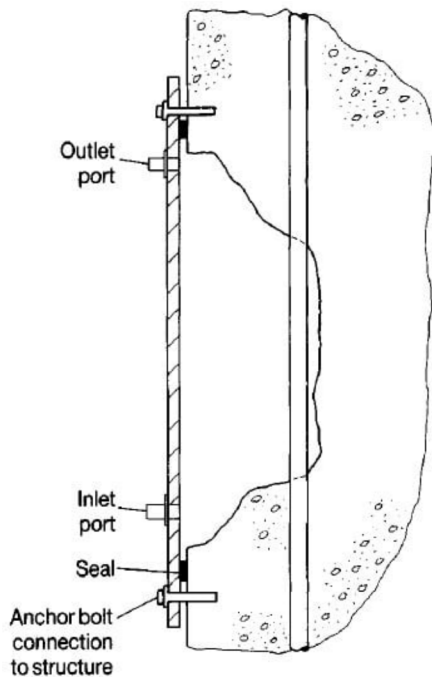
Area yang mengalami sedikit kerusakan, semakin lama akan mengalami kerusakan yang lebih besar dan berbahaya, terutama pada zona percikan. Area yang mengalami kerusakan pada struktur di bawah air harus dibersihkan dari biota laut dan beton yang sudah lemah ikatannya sebelum prosedur perbaikan dimulai.

Setelah itu, berdasarkan besarnya kerusakan yang terjadi, batas area pecahan harus dipotong sampai kedalaman 1,2-2 cm. Pada zona percikan, mortar semen dapat digunakan untuk area yang rusak dan *water tolerant epoxy mortar* dapat diaplikasikan apabila area yang mengalami kerusakan relatif kecil.

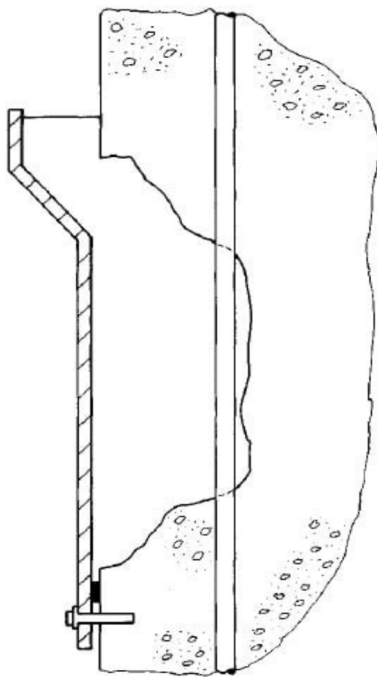
Perbaikan pada area yang lebih besar, bekisting digunakan untuk menahan material perbaikan pada posisinya. Hal ini dapat menunda pekerjaan perbaikan dan mencegah penggunaan lapisan epoxy karena jika mengeras maka akan menghasilkan permukaan halus dan akibatnya ikatannya akan lemah.

Prosedur dari metode *surface spalling repair* ini adalah sebagai berikut :

1. Siram area yang mengalami kerusakan dengan air bersih secara keseluruhan.
2. Aplikasikan lapisan *bonding*.
3. Aplikasikan mortar sebelum lapisan mengering atau mengeras.
4. Aplikasikan membran *curing* pada lapisan mortar.
5. Lindungi area yang sudah diperbaiki dari terpaan gelombang air laut sampai mengeras secara keseluruhan.



Gambar 3. Formwork for Placement by Pumping



Gambar 4. Bird's-Mouth Type Formwork for Surface Spalling Repair

2. Perbaikan beton skala besar pada struktur di bawah air (large scale repair of underwater structural concrete).

Metode ini cocok digunakan pada saat mem-

perbaiki kerusakan yang terjadi akibat kelebihan beban pada struktur, kebakaran, tumbukan dengan kapal, atau korosi khususnya pada zona percikan.

Pada kasus ini dimana area yang luas membutuhkan restorasi, metode perbaikan dan pemilihan material sangatlah penting jika penyusutan atau retakan menyebabkan jalur kebocoran pada beton induk dan permukaan material perbaikan.

Pada saat material perbaikan mempunyai ketebalan yang besar, retak akibat suhu bisa terjadi akibat dari kenaikan suhu meskipun air di lingkungan sekeliling mampu menurunkan suhu.

Selain itu, perbaikan pada perkuatan sering diperlukan karena adanya distorsi dan korosi yang cukup besar pada perkuatan.

