

SKRIPSI

**STUDI METODE PELAKSANAAN PERBAIKAN BETON
BERTULANG YANG MENGALAMI KOROSI DENGAN
METODE *GROUTING***

Disusun dan diajukan oleh:

**NURUL AZISAH NASIR
D011 20 1004**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI METODE PELAKSANAAN PERBAIKAN BETON BERTULANG YANG MENGALAMI KOROSI DENGAN METODE *GROUTING*

Disusun dan diajukan oleh

NURUL AZISAH NASIR
D011 20 1004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 07 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.
NIP: 196805292002121002

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Eng. Ir. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng., IPU
NIP: 197011081994121001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Nurul Azisah Nasir
NIM : D011201004
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Metode Pelaksanaan Perbaikan Beton Bertulang yang Mengalami Korosi dengan Metode *Grouting*}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 9 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Nurul Azisah Nasir

ABSTRAK

NURUL AZISAH NASIR. STUDI METODE PELAKSANAAN PERBAIKAN BETON BERTULANG YANG MENGALAMI KOROSI DENGAN METODE GROUTING (dibimbing oleh Rudy Djamaluddin)

Korosi pada tulangan merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh struktur beton. Korosi ini terjadi akibat reaksi antara baja tulangan dan ion OH^- yang menghasilkan karat. Seiring waktu, volume karat bertambah, melebihi volume baja asli, sehingga menimbulkan tekanan pada permukaan beton di sekitarnya. Tekanan ini akan memicu keretakan yang jika dibiarkan, dapat menyebabkan pengelupasan selimut beton. Hal ini mengakibatkan berkurangnya kemampuan struktur dalam menahan beban dan mempersingkat umur layanannya, sehingga diperlukan perbaikan untuk memulihkan fungsinya. Salah satu metode perbaikan yang umum digunakan adalah metode grouting. Namun, perbedaan dalam penerapan metode grouting di lapangan sering kali menghasilkan kualitas perbaikan yang bervariasi. Oleh karena itu, studi ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat metode pelaksanaan yang dapat dijadikan referensi bagi praktisi di lapangan dalam memperbaiki balok beton bertulang yang mengalami korosi menggunakan metode *grouting*. Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kualitatif melalui studi literatur terhadap berbagai penelitian terdahulu, standar dan SOP yang ada, serta lembar data teknis dari produk material *grouting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pelaksanaan perbaikan beton bertulang terdiri dari empat tahap: tahap persiapan, pelaksanaan, perawatan, dan pemantauan mutu. Tahap persiapan meliputi persiapan alat pelindung diri (APD) dan penandaan pada bagian yang rusak (*marking*). Tahap pelaksanaan mencakup persiapan permukaan beton (*surface preparation*), pengaplikasian *bonding agent*, pemasangan material perkuatan, pemasangan bekisting, pencampuran material *grouting*, dan pengisian material *grouting* pada area perbaikan. Tahap perawatan dilakukan dengan *curing* pada material *grouting*. Terakhir, tahap pemantauan mutu melibatkan pengujian karakteristik material *grouting*, pengamatan visual, *non-destructive test* seperti UPV, serta *destructive test* seperti *core drilling*.

Kata Kunci: korosi tulangan, metode *grouting*, perbaikan beton bertulang

ABSTRACT

NURUL AZISAH NASIR. *A STUDY ON THE REPAIR METHODS FOR CORRODED REINFORCED CONCRETE USING GROUTING METHOD* (supervised by Rudy Djamaluddin)

Corrosion of reinforcement is one of the main issues faced by concrete structures. This corrosion occurs due to the reaction between reinforcing steel and OH^- ions, which produces rust. Over time, the volume of rust increases, exceeding the volume of the original steel, causing pressure on the surrounding concrete surface. This pressure leads to cracking, which, if left untreated, can result in the spalling of the concrete cover. Consequently, the structure's load-bearing capacity decreases, and its service life shortens, necessitating repairs to restore its function. One common repair method is the grouting method. However, variations in the application of the grouting method in the field often result in inconsistent repair quality. Therefore, this study aims to develop a standardized implementation method that can serve as a reference for field practitioners in repairing corroded reinforced concrete beams using the grouting method. This research was conducted using a qualitative approach through a literature review of previous studies, existing standards and SOPs, as well as technical data sheets of grouting material products. The study results indicate that the implementation method for repairing reinforced concrete consists of four stages: preparation, execution, curing, and quality monitoring. The preparation stage includes personal protective equipment (PPE) preparation and marking of the damaged area. The execution stage involves surface preparation, bonding agent application, reinforcement installation, formwork installation, grout mixing, and grout injection into the repair area. The curing stage involves curing the grout material. Finally, the quality monitoring stage involves testing the grout material's characteristics, visual inspection, non-destructive tests such as UPV, and destructive tests such as core drilling.

Keywords: grouting method, reinforcement corrosion, reinforced concrete repair

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Tujuan Penelitian	17
1.4 Manfaat Penelitian	17
1.5 Ruang Lingkup.....	18
1.6 Sistematika Penulisan	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	20
2.1 Konsep Dasar Perbaikan Beton.....	20
2.2 Standar dan Perbaikan Beton	21
2.3 Metode Perbaikan Beton.....	21
2.3.1 Teknik Pengikisan Beton yang Rusak (<i>Concrete Removal</i>).....	22
2.3.2 Teknik Persiapan Permukaan (<i>Surface Preparation</i>)	25
2.3.3 Material Perbaikan	28
2.3.4 Teknik Perbaikan Beton.....	35
2.4 Metode <i>Grouting</i>	36
2.5 Material Perkuatan	42
2.5.1 Angkur	43
2.5.2 <i>Wiremesh</i>	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Bagan Alir Penelitian	46
3.2 Studi Literatur	48
3.3 Pemilihan Metode Pelaksanaan	49
3.4 Penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP).....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52

4.1 Tahapan Persiapan	52
4.1.1 Persiapan Alat Pelindung Diri (APD).....	52
4.1.2 <i>Marking</i>	52
4.2 Tahapan Pelaksanaan	55
4.2.1 Persiapan Permukaan Beton (<i>Surface Preparation</i>).....	55
4.2.2 Pengaplikasian Material <i>Bonding Agent</i>	77
4.2.3 Pemasangan Material Perkuatan (<i>Wiremesh</i>)	81
4.2.4 Pemasangan Bekisting (Acuan)	83
4.2.5 Pencampuran Material <i>Grouting</i>	86
4.2.6 <i>Grouting</i>	91
4.3 Tahapan Perawatan	96
4.3.1 Curing	96
4.3.2 <i>Surface Treatment</i>	98
4.4 Tahapan Pemantauan Mutu.....	100
4.4.1 Pengujian Karakteristik Material <i>Grouting</i>	101
4.4.2 Pengamatan Visual	104
4.4.3 Tes UPV.....	106
4.4.4 <i>Core Drilling</i>	111
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	115
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konsep perbaikan struktur beton	20
Gambar 2. (a) Alat <i>hand-held breaker</i> , (b) Penghilangan beton yang rusak pada balok dermaga	24
Gambar 3. (a) <i>Sandblasting</i> (b) <i>Shotblasting</i>	26
Gambar 4. Pembersihan korosi pada tulangan dengan menggunakan <i>wirebrush</i> , (b) Pembersihan tulangan dengan menggunakan <i>power tools</i>	26
Gambar 5. (a) Tulangan sebelum <i>sandblasting</i> (b) Tulangan setelah <i>sandblasting</i>	27
Gambar 6. <i>Grouting</i> dengan metode tuang	38
Gambar 7. <i>Grouting</i> dengan metode injeksi.....	38
Gambar 8. <i>Marking</i> area perbaikan pada beton bertulang yang mengalami kerusakan.....	39
Gambar 9. (a) <i>Chipping</i> pada kolom, (b) <i>Chipping</i> beton pada struktur <i>overhead</i>	40
Gambar 10. (a) Pemberian lapisan anti karat pada tulangan pelat, (b) Pemberian lapisan anti karat pada tulangan balok	40
Gambar 11. (a) Pemasangan bekisting pada struktur balok, (b) Pengencangan baut pada sambungan bekisting balok.....	41
Gambar 12. (a) Pencampuran material <i>grouting</i> , (b) Penuangan material <i>grouting</i> pada alat injeksi.....	41
Gambar 13. Pengaplikasian <i>bonding agent</i>	41
Gambar 14. Pengisian bahan <i>grout</i>	42
Gambar 15. <i>Curing</i> pada beton.....	42
Gambar 16. (a) Mekanisme kerja <i>dynabolt</i> , (b) <i>Dynabolt</i> yang terpasang pada beton eksisting.....	43
Gambar 17. Diagram alir penelitian	46
Gambar 18. Diagram alir pelaksanaan perbaikan.....	51
Gambar 19. Alat pelindung diri (APD) untuk perbaikan beton yang mengalami korosi dengan metode <i>grouting</i>	52
Gambar 20. Tahapan <i>marking</i>	53
Gambar 21. Diagram alir tahap <i>marking</i>	54
Gambar 22. Konfigurasi area perbaikan.....	55
Gambar 23. Tahapan pengikisan beton yang rusak (<i>concrete removal</i>)	55
Gambar 24. (a) dan (b) Alat pengikis beton	56
Gambar 25. Diagram alir tahap pengikisan beton yang rusak.....	57
Gambar 26. Jarak penghilangan beton	58
Gambar 27. Sudut pemotongan beton	58
Gambar 28. Penghilangan korosi tulangan.....	59
Gambar 29. Diagram alir tahap pembersihan tulangan yang mengalami korosi. 61	
Gambar 30. Volume pasir pada tabung <i>sandblasting</i>	62
Gambar 31. Arah gerakan <i>nozzle</i> untuk menghilangkan korosi pada tulangan dengan <i>sandblasting</i>	63

