

SKRIPSI

**PERILAKU GESER PADA SAMBUNGAN PERKUATAN
BALOK DENGAN ANGKUR *BOLT***

Disusun dan diajukan oleh:

**MEICHIN WONG MASIGA
D011 19 1007**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERILAKU GESER PADA SAMBUNGAN PERKUATAN BALOK DENGAN ANGKUR *BOLT*

Disusun dan diajukan oleh

MEICHIN WONG MASIGA
D011 19 1007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 21 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT
NIP. 197206192000122001

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Meichin Wong Masiga
NIM : D011 19 1007
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{PERILAKU GESER PADA SAMBUNGAN PERKUATAN BALOK DENGAN
ANGKUR *BOLT*}

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, 21 Juni 2023

Yang Menyatakan



Meichin Wong Masiga

ABSTRAK

MEICHIN WONG MASIGA. PERILAKU GESER PADA SAMBUNGAN PERKUATAN BALOK DENGAN ANGKUR BOLT (Dibimbing oleh Rita Irmawaty dan Fakhruddin)

Penurunan kekuatan struktur yang terjadi pada suatu struktur beton dapat disebabkan adanya perubahan fungsi, bencana alam, maupun faktor lainnya yang ditandai dengan adanya retakan dan pengelupasan (*spalling*). Untuk mengatasi berbagai kerusakan yang terjadi maka diperlukan metode perbaikan dan perkuatan yang tepat. *Grouting* merupakan metode perbaikan kerusakan struktur yang sering digunakan saat ini karena memenuhi persyaratan. *Grouting* adalah proses memberikan campuran air dan sika grout 215 karena memiliki karakteristik tidak susut dan dapat mengalir dengan baik sehingga dapat dengan mudah mengisi bagian-bagian kecil pada beton. Angkur *Bolt* sebagai material yang dapat menyalurkan beban tarik dan geser yang bekerja ke beton untuk memberikan *interlocking* agar sambungan beton lama dan beton baru tidak mudah terputus, menjadikan angkur *bolt* sebagai pilihan untuk perkuatan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku geser serta mode kegagalan balok beton yang diperkuat dengan angkur *bolt*. Tahapan penelitian terbagi atas dua yaitu pengujian kuat tekan mortar *grouting* dan pengujian *direct shear* balok beton. Pengujian kuat tekan mortar *grouting* menggunakan sampel silinder 50 mm x 100 mm, diuji pada umur 28 hari. Sementara itu, pengujian *direct shear* balok menggunakan sampel balok dengan dimensi 400 mm x 100 mm x 100 mm sebanyak dua belas buah yang terdiri dari balok kontrol, balok dengan perbaikan *grouting*, serta balok dengan perkuatan angkur *bolt*. Hasil penelitian menunjukkan penambahan perkuatan angkur *bolt* pada sambungan beton lama dan beton baru dapat meningkatkan tegangan geser dibandingkan tanpa angkur *bolt* yaitu sebesar 75,09% dan 75,18%. Ini menunjukkan penambahan angkur *bolt* sebagai perkuatan pada sambungan mampu meningkatkan kapasitas geser yang lebih baik. Kegagalan pada beton tanpa angkur *bolt* benda uji terpisah pada sambungan dimana *adhesi interface* antara beton lama dan beton baru rendah, sedangkan dengan angkur *bolt* benda uji terpisah tetapi masih menjadi satu pada sambungan beton lama dan beton baru karena *interlocking* pada beton dengan penambahan angkur *bolt* meningkatkan kapasitas geser dan tarik.

Kata Kunci: Kerusakan, Sika Grout, Angkur *Bolt*, *Direct Shear Test*

ABSTRACT

MEICHIN WONG MASIGA. *SHEAR BEHAVIOR OF BEAM STRENGTHENING CONNECTION USING BOLT ANCHOR* (Supervised by Rita Irmawaty and Fakhruddin)

