SKRIPSI

EFEKTIVITAS PERBAIKAN *GROUTING* PADA SELIMUT BALOK BETON DENGAN TULANGAN TARIK BERKARAT

Disusun dan diajukan oleh:

MARCELINO PUTRA GARESO
D011 20 1111

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

EFEKTIVITAS PERBAIKAN GROUTING PADA SELIMUT BALOK BETON DENGAN TULANGAN TARIK BERKARAT

Disusun dan diajukan oleh

Marcelino Putra Gareso
D011201111

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 11 September 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng
NIP 197011081994121001

Pembimbing Pendamping,

Dr. Eng. Fakhruddin, ST, M.Eng
NIP 198702282019031005

Ketua Program Studi,

Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP 196805292002121002

Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama	:	Marcelino Putra Gareso
NIM	:	D011201111
Program Studi	:	Teknik Sipil
Jenjang	:	S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Efektivitas Perbaikan Grouting Pada Selimut Balok Beton Dengan Tulangan Tarik Berkarat}

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, September 2024

Yang Menyatakan

Marcelino Putra Gareso

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

MARCELINO PUTRA GARESO. *Efektivitas Perbaikan Grouting Pada Selimut Balok Beton Dengan Tulangan Tarik Berkarat* (dibimbing oleh Rudy Djamaluddin dan Fakhruddin)

Dalam dunia konstruksi, beton bertulang merupakan salah satu bahan yang paling sering digunakan dalam pembangunan gedung dan jembatan. Namun baja memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami korosi pada kondisi lembap. Beton bertulang dapat mengalami penurunan dari segi kekuatan struktur apabila mengalami korosi. Korosi pada tulangan baja bisa mengakibatkan hilangnya luasan tulangan, penurunan kekuatan beton, kerusakan pada beton berupa *spalling*, serta berkurangnya ikatan antara beton dan baja sehingga kapasitas dari balok tersebut akan menurun. Struktur beton yang mengalami *spalling* memerlukan perbaikan segera untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. *Spalling* yang telah melebih selimut beton, dapat menggunakan metode perbaikan *grouting*. Beberapa penelitian terdahulu melakukan penelitian perbaikan *spalling* menggunakan grouting hanya mengambalikan dalam bentuk semula namun tidak dapat meningkatkan kapasitasnya. Untuk mengatasi kekurangan dari semen grout, diperlukan penambahan baja tulangan untuk meningkatkan kapasitas lentur pada perkuatan balok dengan menggunakan material *wiremesh*. Untuk mengatasi kegagalan debonding, akan digunakan angkur baut. Penilitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas serta pola retak dan mode kegagalan balok beton kondisi tulangan tarik berkarat. Perilaku lentur disikusikan berdasarkan perilaku beban-lendutan, beban maksimum, beban-regangan baja, dan beban-regangan beton. Tahapan penelitian yaitu pengujian lentur balok beton dengan ukuran 150x200 mm dengan panjang 3300 mm sebanyak 6 buah yang terdiri dari 2 balok kontrol, 1 balok korosi dengan perbaikan *grouting* dan *wiremesh*, 1 balok korosi dengan perbaikan *grouting*, *wiremesh*, dan *dynabolt*, 1 balok dengan perbaikan *grouting* dan *wiremesh*, 1 balok dengan perbaikan *grouting*, *wiremesh*, dan *dynabolt*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa korosi pada tulangan tidak hanya mengurangi kekuatan balok, tetapi juga mempengaruhi efektivitas metode perbaikan yang digunakan. Dari mode kegagalan, balok yang diperbaiki dengan mortar *grouting*, *wiremesh* dan *dynabolt* mengalami kegagalan lentur.

Kata Kunci: Perbaikan, korosi, mortar *grouting*, perkuatan *wiremesh*, *dynabolt*

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRACT

MARCELINO PUTRA GARESO. *Effectiveness Of Grouting Repair On The Concrete Cover Of Beams With Corroded Tensile Reinforcement* (supervised by Rudy Djamaluddin and Fakhruddin)

In the construction world, reinforced concrete is one of the most frequently used materials for building construction and bridges. However, steel has the drawback of being susceptible to corrosion in damp conditions. Reinforced concrete can experience a decline in structural strength when it undergoes corrosion. Corrosion in steel reinforcement can lead to a reduction in the cross-sectional area of the reinforcement, a decrease in concrete strength, damage to the concrete in the form of spalling, and a reduction in the bond between the concrete and steel, thus reducing the beam's capacity. Concrete structures experiencing spalling require immediate repair to prevent further damage. Spalling that has penetrated beyond the concrete cover can be repaired using the grouting method. Some previous studies on spalling repair using grout have shown that while it restores the original form, it does not enhance the capacity. To address the shortcomings of grout, additional steel reinforcement is needed to increase the flexural capacity of the beam by using wire mesh material. To overcome debonding failure, anchor bolts will be used. This study aims to analyze the effectiveness, crack patterns, and failure modes of concrete beams with corroded tensile reinforcement. The flexural behavior is discussed based on load-deflection behavior, maximum load, steel strain-load, and concrete strain-load. The research stages include flexural testing of concrete beams with dimensions of 150x200 mm and a length of 3300 mm, consisting of 6 specimens: 2 control beams, 1 corroded beam repaired with grout and wiremesh, 1 corroded beam repaired with grout, wiremesh, and dynabolt, 1 beam repaired with grout and wiremesh, and 1 beam repaired with grout, wiremesh, and dynabolt. The results show that corrosion in reinforcement not only reduces the beam's strength but also affects the effectiveness of the repair methods used. From the failure mode, the beams repaired with grout mortar, wiremesh, and dynabolt experienced flexural failure.

Keywords: Repairs, corrosion, mortar grouting, wiremesh reinforcement, dynabolt

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....**Error! Bookmark not defined.**
PERNYATAAN KEASLIAN..... iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT..... v
DAFTAR ISI..... vi
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL..... xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL xii
DAFTAR LAMPIRAN..... xiv
KATA PENGANTAR xv
BAB I PENDAHULUAN..... 1
1.1 Latar Belakang..... 1
1.2 Rumusan Masalah..... 3
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan..... 3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan..... 4
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 6
2.1 Penelitian Terdahulu 6
2.2 Beton Bertulang 8
2.3 Korosi pada Beton Bertulang..... 10
2.4 Korosi Atmosfer..... 12
2.5 Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang..... 13
2.5 Lendutan Pada Balok 17
2.6 Pola Retak Pada Beton Bertulang 18
2.7 Mode Keruntuhan Balok Beton Bertulang..... 20
2.8 Kegagalan Balok Beton Bertulang..... 21
2.9 Metode Perbaikan dan Perkuatan..... 22
2.10Mortar Grouting 23
2.11*Wiremesh*..... 24
3.12Angkur 25
3.13Teori Lekatan Beton Lama dan Beton Baru 25
BAB III METODE PENELITIAN..... 27
3.1 Bagan Alir Penelitian..... 27
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian 28
3.3 Bahan dan Alat..... 28
3.4 Pengujian Material 32
3.5 Desain Penelitian..... 34
3.6 Tahapan Penelitian..... 36
3.7 Analisis LUSAS Modeller 43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 48
ujian Tarik Baja Tulangan..... 48
ujian Kuat Tekan Beton 48
ujian Kuat Lentur Beton..... 49
ujian Kuat Tekan Mortar *Grouting* 50

Optimized using
trial version
www.balesio.com

4.5 Pengujian Kuat Lentur Mortar Grouting 51
4.6 Pengamatan Perubahan Warna Korosi pada Tulangan 52
4.7 Pengukuran Diameter Tulangan Korosi 56
4.8 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang 60
4.9 Pola Retak dan Mode Kegagalan 69
4.10 Hasil Analisis *Finite Element Method* (FEM) 82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 85
5.1 Kesimpulan 85
5.2 Saran 85
DAFTAR PUSTAKA 87
LAMPIRAN 89