Gambar 32. Penambahan tulangan	64
Gambar 33. Penyambungan dengan kawat bendrat.....	64
Gambar 34. Bentuk las pada tulangan tambahan	64
Gambar 35. Bentuk sambungan las antara baja tulangan eksisting dan baja tulangan baru.....	65
Gambar 36. Bentuk sambungan mekanis (<i>coupler rebar</i>) antara baja tulangan eksisting dan baja tulangan baru	65
Gambar 37. Alat <i>swage press portable</i> untuk mengencangkan <i>coupler rebar</i> antara baja tulangan eksisting dan baja tulangan baru	66
Gambar 38. Tahap pemasangan material perkuatan (<i>dynabolt</i>).....	66
Gambar 39. Diagram alir tahap penambahan material perkuatan (<i>dynabolt</i>).....	68
Gambar 40. <i>Dynabolt</i> pada beton eksisting.....	68
Gambar 41. Tahap pembersihan permukaan	69
Gambar 42. Diagram alir tahap pembersihan permukaan	71
Gambar 43. (a) dan (b) Contoh produk <i>rust killer</i>	73
Gambar 44. Contoh produk pelapis anti korosi	74
Gambar 45. Diagram alir tahap pengaplikasian <i>rust killer</i> dan lapisan anti korosi	75
Gambar 46. Pengaplikasian <i>rust killer</i>	76
Gambar 47. Tahap pengaplikasian material <i>bonding agent</i>	77
Gambar 48. Contoh produk <i>bonding agent</i>	78
Gambar 49. Diagram alir tahap pengaplikasian <i>bonding agent</i>	79
Gambar 50. Tahap penambahan material perkuatan (<i>wiremesh</i>)	81
Gambar 51. Diagram alir tahap pemasangan material perkuatan.....	82
Gambar 52. <i>Wiremesh</i> yang terpasang pada permukaan beton eksisting.....	82
Gambar 53. Tahap pemasangan bekisting.....	83
Gambar 54. Diagram alir tahap pemasangan bekisting (acuan).....	85
Gambar 55. Lubang <i>intake</i> dan kontrol pada bekisting.....	85
Gambar 56. Bekisting pada <i>grouting</i> dengan penambahan agregat kasar menggunakan metode beton <i>prepack</i>	86
Gambar 57. Bekisting pada <i>grouting</i> dengan penambahan agregat kasar menggunakan metode tuang.....	86
Gambar 58. Contoh produk material <i>grouting</i>	88
Gambar 59. Contoh material <i>grouting</i> dan alat yang digunakan pada tahap pencampuran	89
Gambar 60. Diagram alir tahap pencampuran material <i>grouting</i>	90
Gambar 61. Tahap pengisian material <i>grouting</i>	92
Gambar 62. Pompa injeksi material <i>grouting</i>	92
Gambar 63. Diagram alir tahap <i>grouting</i>	93
Gambar 64. Proses pengisian mortar <i>grouting</i> ke dalam bekisting.....	94
Gambar 65. Proses pengisian material <i>grouting</i> dengan metode tuang	94
Gambar 66. Proses pengisian mortar <i>grouting</i> dengan metode beton <i>prepack</i> ...	95
Gambar 67. Tahapan perawatan (<i>curing</i>)	96
Gambar 68. Diagram alir tahapan <i>curing</i>	97
Gambar 69. Tahapan <i>surface treatment</i>	98

Gambar 70. Diagram alir tahapan <i>surface treatment</i>	100
Gambar 71. Tahap pemantauan mutu (a) Pengujian kuat tekan, (b) Pengujian lentur	101
Gambar 72. Diagram alir tahapan pengujian kuat tekan	102
Gambar 73. Diagram alir tahapan pengujian kuat lentur.....	103
Gambar 74. Diagram alir tahap pengamatan visual	105
Gambar 75. Tahap pemantauan mutu dengan tes UPV	106
Gambar 76. Alat UPV	108
Gambar 77. Diagram alir tahap pemantauan mutu dengan tes UPV	109
Gambar 78. Contoh titik tes UPV	109
Gambar 79. Pengecekan kedalaman retakan dengan UPV.....	110
Gambar 80. Tahap pemantauan mutu dengan melakukan <i>core drill</i>	111
Gambar 81. Diagram alir tahap pemantauan mutu dengan melakukan <i>core drill</i>	113

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Material penggantian dan <i>overlay</i> beton	29
Tabel 2. Material perbaikan retak.....	31
Tabel 3. <i>Bonding material</i>	33
Tabel 4. Produk perbaikan <i>grouting</i>	36
Tabel 5. Karakteristik SikaGrout 215 (new)	37
Tabel 6. Persyaratan bahan <i>grouting</i>	39
Tabel 7. Persyaratan material pelapis anti korosi.....	73
Tabel 8. Perbandingan campuran untuk satu kemasan material <i>bonding agent</i> ..	78
Tabel 9. Persyaratan mortar <i>grouting</i>	87
Tabel 10. Perbandingan pencampuran material <i>grouting</i>	88
Tabel 11. Persyaratan kuat tekan dan kuat lentur material <i>grouting</i>	101
Tabel 12. Contoh hasil pengamatan visual.....	106
Tabel 13. Kualitas beton berdasarkan hasil uji UPV	107
Tabel 14. Contoh hasil UPV beton hasil perbaikan	111

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas permukaan (mm ²)
ACI	American Concrete Institute
APD	Alat Pelindung Diri
ASTM	American Society for Testing and Materials
CTM	Compression Testing Machine
FRP	Fiber-Reinforced Polymer
GFRP	Glass Fiber-Reinforced Polymer
h	Kedalaman retakan (m)
ICRI	International Concrete Repair Institute
SOP	Standar Operasional Prosedur
PVA	Polivinil alkohol
L	Jarak tempuh <i>transducer</i> (m)
T	Waktu tempuh <i>transducer</i> (sec)
P	Beban (N)
UPV	Ultrasonic Pulse Velocity
UTM	Universal Testing Machine
SSD	<i>Saturated Surface Dry</i>
X	Jarak antara <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i> (m)
V	Cepat rambat gelombang (km/sec)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul “**STUDI METODE PELAKSANAAN PERBAIKAN BETON BERTULANG YANG MENGALAMI KOROSI DENGAN METODE *GROUTING***” merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.,IPM** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.,** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, ST., MT.** selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.,** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **H. Nasir Laumpa** dan ibunda **Hj. Asiah Syarif** yang senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang kepada penulis tiada hentinya.
2. **Nurul Hidayah** dan **Munawwir**, selaku sepupu penulis yang selalu memberikan bantuan dan dukungan selama perjalanan studi ini.
3. **Andi Alifia Ramadhanti H**, **Rivaldo Haurissa**, **Muh. Fadli Al Kautsar**, **Raiza Hasina Putri**, dan **Amaliah Ramadhani**, selaku teman seperjuangan sejak awal kuliah yang selalu memberikan hiburan, dorongan, dan bantuan selama masa perkuliahan.
4. **Nurul Ainnayah S. Harun**, **Muchlisa Aulia Alimuddin**, **Putri Anugrah Pratiwi**, **Andi Ersyaputri Erwin S**, dan **Andi Ariqah Hanafiah**, selaku sahabat penulis sedari SMA yang selalu setia mendampingi, memberikan dukungan, bantuan, dan hiburan kepada penulis dalam segala situasi.
5. **Husna Novia Ramadhanty**, sebagai rekan magang penulis yang selalu memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Saudara-saudari **KKNT-UH GEL. 111 DESA BULO-BULO** yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Rekayasa Perkuatan Struktur** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Saudara-saudari **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2020** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 13 Agustus 2024

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang merupakan salah satu material konstruksi yang menggabungkan kekuatan beton dan tulangan baja untuk menciptakan material yang lebih kuat dan tahan lama. Beton memiliki kemampuan menahan tekanan yang sangat baik, sementara baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Kombinasi kedua material ini menghasilkan kekuatan struktural, menjadikan beton bertulang sebagai pilihan utama dalam berbagai proyek konstruksi, baik di sektor sipil maupun industri (Ummah & Priyanto, 2023). Selain itu, beton bertulang juga dikenal karena durabilitasnya yang tinggi, terutama ketika didesain dan dipelihara dengan baik. Hal ini membuat beton bertulang banyak digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan, bendungan, dan infrastruktur lainnya (Rodrigues et al., 2021).