Prosedur dari perbaikan beton skala besar pada struktur di bawah air antara lain adalah sebagai berikut :

1. Persiapkan area yang rusak.
 2. Bersihkan area perkuatan secara menyeluruh.
 3. Tentukan tipe bekisting yang sesuai berdasarkan metode penempatan material perbaikan.
 4. Kurangi kontaminasi beton akibat air laut dengan pembilasan bekisting dengan beton segar sebelum menuangkan material perbaikan.
 5. Pemompaan digunakan sebagian besar waktu untuk menempatkan material perbaikan dan harus dimulai dari bagian bawah bekisting untuk mendorong air keluar dari bekisting dari bawah.
3. Penggantian agregat pada beton (preplaced aggregate concrete)

Setelah bekisting dipasang pada area yang akan diperbaiki, agregat dengan gradasi yang

baik ditempatkan dan dipadatkan pada bekisting. Sebaiknya digunakan air bersih untuk membersihkan agregat sebelum penempatan *grout*.

Kemudian, *grout* yang tepat disuntikkan ke dasar agregat yang dipadatkan dengan baik di bekisting. Dalam proses ini, air dan *void* dikeluarkan dari agregat oleh *grout*.

Bekisting yang dipasang harus anti *grout* untuk mencegah terjadinya kebocoran pada bekisting dan menyediakan ventilasi pada bagian atas bekisting sehingga *void* dan udara dapat keluar.

Pengisian agregat pada bekisting dilakukan sampai bagian atas area yang mengalami kerusakan karena apabila pada saat penempatan *grout*, tidak terdapat agregat maka *grout* akan menyusut dan menyebabkan retakan.

Penggunaan vibrasi pada saat penyuntikan sebaiknya dihindari agar *grout* tidak terseret air laut.

4. Teknik injeksi untuk restorasi beton pada struktur bawah air (injection technique for restoring underwater concrete structure)

Langkah-langkah pengerjaannya hampir sama dengan perbaikan struktur yang kering, penyuntikan atau injeksi semen *grout* atau resin dapat digunakan untuk memperbaiki retakan dan atau *void* pada beton di struktur bawah air.

Pemilihan material perbaikan berdasarkan ukuran *void* atau retakan dan juga pada kemungkinan adanya pergerakan membran di masa yang akan datang.

Epoxy resin cocok digunakan pada retakan dengan lebar sekitar 0,1 mm, dimana semen *grout* cocok digunakan untuk retakan dengan lebar lebih besar dari beberapa milimeter dan ketika retakan lebarnya lebih kecil dari 0,1 mm, proses injeksi tidak diperlukan.

Aplikasikan tekanan dan waktu dimana tekanan dipertahankan sebelum memperkuat material perbaikan. Ada dua metode injeksi yaitu injeksi tekanan dan gravitasi.

Beton perlu dipecahkan untuk memperkuat apabila terdapat korosi dan perbaikan secara menyeluruh harus dilakukan daripada dilakukan metode injeksi.

Prosedur dari metode injeksi adalah sebagai berikut :

1. Persiapkan permukaan beton sepanjang retakan.
2. Sepanjang retakan, tentukan titik inspeksi pada jarak tertentu.
3. Tutup permukaan retakan sepanjang retakan.
4. Hilangkan kontaminasi dengan menggunakan air bersih dan pastikan jalur injeksi terbuka.
5. Pada ujung retakan, suntikkan epoxy resin atau semen *grout* ke dalam retakan melalui titik inspeksi.

5. Metode guniting atau shotcrete untuk perbaikan beton pada struktur bawah air.

Metode ini adalah pilihan terbaik ketika area permukaan yang luas atau kolom atau balok terbungkus dan biasanya proses kering digunakan. Pada metode pengeringan, dry mix ditranser melalui selang dan air ditambahkan pada dry mix di mulut pipa.

Metode *guniting* memang tidak cocok digunakan untuk perbaikan beton di struktur bawah air tetapi metode ini dapat digunakan pada zona percikan atau pasang surut jika menggunakan bahan tambahan (*additives*) yang mempercepat pengerasan.