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses terjadinya *spalling* 2
Gambar 2. Pola retak pada balok grouting 6
Gambar 3. Mode kegagalan balok benda uji 8
Gambar 4. Perilaku lentur pada beban sebelum retak 14
Gambar 5. Perilaku lentur beton setelah retak 15
Gambar 6. Perilaku lentur pada beban ultimit 15
Gambar 7. Blok tegangan ekuivalen 16
Gambar 8. Hubungan antara beban dan lendutan (Nawy, 2003) 18
Gambar 9. Pola retak lentur 19
Gambar 10. Pola retak geser 19
Gambar 11. Pola retak geser lentur 19
Gambar 12. Konsep perbaikan dan perkuatan struktur 23
Gambar 13. *Wiremesh* 24
Gambar 14. Gesekan geser 26
Gambar 15. Bagan alir 28
Gambar 16. Mortar *grouting* 29
Gambar 17. Sika *bonding adhesive* 29
Gambar 18. *Wiremesh* 29
Gambar 19. *Dynabolt* M10 29
Gambar 20. LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) 30
Gambar 21. (a) *Strain gauge* tipe FLA-2-11 (*gauge factor* 2,12 ± 1%), (b) CN *Adhesive* 31
Gambar 22. (a) *Strain gauge* tipe PL-60-11 (*gauge factor* 2,09 ± 1%), (b) CN *Adhesive* 31
Gambar 23. Alat uji statik kapasitas 1500 kN 31
Gambar 24. (a) Load cell 200 kN, (b) Data logger 32
Gambar 25. *Universal Testing Machine* 33
Gambar 26. Dimensi benda uji 33
Gambar 27. Dimensi benda uji 34
Gambar 28. Detail benda uji tipe 1 (balok normal) 35
Gambar 29. Detail benda uji tipe 2 dan 4 (balok perbaikan *grouting* dan *wiremesh*) 35
Gambar 30. Detail benda uji tipe 3 dan 5 (balok perbaikan *grouting*, *wiremesh*, dan *dynabolt*) 36
Gambar 31. Pabrikasi benda uji balok 37
Gambar 32. Penempatan balok 38
Gambar 33. Pembersihan kerak pada tulangan 38
Gambar 34. Pemasangan *Dynabolt* 39
Gambar 35. Pemasangan *Wiremesh* 40
Gambar 36. Pembuatan mortar *grouting* 41
Gambar 37. Pengecoran material perbaikan 41
Gambar 38. *Set-up* pengujian lentur balok 42
Gambar 39. Posisi *strain gauge* 43
Gambar 40. Tampilan awal LUSAS Modeller 43
Gambar 41. Penginputan koordinat 43

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 42. Pemodelan benda uji 44
Gambar 43. Opsi grup pada LUSAS Modeller 44
Gambar 44. Tampilan *surface mesh* 45
Gambar 45. Tampilan *geometric surface* 45
Gambar 46. Tampilan *isotropic* material 45
Gambar 47. Hasil benda uji setelah *attributes* diaplikasikan 46
Gambar 48. Pemodelan tumpuan 46
Gambar 49. Tampilan *loading* 46
Gambar 50. Pengaturan *loadcase* 47
Gambar 51. Pengujian kuat tekan beton 49
Gambar 52. Pengujian kuat lentur balok 50
Gambar 53. Pengujian kuat tekan mortar *grouting* 50
Gambar 54. Pengujian kuat lentur mortar *grouting* 51
Gambar 55. Kondisi awal saat tulangan diekspos 52
Gambar 56. Tulangan setelah diekspos selama 1 bulan 53
Gambar 57. Tulangan setelah diekspos selama 2 bulan 53
Gambar 58. Tulangan setelah diekspos selama 3 bulan 54
Gambar 59. Tulangan setelah diekspose selama 4 bulan 54
Gambar 60. Tulangan setelah diekspose selama 5 bulan 55
Gambar 61. Tulangan setelah diekspose selama 6 bulan 55
Gambar 62. Perubahan warna pada tulangan selama 6 bulan 56
Gambar 63. Hubungan beban-lendutan benda uji 61
Gambar 64. Beban maksimum 65
Gambar 65. Grafik hasil perbaikan dengan *grouting*, *wiremesh*, dan *dynabolt* .. 66
Gambar 66. Hubungan beban-regangan baja 67
Gambar 67. Hubungan beban-regangan beton 68
Gambar 68. Pola retak pada balok kontrol (BK) 69
Gambar 69. Kehancuran beton pada sisi tekan balok kontrol (BK) 70
Gambar 70. Pola retak pada balok BGN-R* 70
Gambar 71. Retak awal pada balok BGN-R* 70
Gambar 72. *Debonding* pada balok BGN-R* 71
Gambar 73. Kehancuran beton pada sisi tekan balok BGN-R* 72
Gambar 74. Pengukuran lebar retak maksimum pada balok BGN-R* 72
Gambar 75. Retak vertikal balok BGN-R* pada perhitungan kuantifikasi retakan 72
Gambar 76. Pola retak pada balok BGN-RD* 73
Gambar 77. Retak awal pada balok BGN-RD* 73
Gambar 78. *Debonding* pada balok BGN-RD* 74
Gambar 79. Kehancuran beton pada sisi tekan balok BGN-RD* 74
Gambar 80. Pengukuran lebar retak maksimum pada balok BGN-RD* 75
Gambar 81. Retak vertikal balok BGN-RD* pada perhitungan kuantifikasi retakan 75
Gambar 82. Pola retak pada balok BGN-R 75
Gambar 83. Retak awal pada balok BGN-R 76
Gambar 84. Kehancuran beton pada sisi tekan balok BGN-R 77
Gambar 85. Pengukuran lebar retak maksimum pada balok BGN-R 77
Gambar 86. Retak vertikal balok BGN-R pada perhitungan kuantifikasi retakan 77

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 87. Pola retak pada balok BGN-RD 78
Gambar 88. Retak awal pada balok BGN-RD..... 78
Gambar 89. Kehancuran beton pada sisi tekan balok BGN-RD 79
Gambar 90. Pengukuran lebar retak maksimum pada balok BGN-RD..... 79
Gambar 91. Retak vertikal balok BGN-RD pada perhitungan kuantifikasi retakan 79
Gambar 92. Kondisi *interface* balok dengan perbaikan *grouting* dan *wiremesh* 80
Gambar 93. Kondisi *interface* balok dengan pebaikan *grouting*, *wiremesh* dan *dynabolt*..... 81
Gambar 94. Perbandingan FEM dan eksperimental pada grafik P-Δ..... 83
Gambar 95. Kontur tegangan balok BK 83
Gambar 96. Kontur tegangan balok BGN-R 84
Gambar 97. Kontur tegangan balok BGN-RD 84

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat mekanis baja tulangan 9
Tabel 2. Variasi benda uji 150 x 200 x 3300 mm 34
Tabel 3. Hasil pengujian tarik baja tulangan 48
Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton 49
Tabel 5. Hasil pengujian kuat lentur balok 50
Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan mortar *grouting* 51
Tabel 7. Hasil pengujian kuat lentur mortar *grouting* 52
Tabel 8. Hasil pengukuran diameter tulangan 57
Tabel 9. Rekapitulasi nilai beban-lendutan 62
Tabel 10. Rekapitulasi nilai beban-regangan baja 67
Tabel 11. Rekapitulasi nilai beban-regangan beton 68
Tabel 12. Tabel perbandingan hasil pengujian dan hasil FEM 82

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$f'c$	Kuat tekan beton eksisting (MPa)
fr	Modulus keruntuhan / Kuat lentur beton (MPa)
E_s	Modulus elastisitas baja (MPa)
ε_y	Regangan leleh baja
ε_c	Regangan beton
J_d	Jarak gaya tekan pada beton ke gaya tarik tulangan *transversal* (mm)
J_{dw}	Jarak gaya tekan pada beton ke gaya tarik *wiremesh* (mm)
M_n	Momen nominal (kN.m)
C_c	Gaya tekan pada beton (kN)
C_s	Gaya tekan pada tulangan (kN)
T_s	Jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN)
T_{ws}	Jumlah gaya dari *wiremesh* (kN)
a	Tinggi balok tekan equivalen (mm)
P	Beban (kN)
I_g	Momen inersia gross (mm^4)
y	Titik berat beton dari dasar (mm)
h	Tinggi balok (mm)
b	Lebar balok (mm)
c	Jarak tepi luar atas terhadap garis netral (mm)
δ_{cr}	Lendutan pada saat beban retak (mm)
δ_y	Lendutan pada saat beban leleh (mm)
δ_u	Lendutan pada saat beban maksimum (mm)
L	Panjang balok (mm)
	Kuat leleh tulangan longitudinal (MPa)
	Kuat leleh tulangan tekan (MPa)

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
d	Jarak serat tekan ke titik berat tulangan tarik (mm)
d'	Jarak serat tekan ke titik berat tulangan tekan (mm)
d_w	Jarak *wiremesh* ke titik berat tulangan tekan (mm)
f_{ys}	Kuat leleh tulangan transversal (MPa)
f_{yw}	Kuat leleh *wiremesh* (MPa)
$A_{s'}$	Luas tulangan tekan balok (mm^2)
A_s	Luas tulangan tarik balok (mm^2)
A_{vs}	Luas tulangan transversal (mm^2)
A_{sw}	Luas tulangan *wiremesh* (mm^2)

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Kebutuhan Awal……..88
Lampiran 2. Dokumentasi Perubahan Warna Korosi…….. 93