Namun, seiring berjalannya waktu, beton bertulang dapat mengalami degradasi yang membuatnya menjadi lebih rapuh. Meskipun memiliki banyak keunggulan, beton bertulang juga rentan terhadap kerusakan. Salah satu masalah terbesar yang dihadapi struktur beton bertulang adalah terjadinya retakan. Retakan ini dapat terjadi karena berbagai faktor termasuk detail desain yang tidak memadai, korosi tulangan, kelelahan material, serangan bahan kimia, pergerakan tanah, dan lain-lain (ElKhatib et al., 2023). Salah satu penyebab terjadinya retakan adalah korosi pada baja tulangan. Korosi ini terjadi ketika pH beton menurun akibat karbonasi atau penetrasi ion klorida, lapisan pelindung baja akan rusak, menyebabkan baja bereaksi dengan oksigen dan air, menghasilkan karat. Karat ini mengakibatkan ekspansi tulangan yang pada akhirnya menyebabkan retakan pada beton. Karat juga menyebabkan perubahan pada tulangan, seperti berkurangnya diameter yang mempengaruhi kekuatan struktur, terutama pada kekuatan lekatan antara tulangan dan beton yang mengelilinginya (Arief, 2022). Seiring waktu, retak yang terjadi akan berkembang hingga mencapai permukaan beton dan pada akhirnya menyebabkan pengelupasan (*spalling*), yang dapat

menyebabkan penurunan kekuatan dan parahnya adalah keruntuhan struktur beton bertulang (Sutrisno, 2017).

Pengelupasan pada beton bertulang akibat korosi tulangan yang melebihi selimut beton dapat diperbaiki dengan metode *grouting*, yaitu teknik perbaikan yang melibatkan pengecoran ulang menggunakan bahan *non-shrink* mortar (Fakhrudin, 2023). *Grouting* sering kali dipilih sebagai metode perbaikan kerusakan struktur karena sifatnya yang mirip dengan beton. Namun, menurut Said dkk. (2023), meskipun penambahan SikaGrout-215 (new) dapat membantu mengembalikan bentuk beton yang mengalami pengelupasan, metode ini belum sepenuhnya efektif dalam memulihkan kekuatan struktural balok, terutama dilihat dari penurunan beban maksimum dan kegagalan *debonding* pada daerah sambungan. Oleh karena itu, diperlukan material tambahan seperti *wiremesh* dan angkur untuk meningkatkan *interlocking* dan menggantikan luas baja yang hilang akibat korosi.

Persyaratan dasar dalam perbaikan beton bertulang adalah lekatan (*bond*) material perbaikan dengan beton eksisting. Dampak dari korosi pada tulangan adalah kekekatannya dengan material perbaikan, sehingga sebelum melakukan pengecoran ulang dengan material perbaikan, korosi pada tulangan harus dihilangkan. Selain itu, menurut Afandi dkk. (2023), faktor utama yang mempengaruhi kekuatan ikatan pada antarmuka beton dengan material perbaikan adalah metode persiapan permukaan. Metode persiapan permukaan diterapkan pada beton eksisting, dilakukan dengan metode yang umum seperti penyikatan dengan *wirebrush*, *sandblasting*, penyemprotan air bertekanan tinggi, pengikisan manual (*chisel*), dan pembuatan alur (*grooving*) yang digunakan sebelum mengaplikasikan material perbaikan. Oleh karena itu dalam sebuah metode pelaksanaan harus terdapat metode persiapan permukaan yang baik guna meningkatkan kelekatan.

Dalam praktiknya di Indonesia, memang sudah ada beberapa pedoman perbaikan beton yang menjelaskan metode persiapan permukaan beton dan metode penghilangan korosi pada baja tulangan yang berasal dari SOP maupun lembar data teknis material perbaikan namun langkah-langkahnya belum dijelaskan secara rinci. Penambahan material perkuatan juga belum dimasukkan

dalam pedoman perbaikan tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dijelaskan tahapan-tahapan rinci dalam pelaksanaan perbaikan beton bertulang yang mengalami korosi agar bisa dijadikan pedoman dalam praktik di lapangan. Menurut (Nuryanto et al., 2023) bahwa setelah langkah-langkah perbaikan dilakukan dan dipastikan dapat mengatasi masalah yang ada, langkah berikutnya adalah menyusun panduan yang bisa dijadikan pedoman kerja di lapangan. Pedoman baku sangat penting untuk meminimalisir terjadinya perbedaan kualitas hasil perbaikan. Dengan adanya pedoman yang jelas dan terstruktur, kualitas dan konsistensi hasil perbaikan dapat ditingkatkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis akan melakukan penelitian terhadap metode pelaksanaan perbaikan pada beton bertulang yang mengalami korosi dengan judul **“STUDI METODE PELAKSANAAN PERBAIKAN BETON BERTULANG YANG MENGALAMI KOROSI DENGAN METODE *GROUTING*”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, rumusan masalah yang didapatkan adalah bagaimana metode konstruksi perbaikan balok beton bertulang yang mengalami korosi menggunakan metode *grouting*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah membuat metode konstruksi perbaikan beton bertulang yang mengalami korosi menggunakan metode *grouting*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi bagi praktisi di lapangan mengenai metode konstruksi perbaikan balok beton bertulang yang mengalami korosi dengan metode *grouting*.

2. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai standar dalam pelaksanaan perbaikan balok beton bertulang yang mengalami korosi *grouting*.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik dan benar serta menghindari penyimpangan dari tujuan yang diharapkan, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah balok beton bertulang yang mengalami kerusakan *spalling* akibat tulangan yang mengalami korosi. Fokus utama adalah pada metode perbaikan dengan menggunakan metode *grouting*. Tidak ada objek studi kasus spesifik yang digunakan dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga tugas akhir yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, jenis penelitian, teknik pengumpulan data dan teknik analisis data yang dilakukan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, hasil-hasil penelitian dari studi literatur disusun ke dalam metode pelaksanaan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari penelitian.

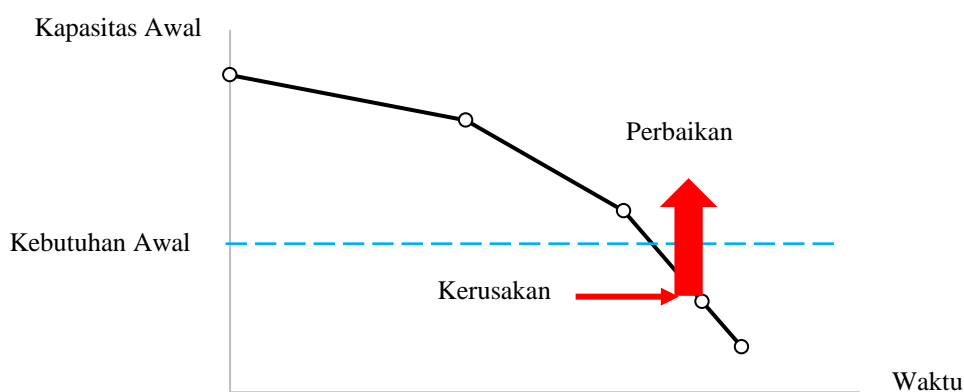
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Perbaikan Beton

Menurut Fakhruddin (2023), kerusakan pada bangunan sipil sering terjadi akibat berbagai faktor, meskipun telah direncanakan untuk berfungsi secara optimal selama masa layanan. Beberapa penyebab utama kerusakan adalah kesalahan perencanaan, pelaksanaan yang tidak tepat, penggunaan yang tidak sesuai, dan pengaruh eksternal seperti bencana alam.

Menurut Ummah & Priyanto (2023), salah satu jenis kerusakan yang sering terjadi adalah kerusakan struktural, yang dapat terjadi pada elemen-elemen penting seperti balok, kolom, pelat, dan dinding beton. Kerusakan pada komponen ini dapat mengakibatkan penurunan kapasitas dukung struktur, sehingga memerlukan perbaikan yang tepat untuk mengembalikan fungsi struktur ke kondisi semula. Perbaikan diterapkan pada area yang mengalami kerusakan dengan tujuan untuk mengembalikan kapasitas awal. Contoh dari kerusakan struktural adalah retakan dan *spalling* (terkelupasnya selimut beton). **Gambar 1** menunjukkan gambaran konsep dasar perbaikan.