The decrease in structural strength that occurs in a concrete structure can be caused by changes in function, natural disasters, or other factors characterized by cracks and spalling. To overcome the various damages that occur, proper repair and strengthening methods are needed. Grouting is a structural damage repair method that is often used today because it meets the requirements. Grouting is the process of adding a mixture of water and sika grout 215 because it has the characteristics of not shrinking and flowing well so that it can easily fill small parts of the concrete. Bolt anchors are a material that can transmit tensile and shear loads that work on concrete to provide interlocking so that old concrete and new concrete connections are not easily broken. Making bolt anchors an choice for strengthening structures. This study aims to analyze the shear behavior and failure modes of concrete beams with bolt anchors. The stages of the research are divided into two, namely testing the compressive strength of grouting mortar and testing the direct shear of concrete beams. Testing the compressive strength of grouting mortar using a cylindrical specimen of 50 mm x 100 mm, tested at 28 days of age. Meanwhile, the beam direct shear test used a beam specimen with dimensions of 400 mm x 100 mm x 100 mm consisting of 12 beams consisting of control beams, beams with grouting repairs, and beams with bolt anchors strengthening. The result showed that the are of bolt anchor strengthening to connection the old concrete and new concrete increased the shear stress compared without bolt anchors of 75,09% and 75,18%. This shows that the addition of bolt anchors as strengthening in the connection can improve the shear capacity better. Failure in concrete without bolt anchors, the specimen is split and separated at the connection where the interface adhesion between the old concrete and new concrete is low, whereas with bolt anchors the specimen is split but still becomes one in the connection of the old concrete and new concrete due to interlocking in the concrete with the addition of bolt anchors increase the shear and tensile capacity.

Keywords: Damage, Sika Grout, Bolt Anchors, Direct Shear Test

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Beton	11
2.3 Kapasitas Geser Balok Beton.....	13
2.4 Mode Kegagalan Pada Balok Beton	15
2.5 Metode Perbaikan dan Perkuatan.....	16
2.6 Mortar <i>Grouting</i>	18
2.7 Angkur <i>Bolt</i>	19
2.8 Teori Gesekan Geser Sambungan Beton	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Lokasi Penelitian.....	25
3.2 Bagan Alir Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.3.1 Pengujian Sifat Mekanis Beton.....	26
3.3.2 Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Grouting</i>	27
3.3.3 Pengujian Geser Balok.....	28
3.3.4 Bahan	29
3.4 Benda Uji	30
3.4.1 Pembuatan Benda Uji Balok Beton dan Silinder	31
3.4.2 Pengujian Kuat Tekan Mortar <i>Grouting</i>	31
3.4.3 Pengujian Geser Balok.....	31
3.4.4 Desain Penelitian.....	32
3.4.5 Perhitungan Kapasitas Geser.....	33
3.4.6 Perhitungan Kekuatan Ikatan	34
3.4.7 Tahapan Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Pengujian Sifat Mekanis Beton.....	38
4.2 Kuat Tekan Mortar <i>Grouting</i>	39
4.3 Pengujian Geser Balok.....	40