Optimized using
trial version
www.balesio.com

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penyusunan tugas akhir yang berjudul **"EFEKTIVITAS PERBAIKAN GROUTING PADA SELIMUT BALOK BETON DENGAN TULANGAN TARIK BERKARAT"** 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 berbagi 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 I dan **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.,** selaku dosen pembimbing II 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. **Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik ersitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang ıakan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. 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 **Paulus Lobo Gareso** dan ibunda **Fransiska Lalan** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis setiap waktu.
2. **Jechika** dan **Anjela** sebagai saudara tercinta dan teman seumur hidup yang selalu memberikan tunjangan serta dukungannya dalam hidup penulis.
3. **Kak Nyjinsco Kaleb Joesila S. R., ST., Kak Khaerunnisa, ST., Muhammad Farhan Muhlis,** dan **Al-Muktasim Billah** selaku rekan TA yang senantiasa memberikan masukan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir.
4. **Datri, Fanny, Krisna, Afdhal, Oji, Faje, Farhan, Cakra, dan Agung** sebagai teman seperjuangan sedari awal kuliah yang selalu menghibur, memberikan warna yang indah dan selalu memberikan dorongan dan bantuang selama perkuliahan.
5. **Andika, Mayo, Fanny, Nush, Acha, Dhaf, Ilham, Herli, Afdal, Aswar, Acel** sebagai teman bertukar pikiran sedari awal perkuliah dan turut mewarnai masa perkuliahan penulis.
6. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Rekayasa Perkuatan Struktur** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Saudara-saudari **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil ın Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **ngkatan 2020** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang ıngat berharga selama masa perkuliahan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

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, 2024

Penulis

Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

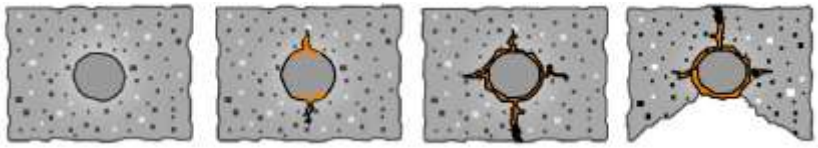
Dalam dunia konstruksi, beton merupakan salah satu bahan yang paling sering digunakan dalam pembangunan gedung dan jembatan. Khususnya di Indonesia, beton masih menjadi material yang banyak di minati di dunia konstruksi. Hal ini dikarenakan beton memiliki beberapa keunggulan diantaranya kuat tekannya yang tinggi, ketersediaan material dasar, perawatan yang murah serta beton dapat dicor sesuai dengan bentuk dan dimensi yang diinginkan. Kualitas beton sendiri tergantung pada komponen utamanya yaitu air, semen, agregat kasar, agregat halus dan bahan tambahan lainnya (Adhytius H. Pagut, 2017).

Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, namun memiliki kekuatan tarik yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan beton ini, maka digunakan baja sebagai tulangan pada beton karena baja memilik kuat tarik yang tinggi. Perpaduan antara beton dan baja dinamakan sebagai beton bertulang. Penggunaan beton bertulang dapat dilihat pada pekerjaan struktur atas bangunan seperti pada kolom, balok dan pelat lantai. Penggunaan baja sebagai tulangan banyak digunakan dalam konstruksi karena biaya perawatan yang rendah dan mampu menghasilkan struktur yang kokoh dan ekonomis. Namun baja memiliki kelemahan yaitu mudah mengalami korosi. Kondisi iklim tropis di Indonesia menyebabkan perubahan temperatur dan kelembapan yang cukup besar sehingga dapat menyebabkan potensi kerusakan pada bahan bangunan seperti korosi pada tulangan beton.

Korosi merupakan kerusakan fisik pada material khusunya baja karena adanya pengaruh pada lingkungan sekitar. Beton bertulang dapat mengalami penurunan dari segi kekuatan struktur apabila mengalami korosi. Korosi pada tulangan baja bisa mengakibatkan hilangnya luasan tulangan, penurunan kekuatan beton, kerusakan pada beton berupa *spalling*, serta berkurangnya ikatan antara ı baja sehingga kapasitas dari balok tersebut akan menurun. *Spalling* tidak ngurangi kekuatan beton, tetapi juga membuka jalan bagi zat agresif untuk ebih dalam ke struktur beton, mempercepat korosi tulangan dan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

memperburuk kerusakan. Akibatnya, struktur beton yang mengalami *spalling* memerlukan perbaikan segera untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Proses terjadinya *spalling* akibat korosi dapat dilihat pada **Gambar** 1. Kemampuan balok dalam menerima beban maksimum serta kapasitas penampang balok dalam menerima beban lentur mengalami penurunan seiring dengan lama pengkorosian baja tulangan (Ridwan Rasyid, 2022).



Gambar 1. Proses terjadinya *spalling*

Akibat dari kerusakan tersebut diperlukan perbaikan yang tepat terhadap beton. Tujuan dari perbaikan tersebut untuk untuk meningkatkan kinerja struktur dari kinerja minimum ke kinerja awal. Perbaikan struktur diperlukan ketika kerusakan yang terjadi menyebabkan degradasi struktur. Degradasi kapasitas lentur struktur beton bertulang berbanding dengan meningkatnya tingkat korosi, karena kapasitas tulangan akan menurun setelah terbentuknya karat (Khrisna & Sandeep, 2019).

Spalling yang telah melebih selimut beton, dapat menggunakan metode *grouting* yaitu metode perbaikan dengan menggunakan material *non-shrink* mortar (Fakhruddin, 2023). *Grouting* pertama kali digunakan sebagai perbaikan pada tanah yang tujuannya untuk meningkatkan kekuatan tanah dan permeabilitasnya. Pada saat ini, grout dapat digunakan dalam berbagai aplikasi dan metode *grouting* yang berbeda seperti pemadatan dan injeksi *grouting*. Pemilihan *grouting* bergantung pada beberapa faktor seperti, karakteristik lokasi, tujuan *grouting* dan jenis retakan.

Grouting adalah salah satu metode umum yang sering digunakan untuk memperbaiki kerusakan struktur karena kemiripannya dengan beton. Metode *grouting* bertujuan untuk melakukan perbaikan pada struktur beton bertulang dengan mengecor kembali bagian beton yang mengalami *spalling*, sehingga asli dari komponen struktur beton bertulang dapat dikembalikan untuk anjang umur pelayanannya. Balok yang diperkuat dengan *grouting* kapasitas lentur dan lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan balok

Optimized using
trial version
www.balesio.com

beton bertulang (Gang Peng et al., 2022). Pemilihan material merupakan salah satu faktor kunci untuk menghasilkan perbaikan yang bertahan lama. *Grouting* adalah proses pencampuran antara air dan sika grout. Sika grout mempunya sifat yang tidak susut, tidak korosif, dan dapat mengalir dengan baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Sugira Said (2023) menunjukkan bahwa penambahan sika grout pada balok beton bertulang dengan kondisi *spalling* mengalami penurunan beban maksimum serta mengalami kegagalan *debonding* pada daerah sambungan beton lama dan material *grouting*. Untuk mengatasi kekurangan dari semen grout, diperlukan penambahan baja tulangan untuk meningkatkan kapasitas lentur pada perkuatan balok dengan menggunakan material *wiremesh*. Untuk mengatasi kegagalan *debonding*, akan digunakan angkur baut pada daerah sambungan beton lama dan material *grouting* untuk meningkatkan *interlocking*.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penting dilakukan penelitian yang bersifat ekperimental terkait bagaimana keefektifan *grouting* serta penambahan *wiremesh* dan angkur pada perbaikan beton dengan kondisi tulangan tarik yang berkarat. Maka disusun penelitian yang berjudul **"EFEKTIVITAS PERBAIKAN GROUTING PADA SELIMUT BALOK BETON DENGAN TULANGAN TARIK BERKARAT"**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas metode perbaikan *grouting* pada selimut balok beton dengan kondisi tulangan tarik berkarat?
2. Bagaimana pola retak dan mode kegagalan balok beton perbaikan menggunakan metode *grouting* dengan kondisi tulangan tarik berkarat?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

nganalisis efektivitas metode perbaikan *grouting* pada selimut balok beton gan kondisi tulangan tarik berkarat.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2. Menganalisis pola retak dan mode kegagalan balok beton perbaikan menggunakan metode *grouting* dengan kondisi tulangan tarik berkarat.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman informasi mengenai bagaimana efektivitas metode perbaikan *grouting* pada selimut balok beton dengan kondisi tulangan tarik berkarat.
2. Menjadi bahan referensi dan pertimbangan untuk penelitian yang berkaitan dengan perbaikan struktur beton bertulang yang mengalami korosi.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan terhadap benda uji balok beton bertulang dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 3300 mm yang diperkuat dengan material grouting.
2. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah f'c 25 Mpa dan tulangan polos diameter 8 mm serta tulangan ulir diameter 10 mm dan 13 mm. Kondisi tulangan tarik berkarat.
3. Menggunakan mortar *grouting* komersial dari pencampuran air dengan Sika Grout 215 (*New*).
4. Terdapat 6 benda uji yang terdiri dari:
    a) Dua benda uji balok beton normal sebagai balok kontrol.
    b) Satu benda uji balok beton dengan perbaikan mortar *grouting*, diperkuat dengan *wiremesh* dan kondisi tulangan tarik berkarat.
    c) Satu benda uji balok beton dengan perbaikan mortar *grouting*, diperkuat dengan *wiremesh*.
    d) Satu benda uji balok beton dengan perbaikan mortar *grouting*, diperkuat dengan *wiremesh* dan *dynabolt* serta kondisi tulangan tarik berkarat.
    Satu benda uji balok beton dengan perbaikan mortar *grouting*, diperkuat dengan *wiremesh* dan *dynabolt*.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

5. Pengujian lentur menggunakan beban statik monotik terhadap seluruh variabel benda uji
6. Pembebanan dilakukan pada benda uji hingga mengalami keretakan pada kondisi beban maksimum.