Gambar 1. Konsep perbaikan struktur beton

Menurut Sulardi (2017), penurunan kapasitas layan struktur beton eksisting dapat ditingkatkan kembali performanya hingga mendekati kondisi desain awal dengan metode perbaikan menggunakan material sejenis, namun dengan kualitas yang lebih baik. Kualitas hasil perbaikan dipengaruhi oleh spesifikasi material

perbaikan, ketersediaan peralatan kerja, metode pelaksanaan yang tepat, serta kontrol kualitas yang baik. Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, kualitas perbaikan beton akan meningkat dan umur pakai (*life service*) beton akan lebih panjang.

2.2 Standar dan Perbaikan Beton

Standar yang dirujuk dalam pembuatan metode pelaksanaan perbaikan beton yang mengalami korosi dengan metode *grouting* adalah sebagai berikut.

1. ACI 546R-14 tentang Guide to Concrete Repair.
2. ICRI No. 310.1R-2008 tentang Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion.
3. ICRI No. 310.2R-2013 tentang Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coatings, Polymer Overlays, and Concrete Repair.
4. ASTM C 1107M-14 tentang Standard Specification for Packaged Dry, Hydarulic-Cement Grout (Nonshrink).
5. US COPRPS of Engineer CRD-C621 tentang Grouting
6. Prosedur Operasional Standar dari Direktorat Jendral Bina Marga tentang Perbaikan Dimensi Struktur Beton dengan Cara Grouting
7. Lembar Data Teknis SikaGrout-215 (new).
8. Lembar Data Teknis SikaCim Bonding Adhesive.
9. Penelitian terdahulu terkait perbaikan balok beton bertulang menggunakan metode *grouting* dengan *surface preparation* dan beragam metode perkuatan tambahan

2.3 Metode Perbaikan Beton

Menurut Fakhruddin (2023), perbaikan beton bertulang diperlukan untuk mengembalikan integritas struktural dan fungsi dari beton yang rusak. Penentuan metode dan material perbaikan bergantung pada jenis yang ada, luas kerusakan yang terjadi, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga kerja, serta batasan pemilik seperti ruang kerja, waktu, dan

biaya. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses perbaikan, yang mencakup berbagai teknik yang dapat dipilih sesuai dengan kondisi dan kebutuhan perbaikan.

2.3.1 Teknik Pengikisan Beton yang Rusak (*Concrete Removal*)

Berikut merupakan teknik pengikisan beton berdasarkan ACI 546-14.

a. Pertimbangan umum

Pengikisan beton yang telah mengalami kerusakan penting dilakukan karena beberapa alasan. Pertama, kekuatan beton yang rusak akan berkurang, yang berdampak langsung pada penurunan kapasitas struktur untuk menahan beban. Kedua, beton yang mengalami deteriorasi dapat mengandung substansi yang merusak, seperti klorida, yang tidak hanya membahayakan kekuatan beton yang sudah ada tetapi juga dapat merusak lapisan beton baru yang diaplikasikan. Selain itu, beton yang sudah tua umumnya lebih porous dan memungkinkan penetrasi air yang memperburuk kondisi kerusakan. Terakhir, adanya korosi pada tulangan yang rusak memerlukan tindakan khusus seperti pembersihan dari produk korosi dan penggantian sebagian dengan batang atau unit baru untuk memastikan integritas struktural tetap terjaga (Silfwerbrand, 2009).

Pengikisan beton yang rusak harus dilakukan dengan teknik yang efektif, aman, ekonomis, dan ramah lingkungan. Teknik pengikisan yang dipilih dapat mempengaruhi waktu struktur tidak dapat digunakan. Informasi penting seperti ukuran, jumlah, dan lokasi baja tulangan serta jenis agregat perlu dipertimbangkan untuk menentukan metode yang efektif dan biaya *concrete removal*.

b. Penyangga sementara

Sebelum pengikisan beton, analisis harus dilakukan untuk menentukan bagian yang memerlukan penyangga sementara untuk mencegah deformasi struktural atau kemungkinan keruntuhan.

c. Volume beton yang harus dikikis

Semua beton yang rusak harus dikikis. Survei kondisi menyeluruh harus dilakukan sedekat mungkin dengan waktu pelaksanaan pekerjaan perbaikan untuk mengurangi ketidakakuratan estimasi. Beton rusak di sekitar baja tulangan harus

dihilangkan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, dengan jarak minimal 19 mm dari beton di sekitarnya jika terdapat karat.

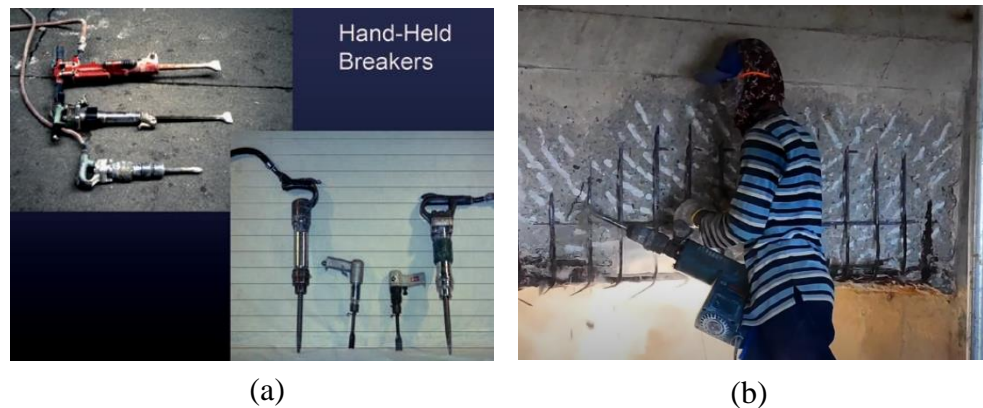
Potongan beton harus dilakukan dengan sudut lebih dari 90° untuk menghindari *undercutting*, yang dapat menyebabkan kerusakan struktural lebih lanjut, dan sudut maksimal 135° untuk mengurangi risiko *debonding* di sekitar tepi area perbaikan. Selain itu, permukaan substrat harus memiliki kekasaran minimal 2 mm. Kekasaran ini membantu dalam menciptakan ikatan yang lebih kuat antara material perbaikan dan beton eksisting.

d. Metode pengikisan beton

Metode pengikisan beton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap permukaan beton yang tersisa serta sifat lapisan teratas dari beton tersebut. Beberapa metode meninggalkan permukaan yang kasar namun kokoh yang mendukung adhesi yang baik, sedangkan metode lainnya mungkin menyebabkan retakan mikro hingga kedalaman tertentu pada beton yang tersisa. Ada metode yang hanya dapat menghilangkan lapisan tipis beton, sementara beberapa lainnya mampu mengikis beton hingga kedalaman yang signifikan.

Metode pengikisan beton yang paling umum adalah metode *impact*, yang melibatkan pemukulan permukaan beton dengan alat berenergi tinggi. *Handheld breakers* (lihat **Gambar 2**), atau *chipping hammer*, tersedia dalam berbagai ukuran dengan berat berkisar antara 3,5 hingga 41 kg. Semakin besar ukurannya maka semakin besar pula potensi untuk menyebabkan retak mikro. *Hand-held breakers* yang lebih kecil biasanya digunakan untuk pengikisan parsial beton serta pengikisan beton di sekitar baja tulangan, karena alat yang lebih kecil meminimalkan kerusakan pada beton eksisting dan baja tulangan. *Hand-held breakers* yang lebih besar digunakan untuk pengikisan volume beton yang lebih besar. Perhatian diperlukan saat memilih ukuran *breaker* untuk meminimalkan kerusakan pada struktur dan untuk menghindari pecahan atau retakan pada bagian yang tersisa. Sebagian besar permukaan dapat dijangkau oleh *chipping hammer*, sementara *handheld breaker* efektif digunakan pada permukaan horizontal. Meskipun merupakan alat yang umum digunakan, *hand held-breakers* memiliki beberapa keterbatasan seperti dapat menyebabkan retakan mikro dan dapat merusak tulangan.

Berdasarkan ICRI 310.2R-14, *handheld breakers* akan menghasilkan debu yang mengandung silika dan partikel dari bahan yang sedang dihilangkan. Tingkat kebisingan kemungkinan akan melebihi 85 dB, sehingga diperlukan alat pelindung diri (APD) seperti pelindung mata, pelindung pernapasan, pelindung pendengaran seperti *earplug* dan *earmuffs*, dan sarung tangan yang digunakan saat mengoperasikan alat.