4.4 Tegangan Geser Maksimum	40
4.5 Hubungan Tegangan Geser-Lendutan	42
4.6 Mode Kegagalan Balok BK	46
4.7 Mode Kegagalan Balok BGR	47
4.8 Mode Kegagalan Balok BGR-B8	49
4.9 Mode Kegagalan Balok BGR-B10	50
4.10 Perhitungan Perbandingan Kapasitas Geser dan Eksperimental.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a) Pengasaran tingkat rendah (b) Pengasaran tingkat tinggi	9
Gambar 2. <i>Set-up</i> pengujian geser <i>interface</i>	10
Gambar 3. <i>Direct shear test</i>	15
Gambar 4. Keruntuhan lekatan beton lama dan baru	16
Gambar 5. Konsep perbaikan dan perkuatan struktur	17
Gambar 6. <i>Mechanical expansion anchors</i>	20
Gambar 7. <i>Undercut anchors</i>	20
Gambar 8. <i>Screw anchors</i>	20
Gambar 9. <i>Plastic anchor</i>	20
Gambar 10. <i>Chemical anchor</i>	21
Gambar 11. Gesekan geser	22
Gambar 12. Mekanisme ketahanan geser <i>interface</i>	23
Gambar 13. Bagan alir penelitian	26
Gambar 14. <i>Universal Testing Machine</i>	27
Gambar 15. <i>Mixer</i>	27
Gambar 16. Silinder 50 mm x 100 mm	27
Gambar 17. LVDT (<i>Linear Variable Displacement Transducer</i>).....	28
Gambar 18. <i>Load cell</i> 200 kN	28
Gambar 19. <i>Data logger</i> TDS 530.....	29
Gambar 20. (a) Angkur <i>bolt</i> 8 cm (b) Angkur <i>bolt</i> 10 cm	30
Gambar 21. Mortar <i>grouting</i>	30
Gambar 22. <i>Sika bond</i>	30
Gambar 23. Dimensi benda uji	31
Gambar 24. Dimensi benda uji tekan mortar <i>grouting</i>	31
Gambar 25. Benda uji tipe 1 (BK).....	32
Gambar 26. Benda uji tipe 2 (BGR).....	33
Gambar 27. Benda uji tipe 3 (BGR-B8).....	33
Gambar 28. Benda uji tipe 4 (BGR-B10).....	33
Gambar 29. Pabrikasi benda uji beton.....	35
Gambar 30. Perawatan beton.....	35
Gambar 31. Pemasangan angkur <i>bolt</i> dan pencampuran mortar <i>grouting</i>	36
Gambar 32. Pengecoran material perbaikan.....	37
Gambar 33. <i>Set-up</i> benda uji	37
Gambar 34. Pengujian karakteristik mekanis beton	38
Gambar 35. Uji kuat tekan mortar <i>grouting</i>	39
Gambar 36. Tegangan geser maksimum rata-rata	41
Gambar 37. Lendutan maksimum rata-rata	41
Gambar 38. Hubungan beban-lendutan	43
Gambar 39. Grafik gabungan tegangan geser-lendutan	45
Gambar 40. Retak pada balok kontrol (BK).....	46
Gambar 41. Keruntuhan balok kontrol (BK).....	47
Gambar 42. Retak pada balok <i>grouting</i> (BGR).....	47
Gambar 43. Keruntuhan balok <i>grouting</i> (BGR).....	48
Gambar 44. Permukaan beton lama setelah pengujian.....	48
Gambar 45. Retak pada balok BGR-B8	49

Gambar 46. Mode kegagalan balok BGR-B8.....	50
Gambar 47. Permukaan beton lama setelah pengujian.....	50
Gambar 48. Retak balok BGR-B10.....	51
Gambar 49. Mode kegagalan balok BGR-B10.....	51
Gambar 50. Permukaan beton lama setelah pengujian.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai konstanta dalam AASHTO dan <i>fib</i> MC2010	14
Tabel 2. Variasi benda uji 400 x 100 x 100 mm	32
Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton	38
Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan <i>grouting</i>	39
Tabel 5. Tegangan geser maksimum	40
Tabel 6. Rekapitulasi perbandingan kapasitas geser dan eksperimental.....	54

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
V	Kapasitas geser sambungan
ρ atau ρ	Rasio kekuatan
θ	Sudut antara <i>interface</i> dan tulangan ($\theta = 90^\circ$ dalam penelitian ini)
f_y	Kekuatan leleh tulangan
A_c	Luas permukaan
μ	Koefisien gesek
f_c	Kekuatan beton
b	Koefisien yang mewakili pengaruh kekasaran permukaan ($b = 0,5$)
σ_n	Tegangan tekan rata-rata
c	Faktor kohesi
A_{vf}	Luas tulangan pada <i>interface</i>
P_c	Gaya tekan
τ_c	Tegangan <i>interlocking</i>
$K1$	Faktor interaksi
$K2$	Faktor reduksi untuk aksi Dowel
f_{tb}	Kekuatan ikatan tarik
P	Beban maksimum
h	Tinggi benda uji pada permukaan ikatan

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera untuk kita semua, Shalom.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **“PERILAKU GESER PADA SAMBUNGAN PERKUATAN BALOK DENGAN ANGKUR BOLT”** 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. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, 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, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Dr. Eng. Fakhrudin, 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 Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
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 tercinta, yaitu ayah **Wong Chau Wah** dan ibu **Shelin Patimang** atas kasih sayang dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu dan atas bantuan sekaligus dukungan baik secara moril maupun materi.
2. **Anugrah Masiga Wong Xi Lin** sebagai saudara yang selalu memberikan banyak warna dalam hidup penulis.
3. Keluarga tercinta **Kakek, Nenek, Om dan Tante** atas kasih sayang dan doa yang tiada henti serta bantuan sekaligus dukungan baik secara moril maupun materi.
4. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur**. Terima kasih karena telah menjadi teman berdiskusi yang baik dan telah menghidupkan

suasana mukim perkuatan serta membuat penulisan tugas akhir ini menjadi sangat menyenangkan.