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, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian lentur balok

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sugira Said (2023) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Sika Grout pada Balok Beton Bertulang dengan Kondisi *Spalling*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi perilaku lentur, retak, dan mode keruntuhan balok bertulang dengan perbaikan grouting. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimen dengan cara memberikan perbaikan dan perkuatan pada struktur beton dengan metode grouting. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu beban maksimum BGR menurun 47,62% dibandingkan dengan balok BK, hal ini menunjukkan bahwa perbaikan beton dengan metode grouting hanya berfungsi menutupi beton dari kondisi spalling agar bentuknya menjadi seperti semula. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pengurangan luas tulangan akibat korosi berpengaruh signifikan terhadap penurunan kapasitas balok dalam memikul beban. Semua benda uji mengalami pola retak lentur dimana pada balok BGR terjadi *debonding*.

Gambar 2. Pola retak pada balok grouting

Hariati (2023) melakukan penelitian tentang Studi Komparatif Kerusakan Beton pada Struktur Kolom yang Keropos dengan Metode Grouting. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi faktor penyebab terjadinya kerusakan pada struktur beton dan menganalisis perbandingan nilai kuat tekan beton dengan solusi metode grouting menggunakan sikagrout 215 dan menggunakan campuran semen dan air. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu penyebab dari keropos beton yaitu faktor air semen, kurannya pemadatan, rasio agregat yang digunaka dan ty. Untuk kuat tekan beton normal mengalami penurunan kuat tekan pada hari beton. Untuk kuat tekan beton grouting dengan sikagrout 125 ni penaikan kuat tekan pada umur 28 hari beton. Untuk kuat tekan grouting

Optimized using
trial version
www.balesio.com

dengan semen dan air mengalami penaikan kuat tekan pada umur 28 hari beton. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu dari hasil perbandingan metode grouting menggunakan sikagrout 215 memiliki nilai kuat tekan yang tertinggi diantara ketiga sampel yang lainnya. Maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa grouting menggunakan sikagrout 215 merupakan pilihan yang tepat.

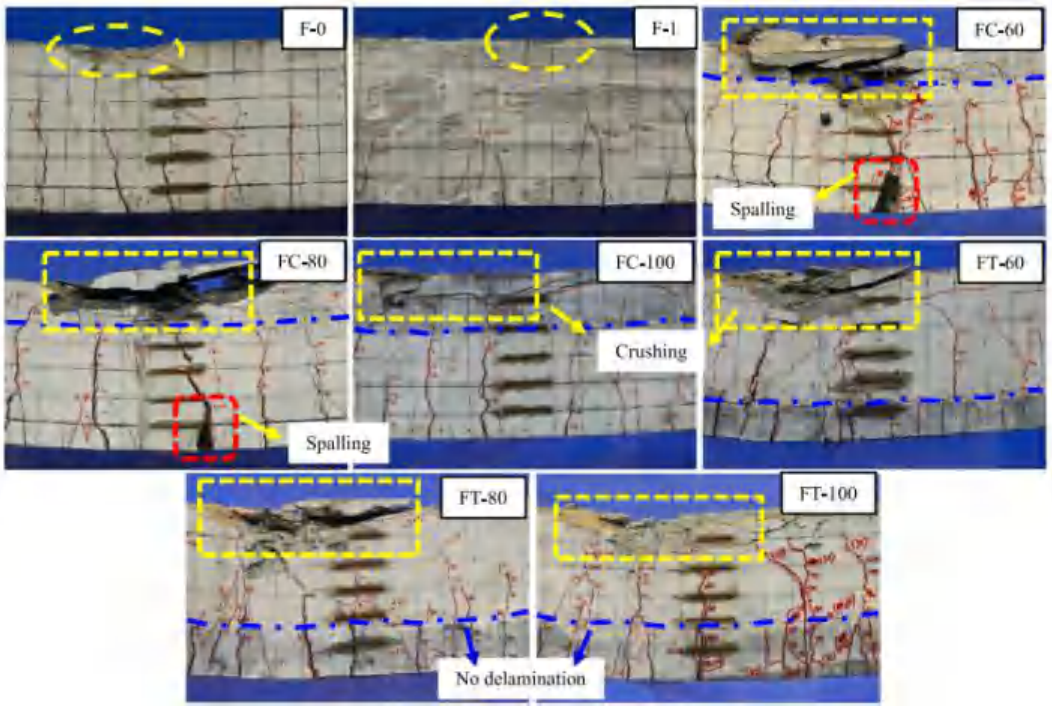
Anggi Ahmad Mulyadi, Eko Walujodjati (2022) melakukan penelitian tentang Pengaruh Korosi Tulangan Secara Alami pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur dan Geser. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh korosi tulangan terhadap kuat lentur dan geser. Hasil dari pengujian ini yaitu balok dengan tulangan korosi memiliki nilai momen kuat lentur lebih besar dibandingkan dengan balok dengan tulangan tidak korosi. Untuk nilai geser balok beton bertulang tidak korosi lebih besar daripada balok beton bertulang korosi. Pada perhtungan geser wajib diwaspadai dikarenakan adanya kegagalan geser pada balok beton dengan tulangan korosi.

Penelitian yang dilakukan oleh Ridwan Rasyid, Mufti Amir Sultan, Arbain Tata, Endi Setiawan (2022) tentang Efek Korosi Tulangan Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh korosi terhadap tulangan dengan menggunakan metode eksperimental dan benda uji berupa tulangan yang telah dikorosi. Hasil dari penelitian ini yaitu seiring dengan lama proses percepatan korosi maka tegangan leleh dan tegangan putus cenderung mengalami penurunan. Pada pengujian balok beton terdapat 4 jenis yaitu BN, BK-1, BK-2, dan BK-3. Balok BN, BK-1, BK-2, dan BK-3 masing-masing dapat menerima beban sebesar 51,25 kN; 50,00 kN; 46,25 kN; 38,75 kN. Penurunan kapasitas balok tersebut diakibatkan karena penurunan tegangan tarik tulangan seiring dengan tingkat korosi tulangan tarik. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu kemampuan balok dalam menerima beban maksimum mengalami penurunan seiring dengan lama pengkorosian baja tulangan, kapasitas penampang balok dalam menerima beban lentur mengalami penurunan seiring dengan tingkat korosi tulangan.

ıg Peng et al., (2022) melakukan studi eksperimental dan teoritis tentang lentur balok beton bertulang diperkuat dengan semen grout. Hasil ı menunjukkan bahwa spesimen balok menunjukkan karakteristik

Optimized using
trial version
www.balesio.com

kegagalan yang sama pada beton yang tidak diperkuat. Tidak terjadi kegagalan debonding pada proses pembebaban, yang menandakan bahwa mortar grouting dan beton telah terikat dengan baik. Balok yang diperkuat dengan grouting memiliki kapasitas lentur yang sama atau lebih besar dan lendutan ultimit yang jauh lebih besar dibandingkan dengan balok beton bertulang, yang menandakan bahwa grouting dapat digunakan untuk memperbaiki balok beton bertulang yang sudah mengalami penurunan kinerja dan secara efektif dapat meningkatkan daya dukung balok beton bertulang.



Gambar 3. Mode kegagalan balok benda uji

2.2 Beton Bertulang

Beton sebagai salah satu komponen utama adalah campuran dari semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Ketika air ditambahkan ke dalam campuran semen, proses hidrasi terjadi, menghasilkan pasta semenP yang mengikat agregat halus dan kasar menjadi satu kesatuan yang keras

Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, tetapi kelemahannya terletak uatan tarik yang rendah (Jack C. Mc Comac, 2001). Inilah alasan utama baja tulangan ditambahkan ke dalam beton.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Baja tulangan, yang memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi, ditempatkan di dalam beton untuk menahan gaya tarik yang mungkin terjadi. Baja ini biasanya berbentuk batang panjang dengan permukaan bergelombang untuk meningkatkan ikatan dengan beton. Kombinasi dari beton yang kuat dalam menahan tekanan dan baja yang kuat dalam menahan tarikan menghasilkan material komposit yang mampu menahan berbagai beban yang bekerja pada struktur bangunan. Sifat mekanis baja tulangan dapat dilihat pada **Tabel** 1.