Gambar 2. (a) Alat *hand-held breaker*, (b) Penghilangan beton yang rusak pada balok dermaga

Menurut Silfwerbrand (2009), teknik *water jetting* atau hidrodemolisi merupakan teknik yang memiliki kemampuan untuk menghilangkan beton secara selektif dengan kata lain dapat menghilangkan bagian-bagian tertentu tanpa merusak bagian lain. Teknik *water jetting* dengan tekanan 35-375 MPa dapat digunakan untuk menghilangkan *laitance* (lapisan tipis hasil hidrasi yang tidak kuat), *efflorescence* (pengendapan garam), kerak, kotoran, atau kontaminan lainnya. Dengan tekanan dan *nozzle* yang sesuai, pelapis epoksi, uretana, dan metakrilat serta sistem overlay tipis dapat dihilangkan. Metode ini juga dapat digunakan untuk menghilangkan beton yang terkarbonasi, rusak akibat siklus beku-cair, melemah, delaminasi, atau beton yang tidak diinginkan lainnya dari substrat. Metode ini cocok untuk aplikasi horizontal, vertikal, dan *overhead*. Tekanan dalam kisaran yang lebih tinggi mungkin diperlukan untuk menghilangkan beberapa material pelapis. Metode ini akan membersihkan baja tulangan, namun *flash rust* (karat cepat) mungkin terjadi. Berdasarkan ICRI 130, pengoperasian *water jetting* dapat menciptakan aliran air yang berbahaya dan dapat menghasilkan tingkat kebisingan yang dapat melebihi 85 dB, oleh karena itu sangat disarankan

menggunakan APD seperti kacamata, pelindung pendengaran, pelindung kaki dan tubuh.

2.3.2 Teknik Persiapan Permukaan (*Surface Preparation*)

Penelitian oleh Said et al. (2023) mengevaluasi perbaikan balok beton bertulang yang mengalami kerusakan *spalling* menggunakan metode *grouting* dengan bahan SikaGrout-215 dan Sika Bonding Adhesive. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode *grouting* yang diterapkan tidak sepenuhnya efektif dalam memulihkan kekuatan struktural balok yang mengalami korosi, sebagaimana ditunjukkan oleh penurunan beban maksimum pada balok BGR sebesar 47,62% dibandingkan dengan balok BK. Meskipun metode ini dapat membantu mengembalikan bentuk beton yang mengalami *spalling*, *grouting* tidak mampu meningkatkan kapasitas beban maksimum secara signifikan. Meskipun balok yang diperbaiki dengan *grouting* menunjukkan peningkatan daktilitas, hal ini ternyata tidak cukup untuk meningkatkan kapasitas balok. Namun, peningkatan tersebut masih memberikan manfaat berupa deformasi yang lebih besar sebelum balok mengalami kegagalan total. Selain itu, kegagalan yang terjadi karena *debonding* menandakan bahwa adhesi antara mortar *grouting* dan beton normal belum cukup kuat. Berdasarkan temuan ini, disarankan untuk melakukan persiapan permukaan yang lebih baik serta mempertimbangkan penggunaan bahan tambahan yang dapat meningkatkan adhesi, guna mencegah terjadinya *debonding*, terutama pada struktur dengan tulangan yang mengalami korosi.

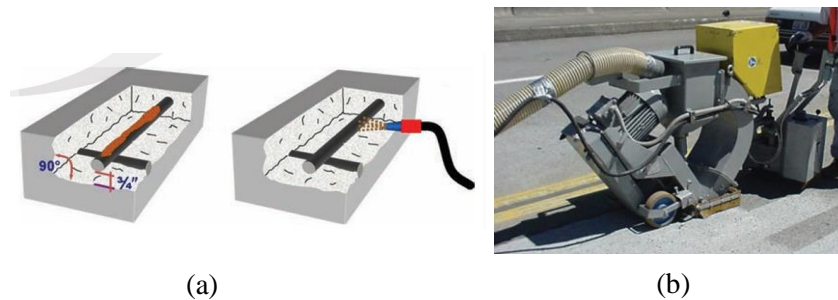
a. Pertimbangan umum

Penting untuk memastikan perbaikan yang efektif dan tahan lama. Beberapa metode penghilangan beton dapat digunakan untuk persiapan permukaan, namun mungkin tidak semuanya efektif atau sesuai. Memilih metode yang tepat sangat penting karena mempengaruhi biaya dan kinerja perbaikan.

1) Metode *surface preparation*

Abrasive blasting, seperti *sandblasting* dan *shotblasting*, adalah metode yang umum digunakan. *Sandblasting* menggunakan aliran udara terkompresi pada tekanan minimal 0.7 MPa untuk membersihkan permukaan beton dan baja (lihat **Gambar 3(a)**). *Shotblasting* menggunakan tembakan baja dalam

ruang tertutup untuk menghilangkan beton dan kontaminan permukaan (lihat **Gambar 3(b)**).

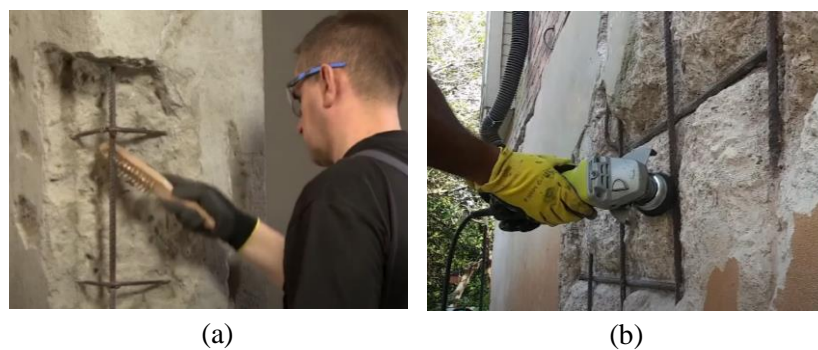


Gambar 3. (a) *Sandblasting* (b) *Shotblasting*

Berdasarkan ICRI 310.2R-2013, *abrasive blasting* akan menyebabkan pelepasan debu yang mengandung silika dan partikel dari material apa pun yang sedang dihilangkan. Selain itu, tingkat kebisingan kemungkinan akan melebihi 85 dB, sehingga ada beberapa APD yang disarankan dalam pelaksanaan *surface preparation* dengan *abrasive blasting* seperti pelindung wajah, pelindung pernapasan, pelindung pendengaran seperti *ear plug* atau *earmuffs*, pakaian pelindung, dan sarung tangan khusus saat mengoperasikan peralatan yang dipegang.

2) Pembersihan baja tulangan

Semua permukaan tulangan yang terbuka harus dibersihkan dari karat dan kontaminan lainnya. *Sandblasting* adalah metode yang umum digunakan untuk pembersihan baja tulangan, sementara sikat kawat (*wirebrush*), *power tools* seperti alat *grinder* ataupun metode pembersihan tangan dapat digunakan untuk area yang kecil. (lihat **Gambar 4(a)** dan **(b)**)



Gambar 4. Pembersihan korosi pada tulangan dengan menggunakan *wirebrush*, (b) Pembersihan tulangan dengan menggunakan *power tools*

Penelitian oleh Billah (2024), mengevaluasi perbaikan balok beton bertulang yang mengalami *spalling* menggunakan metode *grouting* dengan berbagai pendekatan, termasuk *surface preparation* melalui *sandblasting* dan penggunaan *bonding agent*. *Sandblasting* efektif untuk menghilangkan korosi pada baja tulangan seperti pada **Gambar 5(a)** dan **(b)**. Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok BGA mengalami penurunan kapasitas sebesar 49,24% dibandingkan balok kontrol, sedangkan balok BGB menunjukkan penurunan kapasitas momen yang lebih besar, yaitu 49,97%. Hal ini menunjukkan bahwa *bonding agent* tidak memberikan peningkatan yang diharapkan dalam kekuatan ikatan. Sebaliknya, balok BGC yang menggunakan kombinasi *sandblasting* dan *bonding agent* mengalami penurunan kapasitas momen paling kecil, yaitu 37,07% dan tidak mengalami kegagalan *debonding*. Ini mengindikasikan bahwa metode ini lebih efektif dalam meningkatkan adhesi di area sambungan. Dari segi daktilitas, balok BGC memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan metode lainnya. Namun, keunggulan dalam pencegahan *debonding* menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk dipertimbangkan dalam pelaksanaan perbaikan.



(a)

(b)

Gambar 5. (a) Tulangan sebelum *sandblasting* (b) Tulangan setelah *sandblasting*

3) Pembersihan akhir area perbaikan

Setelah persiapan permukaan dan pembersihan baja tulangan selesai, permukaan harus bersih, kering, dan bebas dari retakan mikro dan kontaminan. Teknik pembersihan akhir mungkin memerlukan *sandblasting*, *waterblasting*, atau *vacuum*.

2.3.3 Material Perbaikan

Masalah utama dalam perbaikan struktur adalah tercapainya kompatibiliti dan kontinuitas perilaku struktur antara material eksisting dengan material baru. Oleh karena itu, material perbaikan hendaknya memenuhi beberapa konsep sebagai berikut.