5. **D011 17 1525** yang selalu ada dalam memberikan masukan dan dukungan serta menjadi teman cerita bagi penulis.
6. **Cynosure dan KMKO SIPIL 19** yang telah menjadi tempat berbagi canda dan tawa dalam segala hal serta banyak memberikan warna-warni dalam menjalankan perkuliahan di Fakultas Teknik UNHAS ini.
7. **Kak Ali, S.T., dan Kak Radix, S.T.** yang selalu memberikan banyak ilmu dan pengetahuan baru serta masukan dan saran kepada penulis.
8. **Yuni, Nindya, Syifa, Yana, Ricky, Fikri, Ikhsan, Ice, Arul, Wanda, Fandy, Ipi dan Afdal** selaku teman penulis yang telah banyak membantu selama melakukan penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan serta tempat berbagi cerita suka dan duka selama melakukan penelitian.
9. **Anti dan Yurinda** sebagai teman yang selalu menjadi penyemangat dan tempat berbagi cerita serta selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
10. **Opu Squad** sebagai sahabat yang selalu jadi motivator dan tempat curhat serta selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
11. **The Best People** sebagai sahabat yang selalu menjadi penyemangat dan tempat berkeluh kesah serta selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
12. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir nanti.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu.

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 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, 21 Juni 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material yang umum digunakan dalam konstruksi gedung, jembatan, jalan, dan lain sebagainya. Beton umumnya terbuat dari air, semen dan agregat (halus dan kasar) dalam perbandingan tertentu. Material yang menggunakan beton banyak dipakai karena mudah dalam memperoleh bahan-bahan penyusunnya. Kemudahan dalam pelaksanaannya juga menjadikan beton banyak digunakan sebagai komponen struktur utama. Beton berfungsi dalam menahan gaya tekan yang diakibatkan oleh beban yang diberikan.

Seiring pertambahan usia, struktur beton akan mengalami penurunan kekuatan dari kapasitas awal rencana yang disebabkan adanya faktor perubahan fungsi bangunan, bencana alam, kualitas pekerjaan yang kurang baik, maupun faktor-faktor lainnya. Kerusakan yang terjadi pada balok beton biasanya ditandai dengan adanya retakan dan pengelupasan yang apabila tidak segera diatasi dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada struktur. Maka dari itu, perlu adanya suatu metode perbaikan atau perkuatan yang tepat.

Perbaikan atau perkuatan elemen-elemen struktur diperlukan apabila terjadi degradasi bahan yang menjadikan tidak terpenuhinya lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*) (Triwiyono, 2000). Secara umum perbaikan (*repairing*) dilakukan untuk mengembalikan fungsi kinerja struktur seperti semula. Istilah perbaikan diterapkan pada bangunan yang telah rusak, dimana telah terjadi penurunan kekuatan kemudian dikembalikan seperti semula. Sedangkan perkuatan (*strengthening*) adalah suatu tindakan modifikasi struktur, mungkin belum terjadi kerusakan, dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan atau menaikkan kemampuan bangunan dalam memikul beban yang lebih besar akibat perubahan fungsi dan stabilitas bangunan.

Untuk menghindari kerusakan struktur perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan dengan menggunakan suatu bahan yang mampu meningkatkan kekuatan pada elemen struktur beton. Mekanisme perkuatan merupakan salah satu upaya

penanggulangan yang relevan untuk meningkatkan kinerja struktur beton eksisting agar memenuhi persyaratan standar.