Tabel 1. Sifat mekanis baja tulangan

Kelas Baja Tulangan	Uji tarik	
	Kuat luluh/leleh (YS)	Kuat tarik (TS)
	MPa	MPa
BjTP 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350
BjTS 280	Min. 280 Maks. 405	Min. 350
BjTS 420A	Min. 420 Maks. 545	Min. 525
BjTS 420B	Min. 420 Maks. 545	Min. 525

(Sumber: SNI 2052:2017)

Sifat dan karakteristik beton bertulang membuatnya sangat ideal untuk berbagai aplikasi konstruksi. Durabilitasnya yang tinggi memungkinkan beton bertulang untuk bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan, dari paparan cuaca ekstrem hingga lingkungan korosif. Ketahanan beton bertulang terhadap api juga merupakan keunggulan penting, karena beton memiliki sifat tidak mudah terbakar dan mampu melindungi baja tulangan dari panas yang berlebihan.

Pengujian karakteristik beton merupakan langkah penting dalam memastikan bahwa beton yang digunakan telah memenuhi standar kualitas dan kekuatan yang n. Berikut adalah penjelasan lebih detail mengenai berbagai pengujian stik beton:

Optimized using
trial version
www.balesio.com

1. Uji Kuat Tekan Beton

Kemampuan beton untuk menahan beban tekan hingga titik hancur diukur melalui uji kekuatan tekan beton. Kekuatan tekan beton sangat penting untuk menunjukkan kekuatan struktural dan daya tahan beton dalam berbagai aplikasi yang berbeda dalam konstruksi. Kuat tekan (f'c) diperoleh berdasarkan hasil uji tekan laboratorium terhadap benda uji baik silinder ataupun kubus pada saat umur beton 28 hari (ChuKia Wang, 1993). Kuat tekan beton (f'c) dihitung dengan membagi beban maksimum (P) yang dihasilkan dengan luas penampang (A). Kuat tekan biasanya dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa)

2. Uji Kuat Tarik Belah Beton

Perilaku beton saat diberikan beban aksial tarik berbeda dengan perilaku beton sat diberikan beban tekan. Ketika beton diberikan beban tarik, hubungan antara tegangan dan regangan biasanya linear hingga mencapai titik retak, yang kemudian diikuti oleh keruntuhan beton secara tiba-tiba. Pengujian kuat tarik belah bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton yang menggunakan agregat ringan (SNI 2491-2014).

3. Uji Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang ditempatkan pada dua tumpuan perletakan untuk menahan gaya tegak lurus terhadap sumbu benda uji hingga balok tersebut patah, dan hasilnya dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 4431-2011).

2.3 Korosi pada Beton Bertulang

Baja tulangan yang tertanam dalam beton berada dalam lingkungan basa dengan pH sekitar 12,5. Kondisi ini disebabkan oleh adanya 20-30 persen kalsium dihidroksida (Ca(OH)2) dalam beton, yang sebagian terlarut dalam larutan jenuh dan sebagian lagi mengendap sebagai kristal di dalam beton. Faktor-faktor eksternal seperti kelembapan, karbon dioksida (CO2), sulfat, dan klorida sangat mempengaruhi proses korosi. Misalnya, karbonasi menurunkan pH beton sehingga ın lapisan pelindung pasif pada baja. Selain itu, penetrasi ion klorida dari ın laut atau garam pencairan juga mempercepat korosi.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Proses korosi tidak hanya mengakibatkan keretakan, tetapi juga mengurangi kekuatan struktur jangka panjang. Penumpukan produk korosi (karat) menyebabkan ekspansi, retakan, dan akhirnya pecahnya beton di sekitar baja tulangan. Hal ini menyebabkan degradasi struktural yang dapat mengurangi umur pakai konstruksi secara signifikan.

Jika baja tulangan mengalami korosi, volume karat yang terbentuk dapat menjadi sekitar tiga kali lipat lebih besar dari volume baja aslinya. Akibatnya, beton dapat retak, yang merupakan tanda awal kerusakan. Kerusakan ini akan berkembang lebih parah, memperpendek umur layanan konstruksi. Korosi pada baja tulangan terjadi ketika kondisi pasif hilang, yaitu ketika pH lingkungan baja-beton menurun hingga di bawah 9,5. Proses korosi baja tulangan dalam beton dapat terjadi pada kondisi berikut:

a. Karbonasi

Karbonasi adalah proses pembentukan kalsium karbonat ($CaCO3$) akibat reaksi antara kalsium dihidroksida ($Ca(OH)2$) dengan gas atau senyawa asam terlarut. Proses ini dimulai dari permukaan beton dan bergerak ke dalam hingga mencapai titik kontak antara baja dan beton. Ketika karbonasi mencapai area ini, pH lingkungan menurun hingga di bawah 9,5, yang menyebabkan hilangnya lapisan pasif baja tulangan. Akibatnya, baja tulangan mulai terkorosi, yang berujung pada kerusakan beton.

b. Degradasi oleh Klorida

Ion klorida dikenal sangat agresif terhadap baja konstruksi. Melalui reaksi hidrolisis, klorida membentuk asam yang menetralisir kalsium dihidroksida ($Ca(OH)2$) di dalam beton. Saat proses netralisasi ini mencapai kontak baja-beton, pH lingkungan menurun hingga di bawah 9,5, menyebabkan baja kehilangan lapisan pelindungnya dan mulai terkorosi, yang akhirnya merusak beton.

c. Leaching

Leaching adalah proses penurunan konsentrasi senyawa terlarut di sekitar kontak baja-beton akibat masuknya larutan ke dalam beton. Penurunan ini ɔkan pH lingkungan turun hingga di bawah 9,5, yang menghilangkan ɹsif pada baja. Hal ini memicu korosi pada baja tulangan dan menyebabkan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

kerusakan pada beton. Proses korosi ini terus berlanjut hingga akhirnya menghancurkan struktur konstruksi.

2.4 Korosi Atmosfer

Korosi merupakan fenomena kerusakan suatu material akibat material tersebut bereaksi secara kimia dengan lingkungannya yang tidak mendukung. Korosi atmosfer didefinisikan sebagai korosi atau penurunan tingkat mutu suatu material yang disebabkan oleh udara dan juga polusi. Secara umum korosi atmosfer dibagi menjadi tiga kategori yaitu ketika keadaan kering, lembab, dan basah.

Korosi dapat berlangsung apabila semua komponen sel elektrokimia tersedia yaitu anoda, katoda, dan elektrolit seperti dijelaskan sebelumnya. Apabila salah satu dari komponen tersebut tidak ada, maka korosi tidak akan berlangsung. Lingkungan yang tidak mendukung yang dapat menyebabkan korosi dapat berubah kadar pH yang rendah, banyaknya kandungn unsur klorida bebas, sulfat dan beberapa faktor lingkungan lainnya.

1. Korosi Kering

Korosi ini terjadi tanpa kehadiran air, penyebab terjadinya korosi adalah temperatur tinggi dan gas penyebab korosi (karbondioksida dan sulfurdioksida). Proses korosi kering yang paling nyata adalah reaksi logam dengan oksigen di udara. Walaupun nitrogen menjadi unsur utama yang membentuk udara, perannya tidak penting ketika logam dipanaskan di udara, karena pengaruh oksigen lebih dominan. Pada temperatur tinggi, nitrogen memang bereaksi dengan kromium, aluminium, titanium, molybdenum, dan tungsten.

2. Korosi Lembab

Korosi ini mengarah pada tingkat uap yang terdapat dalam udara dan peningkatan kadar uap. Ketika kelembaban mencapai tingkat kritis, sekitar 70% kelembaban relatif, terjadi pembentukan lapisan pada logam, yaitu berupa elektrolit yang bekerja sebagai pemindah arus. Nilai kritis bergantung pada tingkat kebersihaan, kadar garam atau pencemaran lain yang higroskopik dan dapat
) air pada kelembaban relatif yang kecil. Jika kelembaban lebih dari 80%,
a besi dan baja menjadi higroskopik (menyerap air) dan dengan demikian
gan meningkat lagi (J. Chemberlon.1991).

Optimized using
trial version
www.balesio.com

3. Korosi Basah

Korosi basah terjadi ketika adanya kantung air atau lapisan air yang tidak terlihat yang terbentuk pada permukaan logam karena cipratan air laut, hujan atau embun. Indonesia merupakan negara kepulauan yang tentu saja memiliki pantai dan daerah pesisir yang luas. Bergantung pada letak geografisnya, garis pantai Indonesia memiliki sifat kelembaban yang berbeda. Namun secara umum, lingkungan pantai di Indonesia dapat digambarkan sebagai wilayah yang korosif.