1) Lekatan (*bonding*)

Untuk menjaga *bonding* yang baik antara beton dan material perbaikan, permukaan beton lama harus bersih dan stabil. Kriteria kebersihan dan kestabilan permukaan beton lama adalah sebagai berikut.

- a. Permukaan yang diperbaiki harus bersih secara fisik (dari kotoran dan debu), maupun secara kimia (dari minyak, lapisan tipis oli, dan karat).
- b. Permukaan beton yang diperbaiki harus memiliki kekerasan yang cukup dan tidak mudah lepas. Untuk memastikan kekerasan yang cukup, permukaan dapat dipersiapkan dengan penyikatan menggunakan sikat baja (*wire brush*) atau dengan *sandblasting* (penyemprotan pasir dengan tekanan tinggi).

2) *Shrinkage*

Bahan perbaikan harus bersifat *non-shrinkage* (tidak menyusut). Jika bahan perbaikan terbuat dari bahan dasar semen, maka digunakan fas sekecil mungkin dan dilakukan curing dengan baik. Alternatif lainnya menggunakan *expansive material*.

3) Kekuatan Bahan Perbaikan

Kekuatan bahan perbaikan harus minimal sama dengan kekuatan beton yang diperbaiki untuk mencegah kerusakan pada bahan perbaikan. Selain itu, modulus elastisitas bahan perbaikan harus mendekati dan minimal sama dengan beton yang diperbaiki, untuk menghindari perbedaan deformasi yang terlalu besar yang dapat menyebabkan retak.

a. Material penggantian dan *overlay* beton**Tabel 1.** Material penggantian dan *overlay* beton

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
<i>Conventional concrete</i>	Terdiri dari semen portland, agregat, dan air.	Digunakan untuk perbaikan struktural umum pada bangunan, jalan raya, dan infrastruktur lainnya. Perbaikan parsial/ <i>full</i> , <i>overlay</i> permukaan lebih dari 50 mm.	ASTM C94,
<i>Conventional mortar</i>	Terdiri dari campuran semen portland, agregat halus, dan air.	Cocok untuk perbaikan detail dan area kecil, seperti tambalan pada dinding dan lantai.	ASTM C387
<i>Proprietary concrete and mortars</i>	Terdiri dari semen portland atau semen khusus, agregat halus, dan bahan tambahan.	Ideal untuk perbaikan dengan ketebalan variabel, sering digunakan dalam proyek restorasi dan renovasi. Direkomendasikan untuk perbaikan setipis 3 mm.	ASTM C928
<i>Cement grout</i>	Terdiri dari semen hidraulik, agregat halus, dan air dengan konsistensi plastis, mudah mengalir, atau cair.	Digunakan untuk memperbaiki beton yang terkelupas (<i>spalling</i> atau <i>honeycomb</i>) dan injeksi dengan lebar retakan min. 6 mm	The U.S. Army Corps of Engineers CRD C621-93

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
<i>Polymer-portland-cement concrete and mortar (PPCC)</i>	Terdiri dari semen portland, agregat, dan polimer organik yang tersebar dalam air.	Digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap air, garam, pembekuan, dan pencairan, seperti dek jembatan dan struktur parkir. Digunakan untuk <i>overlay</i> dengan ketebalan 1.5 hingga 4 in. (40 hingga 100 mm) untuk beton dan 0.75 hingga 1.5 in. (20 hingga 40 mm) untuk mortar.	ASTM C685, ASTM 1438, ASTM C1439
<i>Polymer concrete and mortar (PC)</i>	Terdiri dari campuran agregat diikat dengan polimer.	Cocok untuk perbaikan cepat di area yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ketahanan kimia, seperti lantai industri dan dek jembatan. <i>Overlay</i> tipis 0.1 hingga 0.75 in. (3 hingga 19 mm) untuk lantai dan dek jembatan.	ACI 503.4, ASTM C881
<i>Magnesium phosphate concrete and mortar (MPC)</i>	Terdiri dari campuran semen, fosfat magnesium, agregat nonkalkareus, semen portland.	Diterapkan untuk perbaikan cepat pada infrastruktur kritis seperti jalan raya dan bandara.	-
<i>Supplementary cementitious materials</i>	Terdiri dari silika <i>fume concrete</i> , <i>shrinkage-compensating cement</i> , <i>rapid-setting cements</i> .	Digunakan dalam aplikasi khusus yang membutuhkan peningkatan performa beton, seperti pelat beton dan struktur hidraulik.	ASTM C1240, ASTM C845,

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
			ASTM C1600, ASTM C928
<i>Common admixtures</i>	Terdiri dari <i>accelerating admixtures</i> , <i>retarding admixtures</i> , <i>water-reducing admixtures</i> , <i>corrosion-inhibiting admixtures</i> , <i>lithium-based admixtures</i> , <i>anti-washout admixtures</i> .	<i>Admixtures</i> digunakan dalam berbagai kondisi untuk meningkatkan kualitas dan kinerja beton, seperti mempercepat waktu <i>setting</i> , menunda waktu <i>setting</i> , meningkatkan <i>workability</i> , melindungi baja tulangan dari korosi, dan mengontrol reaksi alkali-silika.	ASTM C125, ASTM C949 dan D98, ASTM C494, ACI 212.3R, ASTM C1582, ASTM G109

b. Material perbaikan retak

Tabel 2. Material perbaikan retak

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
<i>Epoxy resin</i>	Polimer termoset yang mengeras dengan agen katalis atau pengeras. Tidak memerlukan persiapan permukaan khusus.	Digunakan untuk retakan lebar 0,002 hingga 0,25 inci (0,05 hingga 6 mm). Hanya untuk retakan yang tidak bergerak. Diinjeksikan dengan <i>gravity feed</i> atau <i>pressure injection</i> .	ASTM C1116

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
<i>Urethane resin</i>	Polimer termoset mirip epoksi, cocok untuk perbaikan retakan bergerak dan statis dengan lebar dan kedalaman bervariasi.	Dapat diaplikasikan pada suhu di bawah -20°F . Biasanya diinjeksikan dengan metode gravitasi.	-
<i>Polyurethan chemical grout</i>	Terdiri dari resin poliuretan yang bereaksi dengan air membentuk busa sel tertutup atau gel.	Digunakan untuk memperbaiki retakan basah dan aktif. Cocok untuk struktur yang menampung air seperti tangki penyimpanan cairan, bendungan, terowongan, dan saluran pembuangan.	ASTM D1628
<i>Polyurethane sealant</i>	Polimer dari reaksi isosianat dan senyawa yang mengandung hidroksil, seperti polioliol.	Digunakan pada retakan dan sambungan selebar 2 inci (50 mm). Sering digunakan bersama pelapis dek atau pelapis dinding arsitektural.	ASTM C920
<i>Silicone sealant</i>	Tahan UV, tidak berubah warna, memiliki perpanjangan tinggi (1000 persen atau lebih per ASTM D412).	Digunakan untuk menutup retakan selebar 0,1 hingga 2 inci (2,5 hingga 50 mm). Tidak cocok untuk perendaman air.	ASTM C920
<i>Methacrylate</i>	Mengikat retakan akibat getaran lalu lintas, mengisi dan mengikat retakan kecil, melindungi slab dari air, garam, bahan kimia berbahaya.	Aplikasi terbaik pada permukaan horizontal; cocok untuk dek jembatan, garasi parkir, lantai industri, atau slab beton dengan banyak retakan acak.	ASTM C882

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
<i>Polymer grout</i>	Cocok untuk perbaikan struktural retakan, mirip dengan resin epoksi.	Tersedia dalam berbagai konsistensi untuk aplikasi vertikal, <i>overhead</i> , dan horizontal. Digunakan untuk retakan dorman lebar 0,25 inci (6 mm) atau lebih.	ASTM C882, D638, D695 C881
<i>Polymer cement grout</i>	Campuran semen, agregat halus, air, dan polimer seperti akrilik, stirena-akrilik, stirena butadiena, atau epoksi berbasis air.	Digunakan untuk memperbaiki retakan lebar 0,25 inci (6 mm) atau lebih.	ASTM C1438, ASTM C1439, C157, C293, C469, C496, C531
<i>Cement grout</i>	Campuran semen dan air, dengan atau tanpa campuran tambahan dan agregat. Konsistensi bervariasi dari cair hingga kaku.	Digunakan untuk memperbaiki retakan lebar 0,25 inci (6 mm) atau lebih.	ASTM C1107

c. *Bonding material*

Tabel 3. *Bonding material*

Material	Deskripsi	Aplikasi	Standar
-----------------	------------------	-----------------	----------------