Salah satu metode perbaikan yang dapat dilaksanakan pada beton yang telah mengalami kerusakan seperti dengan menempatkan beton baru menyatu dengan beton lama adalah dengan *grouting*. *Grouting* dianggap sebagai metode yang paling mudah dan paling murah untuk dilaksanakan, selain itu bahan berupa semen grout memiliki daya susut yang rendah serta mutu yang tinggi sehingga diharapkan dapat menggantikan beton yang mengalami kerusakan. Semen grout memiliki karakteristik yang encer sehingga dapat dengan mudah mengisi bagian-bagian kecil yang mengalami kerusakan.

Interface atau pertemuan merupakan bagian terlemah dalam struktur yang menyebabkan permasalahan pada lekatan antara beton lama dan beton baru. Adhesi *interface* antara dua lapis beton dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: a) kebersihan permukaan beton dari zat-zat kontaminan yang dapat menyebabkan licinnya permukaan beton dan terganggunya lekatan pada *interface*, b) kekasaran yang sangat ditentukan perlakuan terhadap permukaan beton, c) komposisi beton segar untuk material *overlay/concrete topping*, d) teknik pengecoran dan pemadatan *overlay/concrete topping*, dan e) perawatan beton.

Penelitian yang dilakukan oleh Sugira Said (2023), menunjukkan bahwa pada sambungan beton normal dan mortar *grouting* balok mengalami kegagalan *debonding* yaitu hilangnya lekatan antara beton dari terputusnya retak-retak pada sambungan dan pada saat beban ditingkatkan terjadi kegagalan sambungan akibat adanya delaminasi beton normal dan mortar *grouting* yang terjadi pada tengah bentang yang merupakan daerah momen maksimum.

Untuk meningkatkan kekuatan geser antara beton lama dan *grouting* maka digunakan perkuatan dengan angkur *bolt*. Angkur *bolt* adalah sambungan antara beton dengan elemen struktural maupun non-struktural. Angkur *bolt* ini menyalurkan gaya tekan dan gaya tarik diantara sambungan tersebut. Angkur *bolt* jenis ini ditanam dalam struktur beton lama dengan melakukan pengeboran. Saat merekah, selongsong akan menekan sisi dalam lubang beton hingga baut jadi tertanam kuat di dalam beton. Kemudian baut yang muncul di permukaan beton

ditutup dengan beton baru, sehingga angkur *bolt* ini menjadi sambungan antara beton lama yang mengalami kerusakan dengan beton baru yaitu *grouting*.

Indryawan dan Apriyatno (2020) meneliti metode pemasangan angkur *cast-in place* dan *post installed*. Untuk metode *cast-in place*, pemasangan angkur dilakukan ketika beton masih dalam fase *setting*. Sedangkan untuk metode *post installed*, pemasangan angkur dilakukan dengan cara pengeboran pada beton setelah beton berumur 28 hari. Perhitungan teoritis kegagalan *breakout* sebesar 47,4 kN, hasil penelitian diperoleh beban maksimum yang dapat ditahan oleh angkur ke beton secara *cast-in place* sebesar 48,15 kN dan secara *post installed* sebesar 47,74 kN. Pada metode *cast-in place* terdapat dua faktor yang mempengaruhi yaitu tegangan lekat beton dan faktor *interlocking* pada baut. Pada metode *post installed* hanya dipengaruhi oleh faktor *interlocking*. Maka, dengan hasil tersebut pemasangan angkur untuk retrofitting konstruksi yang sudah ada sebelumnya bisa menggunakan metode *post installed*.

Penggunaan angkur *bolt* sebagai sambungan beton lama dan baru yang dipasang dengan melakukan pengeboran pada beton lama (*post installed*). Di mana angkur *bolt* yang ditanam ke dalam beton lama digunakan untuk menyalurkan beban tarik dan geser yang bekerja ke beton pada saat dilakukan pengujian *direct shear test*. *Direct shear test* adalah pengujian sederhana untuk mengetahui kekuatan sambungan antara dua material (beton lama dan baru). Pada daerah sambungan antara beton lama dan baru merupakan bagian paling riskan pada elemen struktur. Maka dari itu, diberikan angkur *bolt* pada sambungan untuk memberikan *interlocking* agar sambungan beton lama dan baru tidak mudah terputus.