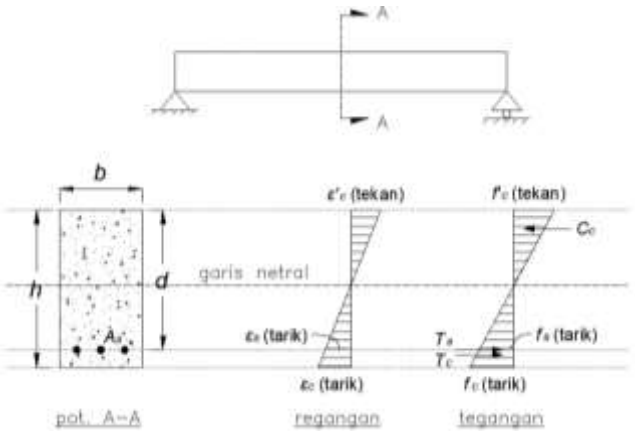
Karena curah hujan yang cukup tinggi, udara yang lembab, dan suhu yang umumnya hangat, wilayah pesisir di Indonesia memiliki tingkat kelembaban yang tinggi. Baja dan logam lain yang terpapar langsung dengan udara dapat mengalami laju korosi yang lebih cepat.

2.5 Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang merupakan elemen struktur yang dominan menahan gaya lentur pada saat beban diberikan. Pada saat beban ditingkatkan maka nilai regangan dan defleksi balok akan semakin meningkat yang diiringi dengan timbulnya retak-retak lentur sepanjang bentang balok tersebut. Penambahan beban secara terus-menerus akan mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal telah melebihi kapasitas elemen balok tersebut.

Untuk lebih memahami kondisi tegangan dan regangan beton pada saat dibebani maka akan diuraikan secara lebih terperinci mengenai hal tersebut. Nilai tegangan pada daerah tekan beton bersifat linear atau kira-kira sebanding dengan regangannya hanya sampai pada tingkat pembebanan tertentu pada kondisi $0.45\,f'_c$. Pada tingkat pembebanan ini, apabila beban ditambah terus-menerus maka keadaan sebanding akan lenyap dan diagram tegangan tekan pada penampang balok beton akan berbentuk seperti kurva tegangan-regangan beton.

Optimized using
trial version
www.balesio.com



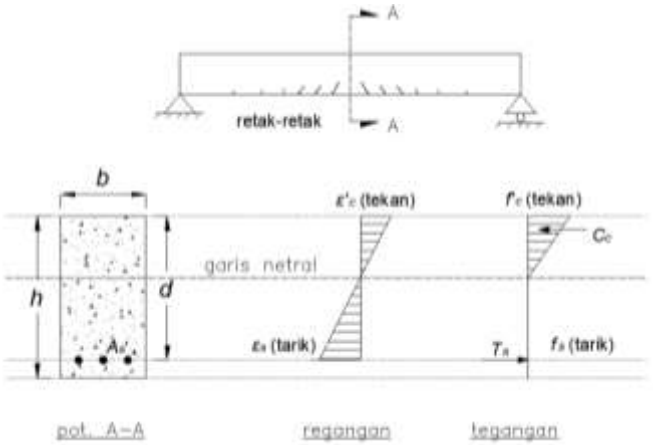
Gambar 4. Perilaku lentur pada beban sebelum retak

Secara jelasnya dapat diuraikan pada **Gambar** 4. Pada kondisi pembebanan Secara jelasnya dapat diuraikan pada **Gambar** 4. sebelum terjadinya retak pada beton, beton dan baja tulangan secara bersama-sama bekerja dalam menahan gaya tarik yang bekerja sementara beton pada sisi tekan hanya menahan gaya tekan saja. Distribusi tegangan pada kondisi ini masih bersifat *linear*, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan nilai regangan yang terjadi. Hal ini hanya dijumpai apabila tegangan maksimum yang timbul pada sisi tarik masih cukup rendah di mana nilainya masih berada di bawah nilai modulus keruntuhan (*rupture modulus*).

Pada kondisi pembebanan setelah retak di mana nilai pembebanan yang diberikan telah melebihi nilai pembebanan sebelum terjadinya retak pada beton, nilai kuat tarik beton telah dilampaui sehingga beton mulai mengalami retak rambut seperti tampak pada **Gambar** 5. Pada kondisi ini beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak yang disebabkan karena kondisi lebar retak yang menyebabkan terputusnya aliran distribusi tegangan sepanjang sisi tarik beton.

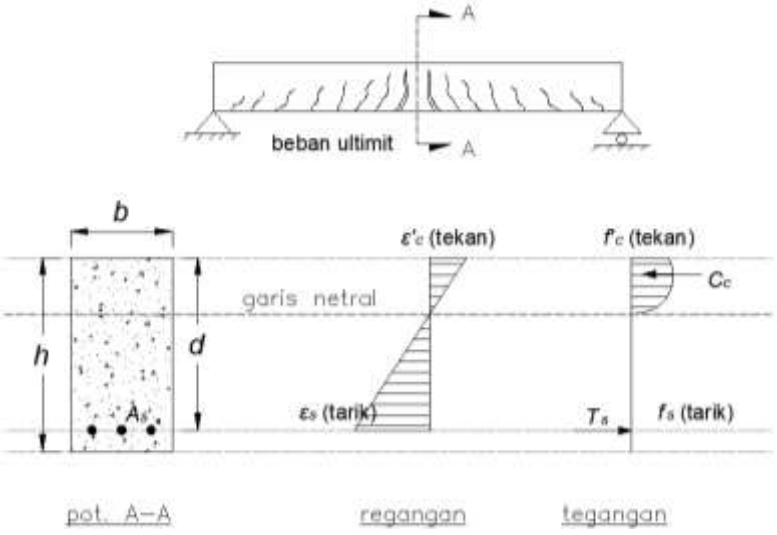
Akibatnya maka distribusi tegangan tarik pada daerah beton yang retak akan terhenti dan kemudian selanjutnya diambil alih sepenuhnya oleh baja tulangan. Tulangan akan mulai meregang dan apabila nilai beban semakin ditingkatkan maka tulangan akan mencapai kondisi lelehnya. Distribusi tegangan tarik pada tulangan ini terjadi hingga kondisi 0.5 f'_c. Pada keadaan ini nilai tegangan beton tekan masih bernilai sebanding dengan nilai regangannya dimana model tegangan ıdi masih berbentuk blok segitiga seperti terlihat pada **Gambar** 5.

Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 5. Perilaku lentur beton setelah retak

Apabila nilai beban diberikan lebih besar lagi maka nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak sebanding lagi antara keduanya, di mana tegangan tekan pada beton akan mulai membentuk kurva *nonlinear*.



Gambar 6. Perilaku lentur pada beban ultimit

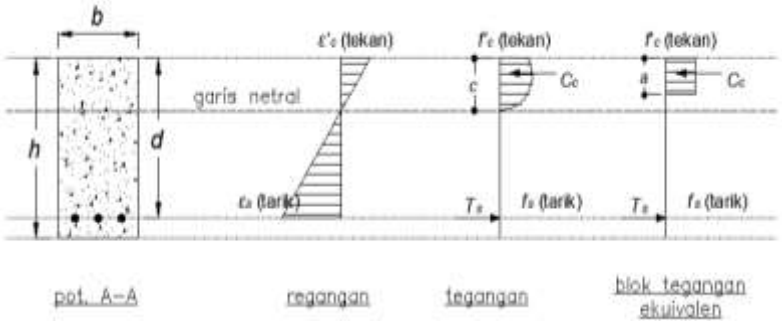
Kurva tegangan di atas garis netral penampang balok atau pada daerah tekan balok akan berbentuk sama dengan kurva tegangan-regangan beton seperti yang terlihat pada **Gambar** 6 bentuk distribusi tegangan ini berupa garis lengkung
ilai nol pada garis netral.
la **Gambar** 6 dapat dilihat model distribusi tegangan dan regangan yang
da kondisi pembebanan mendekati pembebanan ultimit. Bentuk distribusi

Optimized using
trial version
www.balesio.com

tegangan aktual yang melengkung ini tentunya menimbulkan kesulitan tersendiri dalam menghitung volume blok tegangan tekan.

Model persegi Whitney yang diusulkan tahun 1937 mengusulkan agar digunakan blok tegangan segiempat ekuivalen yang dapat digunakan untuk menghitung gaya tekan tanpa harus kehilangan ketelitiannya. Blok tegangan ekuivalen ini mempunyai tinggi *a* dan tegangan tekan rata-rata sebesar 0.85 f'_c. Nilai ini diperoleh berdasarkan hasil percobaan pada beton yang berumur lebih dari 28 hari.

Dengan menggunakan semua asumsi di atas maka perhitungan volume blok tegangan tekan dapat lebih mudah dilakukan dengan hanya menggunakan rumus volume balok sederhana. Bentuk blok tegangan ekuivalen ini dapat dilihat pada **Gambar** 7. Apabila kapasitas batas kekuatan beton pada daerah tekan telah terlampaui maka balok akan mengalami kehancuran. Sampai dengan tahap ini tampak bahwa tercapainya kapasitas ultimit merupakan proses yang tidak dapat berulang karena beton telah melewati kondisi elastisnya.