<i>Epoxy bonding material</i>	Dikenal dengan sifat adhesi yang sangat baik, kekuatan kompresi tinggi, dan toleransi terhadap kelembapan.	Digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ikatan struktural yang kuat, seperti perbaikan beton yang memerlukan kekuatan tinggi.	ASTM C881, AASHTO M-235
<i>Latex bonding material</i>	Lebih ekonomis dan mudah digunakan serta cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan kekuatan ikatan yang tinggi.	Cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan kekuatan ikatan yang sangat tinggi, seperti perbaikan beton umum dan aplikasi non-struktural.	ASTM C1059
<i>Modified epoksi bonding material</i>	Kombinasi epoksi dan semen, memberikan waktu kerja yang lebih lama dan cocok untuk aplikasi perbaikan <i>spall</i> .	Digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ikatan yang kuat dengan waktu kerja yang lebih fleksibel, seperti perbaikan beton dengan <i>spall</i> .	ASTM C882
<i>Cement-based bonding material</i>	Menggunakan semen portland atau campuran semen dengan agregat halus.	Digunakan untuk aplikasi tradisional yang tidak memerlukan bahan kimia tambahan dan lebih ekonomis, seperti perbaikan beton umum.	-

d. Material pelapisan pada tulangan (*coating on reinforcement*)

Pelapisan pada tulangan dapat memperlambat korosi dengan bahan seperti epoxy, zinc, cementitious, latex cement, acrylic latex, atau kombinasinya. Pelapis ini berfungsi sebagai penghalang untuk mencegah kontak baja dengan udara, air, atau bahan kimia korosif, dan sering mengandung bahan yang menghambat korosi. Untuk aplikasinya, batang baja tulangan harus kering dan bersih, seringkali dengan *abrasive blasting* untuk menghilangkan karat dan beton sebelum pelapisan. Pelapis harus diterapkan secara merata dan sepenuhnya melapisi batang tulangan.

2.3.4 Teknik Perbaikan Beton

Berdasarkan ACI 546R-14, berikut adalah teknik yang digunakan pada perbaikan beton.

a. Perbaikan retak

- 1) Injeksi epoksi : penyuntikan resin epoksi ke dalam retakan dilakukan dengan tekanan 200-300 psi untuk retakan umum dan 300-500 psi untuk retakan halus. Injeksi bertekanan rendah (≤ 15 psi) digunakan untuk aplikasi halus. Terdapat dua metode injeksi epoksi yaitu *vacuum injection* dan *gravity feed*.
- 2) Injeksi *grouting* : digunakan untuk mengisi retakan, sambungan terbuka, dan rongga interior dengan berbagai bahan seperti semen, polimer, dan epoksi. Proses ini melibatkan pembilasan dengan air bersih dan *grouting* mulai dari yang relatif tipis hingga yang lebih tebal.
- 3) *Sealants* : digunakan untuk menutup retakan aktif dan non-aktif dengan lebar hingga 2 inci (50 mm) untuk poliuretan dan 3-4 inci (75-100 mm) untuk silikon.
- 4) *Strip-and-seal system* : menggunakan lembaran fleksibel yang dipasang melintasi retakan atau sambungan. Sistem ini memiliki sifat elongasi yang sangat baik dan tahan terhadap UV.

b. Penggantian beton yang rusak

- 1) *Top surface* : perbaikan horizontal yang digunakan pada pelat beton yang mengalami delaminasi. Persiapan permukaan sangat penting untuk kinerja perbaikan.

- 2) *Form and pour* : perbaikan permukaan horizontal dengan pemasangan bekisting dan penuangan material perbaikan. Digunakan pada lantai bangunan, jalan beton, dan struktur horizontal lainnya.
- 3) *Form and pump* : perbaikan vertikal dan *overhead* dengan mengganti beton yang rusak menggunakan mortar atau beton yang dipompa.
- 4) Pengaplikasian dengan tangan : digunakan untuk perbaikan beton vertikal dan *overhead* yang memburuk dengan aplikasi material perbaikan menggunakan alat seperti *trowel*.
- 5) *Shotcrete* : proses perbaikan beton vertikal dan *overhead* dengan menembakkan beton atau mortar ke permukaan dengan kecepatan tinggi. Digunakan pada substruktur jembatan, tiang, dan terowongan.
- 6) *Preplaced aggregate* : mengganti beton dengan mengisi rongga dengan agregat kasar yang dipompa, digunakan pada proyek perbaikan bawah air.
- 7) *Underwater placement* : digunakan untuk perbaikan beton di bawah air dengan menggunakan tremie atau pompa, cocok untuk fondasi jembatan dan bendungan.

2.4 Metode Grouting

Berdasarkan Sika (n.d.), *grouting* adalah metode perbaikan beton dengan menggunakan material semen *grout*. Kelebihan dari material semen *grout* ini adalah tidak susut dan memiliki mutu yang tinggi. *Grouting* biasa digunakan untuk memperbaiki beton yang gompal (*spalling*) atau keropos (*honeycomb*).

a. Produk *grouting*

Tabel 4. Produk perbaikan *grouting*

Produk	Material	Density (kg/lt)	Flexural Strength (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)			
				1 Hari	3 Hari	7 Hari	28 Hari
Sika Repair Mortar ID	<i>Cement</i>	2.21	-	~ 13	-	-	~ 30

SikaGrout 200 PT-id	<i>Cement</i>	2.1	-	~ 25	~ 35	~ 45	~ 55
SikaGrout 201	<i>Cement</i>	2.14	-	~ 25	~ 40	~ 55	~ 68
SikaGrout FM	<i>Cement</i>	2.21	~ 5	~ 15	~ 30	~ 40	~ 55
SikaGrout 215 (New)	<i>Cement</i>	2.26	~ 6	~ 24	~ 40	~ 52	~ 65

Mortar *grouting* digunakan sebagai bahan pengisi untuk perbaikan komponen struktur. SikaGrout-215 (New) adalah produk semen *grouting* siap pakai yang memenuhi standar CDR C-621 dan ASTM C-1107, dengan karakteristik tidak menyusut dan aliran yang baik. SikaGrout-215 (New) berfungsi untuk memperbaiki beton yang keropos, mengisi celah dan rongga, serta dapat diaplikasikan pada berbagai struktur bangunan.

Tabel 5. Karakteristik SikaGrout 215 (new)

Sifat- Sifat Material <i>Grouting</i>			
Sifat- Sifat	Nilai Test		
Kuat Tekan	1 day	25.0 N/mm ²	(ASTM C-109)
	3 days	40.0 N/mm ²	
	7 days	52.0 N/mm ²	
	28 days	65.0 N/mm ²	
Kuat Tarik Lentur	28 days	> 6.0 N/mm ²	(ASTM C-348)
Kuat Tarik Adhesi	28 days	>1.5 N/mm ² (Kegagalan Beton) >2.5 N/mm ²	
<i>Expansion</i>	1 – 3 h (at ± 27°C)	0.30 – 1.40%	(ASTM C-940)

b. Metode *grouting*

- 1) *Chipping (hand chisel)*
- 2) Bersihkan kotoran pada permukaan (*wire brush*)
- 3) Bersihkan debu dan kotoran (*compressor/vacuum*)

- 4) Pemasangan bekisting
- 5) Lembabkan permukaan (*saturated condition*)
- 6) Penuangan *grouting*
- 7) Pelepasan bekisting (setelah 24 jam aplikasi)
- 8) *Curing* dengan *curing compound* (Antisol S)



Gambar 6. *Grouting* dengan metode tuang



Gambar 7. *Grouting* dengan metode injeksi

Berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum (2009) dalam standar operasional prosedur yang berisi penjelasan metode perbaikan dimensi struktur yang sudah mengalami kerusakan seperti kerontokan, pengelupasan (*spalling*), keropos atau gompal dengan cara *grouting*. Tujuan dari perbaikan dimensi pada struktur beton adalah untuk mengembalikan dimensi struktur seperti pada awalnya untuk menambah kekuatan struktur beton sampai batas tertentu. Pedoman ini berisikan acuan-acuan yang digunakan dalam perbaikan dimensi struktur beton dengan cara *grouting*, seperti sebagai berikut.

1. Bahan *grouting* untuk perbaikan dimensi yang digunakan adalah bahan dasar monomer atau *polymer mortar* atau *polymer modified cementitious* yang

mempunyai kuat tekan lebih dari 50 MPa yang disesuaikan dengan struktur beton yang akan diperbaiki dimensinya.

2. Persyaratan bahan *grouting* seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Persyaratan bahan *grouting*

Metode Pengujian	Hasil Uji Tipikal
Kuat tekan @ 20°C	15 MPa @ 24 hours 34 MPa @ 28 days
Kuat lentur	6 MPa @ 28 days
Kuat tarik	2 MPa @ 28 days
<i>Slant shear bond strength to concrete</i>	25 N/mm ² @ 28 days
Penyerapan air	0.18 ml/m ² /sec (10 mins) 0.06 ml/m ² /sec (2 hours)
Koefisien pengembangan tempertur	7 to 12 x 10 ⁻⁶ /°C
Waktu pengerasan (<i>setting time</i>)	<i>Typically</i> 2 to 4 hours
<i>Fresh wet density</i>	1750 kg/m ³ at 0.18 water : <i>powder ratio</i>

3. Prosedur pelaksanaan perbaikan dimensi pada struktur beton dengan cara *grouting* terdiri dari
- Persiapan lapangan, pada tahap ini dilakukan pembersihan struktur yang akan diperbaiki dimensinya dan pemberian tanda bagian struktur beton yang akan diperbaiki sesuai dengan kerusakan yang terjadi.