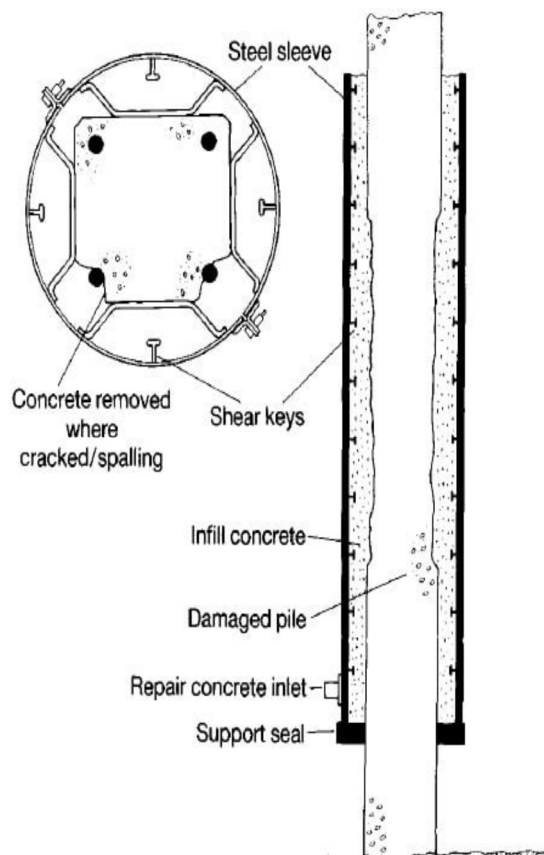
Kesuksesan metode ini bergantung pada keterampilan pekerja dan pengalaman dalam menyesuaikan penambahan air, tekanan dan

tebal keseragaman. Ketebalan maksimum *shotcrete* adalah 50 mm, meskipun lapisan kedua dapat dipasang apabila lapisan yang lebih tebal dibutuhkan.

6. Metode *steel sleeve* untuk perbaikan beton pada struktur bawah air.

Pada metode ini *steel sleeve* digunakan pada sekeliling pilar atau kolom setelah itu ruang antara *sleeve* dan pilar atau kolom diisi dengan mortar beton. *Sleeve* dapat didesain untuk menciptakan ruang apabila dibutuhkan kekuatan untuk mencegah korosi.

Sleeve perlu dibuat melebihi bagian atas dan bawah pilar atau kolom beton yang mengalami kerusakan dan mampu menahan gaya dari kolom apabila tulangan tidak mampu menahannya karena mengalami korosi. Contoh dari *sleeve* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Arrangement of Steel Sleeve Repair

Prosedur pemasangan *steel sleeve* adalah sebagai berikut :

1. Persiapkan pilar atau kolom yang rusak dari beton yang sudah lemah ikatannya dan biota laut.
2. Pasang klam sementara sebagai pendukung atau cincin penutup di sekeliling pilar atau kolom di bawah area yang rusak.
3. Kedua bagian semi lingkaran dari *steel sleeve*.
4. Pompa grout atau semen pada bagian bawah *sleeve*.
5. Lepaskan pendukung sementara dan aplikasikan proteksi terhadap korosi pada *sleeve*.

F. Penutup

Pada bangunan tepi pantai, beton akan bersinggungan dengan air garam yang mengandung NaCl yang dapat meresap ke dalam beton sehingga dapat merusak dan bahkan menghancurkan beton. Oleh sebab itu perlu dilakukan tindakan perbaikan dan rehabilitasi beton. Material yang digunakan dalam kegiatan perbaikan antara lain adalah semen *grout*, *epoxy resin*, *polymer*, *sealants*, *steel fiber reinforced concrete (SFRC)*, dan bahan-bahan lainnya.

Metode perbaikan beton pada struktur bangunan pada umumnya dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu :

1. Penyuntikan (*injection*) pada retakan, lubang, atau *honey-comb area*.
2. Perawatan permukaan (*surface treatment*)
3. Pelepasan dan penggantian material atau area yang mengalami kerusakan

DAFTAR PUSTAKA :

Hidayat, Rizqi Rizaldi. 2011. Rancang Bangun Alat Pemisah Garam Dan Air Tawar Dengan Menggunakan Energi Matahari. Departemen Ilmu Dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Bogor

<https://theconstructor.org/>

<http://tukangbata.blogspot.co.id/2013/01/pekerjaan-grouting-atau-sementasi.html>

Hunggurami, Elia. 2014. Pengaruh Masa Perawatan (Curing) Menggunakan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton. FST Undana

Departemen Pekerjaan Umum. 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung.

**) Ybs adalah Pejabat Fungsional Ahli Muda pada PPSDM Migas*