Gambar 7. Blok tegangan ekuivalen

Komponen struktur balok yang telah retak disertai dengan kondisi baja tulangan yang telah meleleh tentunya ditandai dengan nilai lendutan yang besar. Lendutan besar yang terjadi pada balok tidak akan kembali ke kondisinya yang semula dipengaruhi oleh kondisi baja tulangan yang telah meleleh.

Seluruh gaya tarik yang terjadi hanya dilimpahkan pada baja tulangan di daerah tarik

ıgan demikian maka bentuk penampang beton pada daerah tarik tidaklah ǥaruhi kekuatan lentur. Tinggi penampang yang menentukan adalah tinggi yaitu jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik. Nilai

Optimized using
trial version
www.balesio.com

regangan beton tekan maksimum pada serat tekan terluar ditetapkan sebesar 0.003. Penetapan nilai tersebut didasarkan atas hasil-hasil pengujian yang menunjukkan bahwa umumnya regangan beton hancur berada di antara nilai 0.003 dan 0.004.

2.5 Lendutan Pada Balok

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja. Berkaitan dengan hal tersebut, bila bentang panjang maka lendutan akan besar. Untuk memperkecil lendutan biasanya dengan memperbesar kekakuan penampang (*EI*).

Menurut Nawy (2003), Hubungan beban-defleksi balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan sebagai berikut :

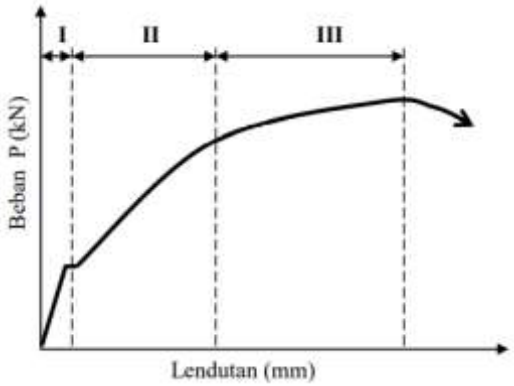
Daerah I: Taraf praretak, dimana batang-batangnya strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban - defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari modulus *rupture* (f_r) beton.

Daerah II: Taraf beban pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retak akan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban defleksi di daerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak. Momen inersia retak disebut $I_{cr.}$

Daerah III: Taraf retak pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan
ah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh
ır dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan
ng karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika

Optimized using
trial version
www.balesio.com

beban terus ditambah, maka regangan ε_s pada tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ε_y tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan sekunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti terjadinya *rupture*.



Gambar 8. Hubungan antara beban dan lendutan (Nawy, 2003)

2.6 Pola Retak Pada Beton Bertulang

Menurut Amri (2005:252) retakan dapat terjadi oleh berbagai sebab. Pada stadium awal kerusakan komponen struktur diawali dengan lendutan. Bila batas lendutan ijin terlampaui maka stadium kerusakan akan berlanjut pada retakan lentur. Bila kemampuan lentur dilampai maka kerusakaan akan berlanjut pada stadium yang lebih tinggi yaitu berupa retak geser.

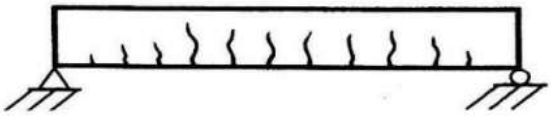
Retak terjadi pada umumnya menunjukan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990) :

ak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus

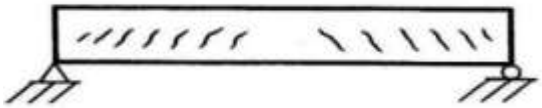
Optimized using
trial version
www.balesio.com

pada sumbu balok. Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik balok dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netralnya.



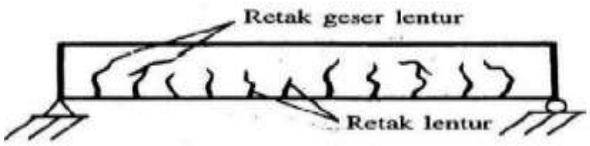
Gambar 9. Pola retak lentur

2. Retak Geser (*Web Shear Crack*), keretakan miring akibat geser dapat terjadi pada balok sebagai retak bebas maupun sebagai perpanjangan retak lentur. Akan tetapi pada beberapa kasus retak geser akan berkembang secara bebas pada balok meskipun tidak ada retak lentur pada daerah tersebut. Retak miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.



Gambar 10. Pola retak geser

3. Retak Geser-Lentur (*Flexural Shear Crack*), merupakan perpaduan retak geser dan retak lentur. Retak geser-lentur terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur



Gambar 11. Pola retak geser lentur

Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari modulus *of rupture* beton $fr = 0{,}70\sqrt{f'c}$. Apabila beban ditambah sehingga tarik mencapai *fr*, maka retak kecil akan terjadi. Apabila tegangan tarik ih besar dari *fr*, maka penampang akan retak.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.7 Mode Keruntuhan Balok Beton Bertulang

Tegangan-tegangan pada balok tinggi berbeda dengan tegangan balok normal. Karena geometnnya maka balok tinggi lebih berperilaku dua dimensi bukan satu dimensi. Sebagai akibatnya, bidang datar sebelum melentur tidak harus tetap datar setelah melentur. Distribusi tegangannya tidak lagi linier dan deformasi geser yang diabaikan pada balok biasa menjadi suatu yang cukup berarti dibandingkan dengan deformasi lentur murni (Nawy, 1990).

Geser pada balok tinggi merupakan tinjauan yang utama dalam desainnva. besar dan jarak penulangan geser vertikal dan horisontal sangat berbeda dengan yang dipakai pada balok biasa, begitu pula persamaan-persamaan yang digunakan didalam desainnya (Nawy, 1990).

Pada beberapa test dapat diketahui bahwa mode atau pola keruntuhan sangat kuat tergantung pada a/d ,dimana: a = jarak dari tumpuan ke beban terpusat, d = tinggi efektif. (Kongdan Evans. 1987), yaitu :

1. Runtuh lentur dimana : a/d > 6 Balok yang memiliki perbandingan a/d seperti ini biasanya runtuh pada lentur.
2. Runtuh tarik geser dimana : 6 > a/d > 2,5 Balok yang memiliki perbandingan a/d lebih kecil daripada 6 condong runtuh di geser. retak diagonal atau miring (1-2-3) dengan penambahan lebih lanjut pada V atau beban, maka kerusakan biasa terjadi dalam 1 dan 2 mode, jika perbandingan a/d relatif tinggi, retak miring akan menjalar cepat ke e, menghasilkan keruntuhan oleh terpisahnya balok menjadi 2 bagian. Mode keruntuhan ini sering disebut keruntuhan tarik diagonal. Jika perbandingan a/d relatif rendah, retak miring condong berhenti 15 disuatu tempat pada 7. Sejumlah retak yang tak beraturan mungkin mengembang pada beton sekitar penulangan tank longitudinal. Jika V meningkat lebih jauh, retak miring melebar dan menyebar sepanjang tingkat penulangan tank (Gambar 7). Gaya geser yang meningkat mendesak turun baja longitudinal dan menyebabkan kerusakan pada ikatan antara beton dan baja, biasanya menimbulkan pemisahan pada beton sepanjang 5-6 cm.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.8 Kegagalan Balok Beton Bertulang

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya bisa dilihat secara visual. Dimana, bisa dilihat dengan adanya fenomena yang terjadi pada beton seperti dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya beton bertulang.

Menurut Nawy Edward G. (2003), ada tiga kemungkinan yang bisa terjadi yang menyebabkan kegagalan balok beton bertulang, yaitu:

a. Kondisi balanced reinforced

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan.

Kondisi regangan : εc=0,0003 dan εs=fyEs

Pada kondisi ini berlaku : ρ= ρbalanced dan εs=εy

b. Kondisi Over – Reinforceid

Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan balanced. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya penampangi beton terlebih dahulu sebelum tulangan baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku: ρ>pbalanced dan εs < εy

c. Kondisi Under – reinforced

Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi balanced. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya. Pada kondisi ini berlaku : $\rho < 75\% \, \rho balanced$ dan $\varepsilon s > \varepsilon y$

Balok disebut under-reinforced jika balok mempunyai lebih sedikit tulangan dari pada yang diperlukan untuk suatu perbandingan seimbang. Jika sebuah balok berada dalam keadaan under-reinforced dan beban ultimit sudah hampir tercapai, baja akan mulai meleleh meskipun tegangan pada beton tekan masih belum mencapai tegangan ultimitnya. Jika beban terus diperbesar, tulangan akan memanjang sehingga terjadi lendutan dan muncul retak besar pada beton tarik. Kondisi ini menjadi peringatan bahwa beban harus dikurangi atau struktur akan rusak dan runtuh. Hal inilah yang menjadi pertimbangan suatu balok harus didesain

ım kondisi *under-reinforced*. Peningkatan komponen struktur lentur boleh

ı dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara

Optimized using
trial version
www.balesio.com

bersamaan. Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi under-reinforced.