Gambar 8. *Marking* area perbaikan pada beton bertulang yang mengalami kerusakan

- b. Persiapan permukaan struktur beton yang akan dilakukan penambalan, pada tahap ini akan dilakukan *chipping* bagian yang akan diperbaiki sampai kedalam beton yang padat. *Chipping* dilakukan sampai 2-3 cm di belakang baja tulangan. Bersihkan serpihan beton yang telah di-*chipping*.



Gambar 9. (a) *Chipping* pada kolom, (b) *Chipping* beton pada struktur *overhead*

- c. Pemeriksaan baja tulangan apakah memerlukan perbaikan atau tidak, jika baja tulangan mempunyai diameter kurang dari 80% akibat korosi maka baja tulangan memerlukan perbaikan dengan cara dibersihkan menggunakan sikat kawat (*wire brush*) sampai tidak ada bagian yang terlepas dari tulangan, lalu diberikan lapisan anti karat.



Gambar 10. (a) Pemberian lapisan anti karat pada tulangan pelat, (b) Pemberian lapisan anti karat pada tulangan balok

- d. Pemasangan acuan, pada tahap ini acuan yang kuat disiapkan untuk menahan tekanan bahan *grouting* dengan dimensi yang disyaratkan. Acuan harus kedap air dan memiliki permukaan yang licin. Selain itu, acuan harus diberi lubang untuk memasukkan bahan *grouting* dan lubang udara.



Gambar 11. (a) Pemasangan bekisting pada struktur balok, (b) Pengencangan baut pada sambungan bekisting balok

- e. Pencampuran bahan *grouting*, pada tahap ini dilakukan pencampuran bahan *grouting* sesuai dengan persyaratan dari pabrik pembuat.



Gambar 12. (a) Pencampuran material *grouting*, (b) Penuangan material *grouting* pada alat injeksi

- f. Perbaikan dimensi, tahap ini dimulai dengan membasahi permukaan struktur beton sampai lembab. Lalu, permukaan beton dilapisi dengan bahan *coating* atau *bonding agent*.



Gambar 13. Pengaplikasian *bonding agent*

- g. Setelah itu, pompakan bahan *grout* ke dalam acuan. Pastikan semua bagian terisi dengan bahan *grout*. Langkah terakhir adalah menutup lubang bekas pemompaan.



Gambar 14. Pengisian bahan *grout*

- h. Pekerjaan akhir (*finishing*), acuan dibuka setelah 3 hari lalu dilakukan *curing* sesuai dengan persyaratan selama bahan dalam proses pengeringan



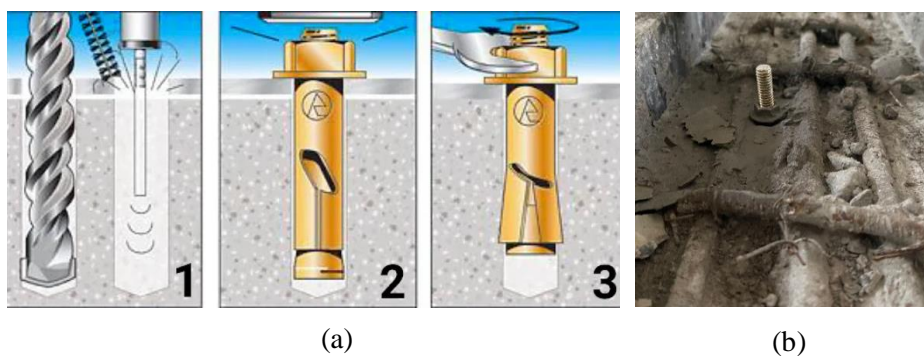
Gambar 15. *Curing* pada beton

2.5 Material Perkuatan

Material perkuatan digunakan dalam perbaikan beton bertulang untuk memulihkan atau meningkatkan kekuatan struktural dari struktur yang ada. Material ini penting dalam proses perbaikan karena mereka membantu mengatasi kelemahan yang mungkin telah berkembang di beton karena berbagai alasan misalnya korosi pada tulangan.

2.5.1 Angkur

Pemasangan angkur pada beton bertulang merupakan salah satu metode yang bertujuan untuk meningkatkan daya rekat antara beton eksisting dengan material perbaikan. Berdasarkan ACI 546R-14, jenis angkur yang digunakan adalah *post-installed anchors* berupa *dynabolt* yang memiliki selongsong logam yang mengelilingi stud baja. Ketika mur pada angkur ini dikencangkan, selongsong logam akan mengembang sehingga dapat menahan di dinding lubang dengan kuat.



Gambar 16. (a) Mekanisme kerja *dynabolt*, (b) *Dynabolt* yang terpasang pada beton eksisting

Penelitian yang dilakukan oleh Ali et al. (2024), mengenai kapasitas lentur balok beton bertulang yang diperbaiki dengan mortar *grouting* dan lembaran GFRP yang dilengkapi dengan angkur *dynabolt*. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki balok yang mengalami *spalling* akibat korosi dengan menggunakan mortar *grouting* dengan penambahan GFRP dan *dynabolt*. Penggunaan *dynabolt* dalam sambungan bertujuan untuk meningkatkan ikatan antara beton lama dan material perbaikan baru. Dalam penelitian ini, digunakan 8 balok beton bertulang dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 3300 mm diuji dengan empat variasi, yaitu balok kontrol (BE); balok yang diperbaiki dengan mortar *grouting* dan lembaran GFRP (BGS); balok dengan mortar *grouting*, lembaran GFRP, dan 4 *dynabolt* (BGS-DN4), balok dengan mortar *grouting*, lembaran GFRP, dan 8 *dynabolt* (BGS-DN8). Berdasarkan hasil uji lentur, penggunaan mortar *grouting* dan lembaran GFRP (BGS) meningkatkan kapasitas lentur balok beton bertulang sebesar 57,2% dibandingkan balok eksisting (BE). Selain itu, mortar *grouting*, *dynabolt*, dan lembaran GFRP (BGS-DN4 dan BGS-DN8) meningkatkan beban

ultimit sebesar 61,0% dan 46,8% dibandingkan dengan BE. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan *dynabolt* pada balok BGS-DN4 dan BGS-DN8 meningkatkan daya rekat pada area sambungan dan juga mencegah kegagalan delaminasi antara beton lama dan mortar *grouting*.

2.5.2 *Wiremesh*

Penambahan *wiremesh* sebagai perkuatan pada balok beton bertulang bertujuan untuk menggantikan luas tulangan yang hilang akibat korosi. Pemasangan *wiremesh* dilakukan setelah mengaplikasikan material *bonding agent*.

Penelitian oleh Muhlis (2024), mengevaluasi perbaikan balok beton bertulang yang mengalami kerusakan *spalling* akibat korosi dengan menggunakan metode *grouting* yang dikombinasikan dengan *wiremesh*. Benda uji terdiri dari balok kontrol (BK), balok yang diperbaiki dengan *grouting* dan *bonding agent* (BGN), serta balok yang diperkuat tambahan dengan *wiremesh* (BGN-R). Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok BGN mengalami penurunan kekuatan sebesar 42,97% dibandingkan balok kontrol, sementara balok BGN-R mengalami penurunan kekuatan sebesar 35,36%, namun berhasil meningkatkan kekuatan sebesar 13,33% dibandingkan dengan balok BGN. Semua benda uji mengalami kegagalan lentur, yang ditandai dengan hancurnya beton pada sisi tekan, dan pola retak lentur yang mengikuti bentuk sambungan. Selain itu, terdapat masalah *debonding* pada daerah sambungan antara balok eksisting dan material *grouting*, yang menunjukkan adanya kelemahan dalam adhesi yang mengurangi efektivitas metode perbaikan.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam SOP perbaikan beton dengan metode *grouting*, penambahan *wiremesh* dapat digunakan sebagai salah satu metode perkuatan, terutama untuk balok yang mengalami *spalling* akibat korosi karena *wiremesh* dianggap dapat menggantikan luasan tulangan yang hilang akibat *spalling* meskipun metode ini mungkin tidak cukup untuk mengembalikan kekuatan balok ke kondisi semula. Selain itu, pada SOP perlu dimasukkan prosedur untuk mencegah *debonding* dengan memastikan adhesi yang kuat antara *grouting* dan beton eksisting, mungkin melalui persiapan permukaan yang lebih baik atau

penggunaan bahan tambahan yang dapat meningkatkan ikatan di area sambungan seperti *dynabolt*.