Penelitian ini mengembangkan penggunaan angkur *bolt* sebagai material perkuatan geser balok dalam bentuk sambungan antara beton lama dan baru yang diuji dengan metode *direct shear test*. Perkuatan tersebut diharapkan dapat meningkatkan kinerja struktural, termasuk daya dukung dan kekakuan balok beton. Salah satu faktor yang mempengaruhi aksi komposit antara balok beton dengan angkur *bolt* adalah jarak tanam antara angkur *bolt*. Maka dari itu, penting dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental yaitu **“PERILAKU GESER PADA SAMBUNGAN PERKUATAN BALOK DENGAN ANGKUR BOLT”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perilaku geser pada sambungan perkuatan balok yang menggunakan angkur *bolt* dengan pengujian *direct shear*?
2. Bagaimana mode kegagalan pada sambungan perkuatan balok dengan metode angkur *bolt*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perilaku geser pada sambungan perkuatan balok yang menggunakan angkur *bolt* dengan pengujian *direct shear*.
2. Menganalisis mode kegagalan pada sambungan perkuatan balok dengan metode angkur *bolt*.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan memberi sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman informasi mengenai bagaimana perilaku geser pada sambungan balok dengan perbaikan menggunakan metode angkur *bolt*.
2. Menjadi pertimbangan dan bahan referensi untuk penelitian terkait yang berhubungan dengan perbaikan dan perkuatan struktur pada beton yang mengalami kerusakan.

1.5 Ruang Lingkup

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 dengan dimensi 400 mm x 100 mm x 100 mm yang diperkuat dengan angkur *bolt*.
2. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah $f'c$ 25 MPa.

3. Menggunakan mortar *grouting* komersial dari pencampuran air dengan Sika Grout 215 (*New*).
4. Menggunakan perekat antara beton dari Sika *Bond*.
5. Menggunakan Angkur *Bolt* jenis *Mechanical Expansion Anchors* tipe M10 ukuran 8 cm dan 10 cm.
6. Terdapat 12 benda uji terdiri dari:
 - a) 3 (tiga) benda uji balok beton normal sebagai balok kontrol
 - b) 3 (tiga) benda uji balok beton dengan mortar *grouting* sepanjang 100 mm x 100 mm x 100 mm.
 - c) 3 (tiga) benda uji balok beton yang diperkuat dengan angkur *bolt* ukuran 8 cm pada posisi sambungan beton lama dengan *grouting*.
 - d) 3 (tiga) benda uji balok beton yang diperkuat dengan angkur *bolt* ukuran 10 cm pada posisi sambungan beton lama dengan *grouting*.
7. Dilakukan uji geser langsung (*direct shear test*) menggunakan alat uji UTM.
8. Pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan.

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, ruang lingkup, 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 diantaranya adalah hasil pengujian karakteristik mortar *grouting* dan pengujian geser balok.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