2.9 Metode Perbaikan dan Perkuatan

Istilah perbaikan digunakan untuk bangunan yang telah rusak dan mengalami penurunan kekuatan yang diperlukan untuk mengembalikannya ke kondisi aslinya. Contoh kerusakan struktur adalah retak dan *spalling*, yang keduanya memerlukan perbaikan segera untuk mencegah kerusakan yang lebih parah. Bila pada kondisi spalling tulangan telah berkarat maka sebaiknya karat besi beson dibersihkan dan dimatikan dengan *rust killer*. *Rust killer* adalah sejenis *rust inhibitor* yang berfungsi untuk memproteksi dan membunuh karat pada besi. Metode perbaikan dalam menangani retak dan *spalling* dapat dilakukan dengan metode injeksi, *patching* dan *grouting*.

Material perbaikan yang tepat harus memenuhi beberapa syarat penting. Pemilihan material yang salah dapat menyebabkan perbaikan yang tidak efektif, kegagalan struktur lebih lanjut, dan biaya tambahan. Berikut adalah beberapa syarat material perbaikan untuk beton bertulang.

1. Material perbaikan harus memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi untuk menahan beban struktural. Material perbaikan harus memiliki kekuatan tekan minimal setara atau lebih tinggi dari beton asli yang diperbaiki. Kekuatan tekan yang tinggi memastikan bahwa material dapat mendukung beban tanpa retak atau rusak.
2. Material perbaikan harus memiliki sifat yang tidak susut. Penyusutan yang terjadi selama proses pengeringan atau pengerasan dapat menyebabkan retakan pada material perbaikan. Sifat tidak susut membantu mencegah terbentuknya retakan, sehingga memperpanjang umur perbaikan.
3. Material perbaikan harus memiliki sifat aliran yang baik untuk memastikan bahwa semua celah dan rongga dalam beton terisi dengan sempurna tanpa terjebak udara. Sifat aliran yang baik memungkinkan material perbaikan untuk mengisi gian dari struktur yang rusak, sehingga perbaikan menjadi lebih efektif.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 12. Konsep perbaikan dan perkuatan struktur

2.10 Mortar Grouting

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu. Mortar memiliki nilai penyusutan yang relative kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan geser yang dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan adhesinya.

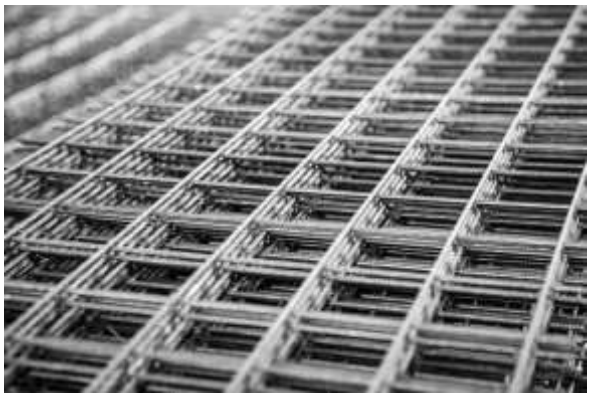
Mortar grouting adalah bahan pengisi yang digunakan untuk perbaikan suatu komponen struktur. Sika Grout 215 merupakan salah satu produsen bahan bangunan dan produk kimia yang sering digunakan dalam suatu proyek konstruksi. Dalam pengerjaan grouting tentunya dibutuhkan semen grouting yang siap pakai dan mempunyai karakteristik tidak susut, dapat mengalir dengan baik serta memenuhi persyaratan standar corps of engineering CDR C-621 dan ASTM C-1107 yang keseluruhannya terdapat pada Sika Grout 215. Sika Grout 215 berfungsi sebagai komponen semen grouting untuk memperbaiki beton yang keropos dan juga untuk pengisi celah dan rongga, serta dapat diaplikasikan pada stuktur bangunan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.11 *Wiremesh*

Wiremesh adalah bahan penulangan baja yang terdiri dari kawat baja yang dilas dengan jarak antar kawat yang seragam, digunakan untuk memperkuat beton (Sari, 2011). Proses produksinya dimulai dengan pemilihan material baja yang melalui kontrol ketat, kemudian dilas menggunakan mesin las otomatis berteknologi tinggi, sehingga menghasilkan wiremesh berkualitas tinggi. Menurut ACI 549.1R93, kawat anyam yang digunakan untuk perkuatan harus bersih dan bebas dari debu, karat lepas, lapisan cat, minyak, atau zat serupa. Desain kekuatan kawat anyam didasarkan pada kekuatan luluh fy, namun tidak boleh melebihi 100.000 psi (690 MPa).

Salah satu aplikasi wiremesh adalah untuk meningkatkan kapasitas lentur pada penguatan balok beton bertulang melalui metode retrofit yang menggunakan material wiremesh dan self-compacting concrete (SCC) (Amirudin, 2014). Selain itu, wiremesh juga digunakan dalam ferro-cement, yaitu konstruksi beton tipis yang dibuat dari campuran pasir, semen, air, dan wiremesh sebagai pengganti tulangan. Ferro-cement biasanya digunakan untuk konstruksi yang memerlukan bentuk lengkung atau parabol serta beban ringan, seperti kubah masjid, saluran air, dan simbol daerah. Tipe wiremesh dengan kabel berjarak dekat dan bukaan persegi adalah jenis penguatan yang paling umum digunakan, seperti yang terlihat pada **Gambar** 13.



Gambar 13. *Wiremesh*

Optimized using
trial version
www.balesio.com

3.12 Angkur

Angkur atau sekrup adalah salah satu teknologi paling sederhana yang pernah diciptakan, berasal dari sebuah alat yang dikenal sebagai mesin sekrup. Baut atau sekrup pertama kali ditemukan pada zaman Mesir dan Yunani kuno. Orang Yunani percaya bahwa penemu baut sekrup adalah filsuf Yunani, Archytas dari Tarentum, sekitar tahun 234 SM.

Pada prinsipnya, angkur adalah alat sambung yang berupa batang berbentuk tabung dengan ulir. Salah satu ujung batang tersebut memiliki penampang berbentuk segi enam yang berfungsi sebagai kepala angkur, sementara ujung lainnya adalah kaki baut yang akan dipasangi mur sebagai pengunci. Pemasangan baut dan mur sering kali dilengkapi dengan ring yang berfungsi untuk mencegah terjadinya dol atau kelonggaran saat baut dan mur dikencangkan (Rini Wulan Dary, 2014).

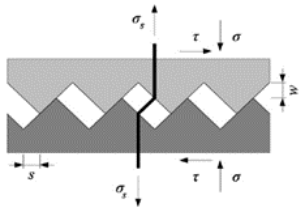
Angkur dapat digunakan untuk membangun sambungan tetap, sambungan sementara, dan sambungan bergerak. Angkur yang biasa digunakan dalam konstruksi baja memiliki ulir berbentuk segitiga atau ulir tajam pada batangnya, yang bertujuan untuk meningkatkan daya cengkeram baut sebagai pengikat. Penghubung geser berfungsi secara mendasar sebagai pentransfer gaya geser ke struktur dan sebagai penghubung antara beton dan baja untuk mencegah perpisahan material saat diberi beban. Penghubung geser ini dapat berupa baut angkur dan besi beton (Rini Wulan Dary, 2014).

3.13 Teori Lekatan Beton Lama dan Beton Baru

Renyuan Qin (2019) menyatakan bahwa *interface* antara beton baru dan beton lama dapat diamati dalam proses perbaikan dan perkuatan struktur beton, seperti dalam teknik concrete jacketing atau perbaikan beton menggunakan mortar berkinerja tinggi (termasuk penambahan serat fiber pada mortar) serta mortar grout itu sendiri. Salah satu perbedaan utama antara beton baru dan beton lama adalah bahwa penyusutan beton baru jauh lebih tinggi dibandingkan dengan beton lama roses pengerasan. Perbedaan volume ini mengakibatkan ketidakcocokan ton baru dan beton lama untuk digunakan sebagai bahan perbaikan dan .

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Metode desain untuk menilai kekuatan geser pada antarmuka beton telah mengalami perubahan selama bertahun-tahun. Prinsip kerja sambungan geser dapat dijelaskan dengan teori gesekan geser, yang dikembangkan pada akhir 1960-an di Amerika Serikat. Teori ini menggambarkan sambungan dengan model sederhana seperti gigi gergaji, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar** 14. Menurut model ini, jika permukaan beton kasar, tegangan geser tidak hanya menyebabkan perpindahan paralel tetapi juga pembukaan sambungan, yang menghasilkan tegangan tarik pada setiap persilangan tulangan di antarmuka. Tegangan tarik ini menciptakan tekanan tekan yang merata pada sambungan, sehingga memungkinkan terbentuknya gaya gesek.



Gambar 14. Gesekan geser

Optimized using
trial version
www.balesio.com