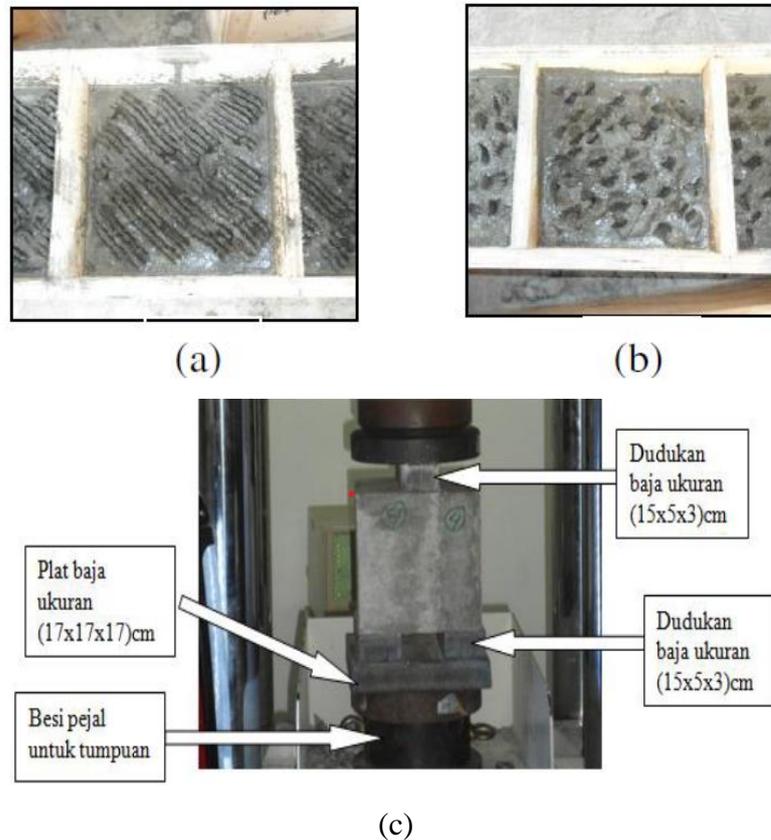
Friska, M. F., (2021) dengan penelitian tentang Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Perkuatan Semen *Grouting* Terhadap Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang. Gempa yang mengakibatkan banyaknya kerusakan bangunan harus dilakukan penanganan secepatnya, agar dapat digunakan kembali sesuai dengan fungsinya, perkembangan ilmu material saat ini telah memberikan jawaban untuk perbaikan dan perkuatan struktur yang telah mengalami kerusakan dengan memanfaatkan salah satu material yaitu semen *grouting*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kapasitas geser balok beton bertulang tanpa sengkang yang diberi perkuatan semen *grouting* pada bentang geser balok. Semen *grouting* yang diberi divariasikan berdasarkan panjang perkuatan, diantaranya: 400 mm dan 800 mm. selain itu jumlah tulangan tariknya juga divariasikan. Benda uji yang digunakan berjumlah 9 balok dengan identifikasi 3 balok tanpa menggunakan perkuatan (BSC-01, BSC-02, BSC-03), 3 balok dengan panjang perkuatan 400 mm (BSS 1-01, BSS 1-02, BSS 1-03), dan 3 balok dengan panjang perkuatan 800 mm (BSS 2-01, BSS 2-02, BSS 2-03).

Dari hasil penelitian kapasitas geser balok beton bertulang yang dipengaruhi oleh rasio tulangan tarik dan variasi panjang perkuatan semen *grouting*. Rasio tulangan yang semakin besar akan memberikan kapasitas geser yang juga semakin besar. Untuk balok yang menggunakan semen *grouting* sebagai perkuatan dapat berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas geser balok, tetapi pada saat perkuatan semen *grouting* mengalami peristiwa *debonding* yang diakibatkan *bond* yang berfungsi sebagai rekatan antara semen *grouting* dengan beton tidak bekerja dengan sempurna maka terjadi penurunan kapasitas geser balok sehingga beban pada saat kegagalan yang dipikul tidak meningkat dari balok tanpa perkuatan. Seandainya kelekatan *bond* terhadap semen *grouting* dengan beton itu baik dan bekerja dengan sempurna, maka kapasitas geser akan mengalami peningkatan dari balok tanpa perkuatan. Dari penelitian juga dapat disimpulkan bahwa panjang perkuatan semen *grouting* 800 mm pada bentang geser balok lebih baik digunakan daripada panjang

perkuatan semen *grouting* 400 mm, dikarenakan perkuatan dengan panjang 800 mm penurunannya lebih kecil dan lebih mendekati dari nilai balok tanpa perkuatan.

Sandagie et al., (2012) melakukan penelitian tentang Kajian Geser *Interface* Antara Beton Lama dan Baru Dengan Variabel Waktu dan Variabel Penanganan *Interface*. Dalam bidang perbaikan dan perkuatan struktur beton, sering muncul kebutuhan untuk menempatkan beton baru menyatu dengan beton lama. Beberapa contoh aplikasi di lapangan adalah pada struktur jalan raya yang membutuhkan perbaikan atau pelebaran dan juga untuk memperbaiki struktur beton dari kerusakan akibat penurunan kualitas. Penelitian ini menggunakan salah satu metode penanganan *interface* yaitu dengan mengasarkan permukaan beton lama. Pada metode penyambungan dengan pengasaran permukaan beton lama, dibagi menjadi dua yaitu pengasaran tingkat rendah dan tingkat tinggi. Klasifikasinya yaitu pengasaran tingkat rendah dilakukan dengan membuat tekstur pada permukaan beton lama dengan kedalaman ± 3 mm sedangkan pengasaran tingkat tinggi dilakukan dengan membuat tekstur pada permukaan beton lama dengan kedalaman ± 7 mm dan diberi kawat ayam. Benda uji yang digunakan berupa kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm yang dibagi menjadi dua yaitu beton lama berukuran 10 x 15 x 15 cm dan beton baru berukuran 5 x 15 x 15 cm. kedua metode pengasaran tersebut masing-masing akan dikombinasikan dengan variasi umur penyambungan beton lama dan baru yaitu umur penyambungan 7, 14, dan 28 hari. Secara teoritis, semakin tinggi tingkat pengasaran permukaan beton lama maka tegangan geser pada sambungan akan semakin kuat. Umur penyambungan yang paling lama menghasilkan kenaikan nilai tegangan geser yang paling besar antara metode kasar rendah terhadap kasar tinggi. Dari hasil eksperimen antara metode pengasaran tingkat rendah bila dibandingkan dengan pengasaran tingkat tinggi pada umur penyambungan 7 hari memiliki selisih kenaikan nilai tegangan geser sebesar 78,81%, pada umur penyambungan 14 hari sebesar 80,87%, dan pada umur penyambungan 28 hari sebesar 101,58%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu kenaikan tegangan geser antara metode kasar rendah terhadap metode kasar tinggi pada usia penyambungan 28 hari menghasilkan kenaikan yang paling besar bila dibandingkan dengan usia penyambungan 7 dan 14 hari. Semakin lama umur penyambungan diperoleh

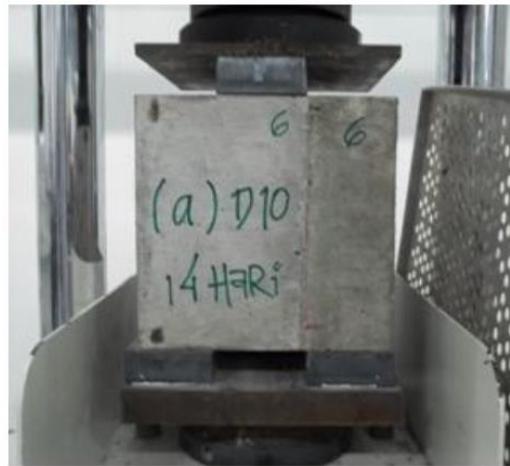
kenaikan nilai tegangan geser yang semakin besar. Pada metode kasar tinggi diperoleh tegangan geser yang lebih besar karena memiliki tekstur pengasaran yang lebih dalam ditambah lagi dengan penempatan kawat ayam pada bagian sambungan sehingga menimbulkan lekatan yang lebih kuat pada bagian sambungannya.



Gambar 1. (a) Pengasaran tingkat rendah (b) Pengasaran tingkat tinggi
(c) *Set-up* pengujian

Devi Fitria et al., (2012) melakukan penelitian tentang Kajian Peran Tulangan Pada Geser *Interface* Antara Beton Lama dan Baru. Pada pekerjaan perbaikan atau perkuatan struktur dengan melakukan pengecoran beton baru yang melekat pada bidang beton lama akan membentuk semacam *interface* beton. Penelitian mengenai bagian *interface* dilakukan oleh Mamoyez et al., 2004 dan Hak-Chul Shin et al., 2010. Namun penelitian tersebut belum memasukkan parameter peran tulangan pada *interface* dalam pengujiannya. Sedangkan penelitian ini mengkaji peran tulangan terhadap kekuatan geser pada *interface* dan pola retak yang terjadi. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus berdimensi 20 cm x 20 cm x 20 cm sebanyak 30 buah yang tersusun dari dua bagian, yaitu beton lama sebesar 2/3 bagian dan beton baru sebesar 1/3 bagian dari kubus benda uji. Variabel beda umur pengecoran

terdiri dari 7, 14, dan 28 hari. Variasi bentuk dan diameter tulangan terdiri dari bentuk Tulangan I dan Tulangan U dengan diameter 8 mm dan 10 mm. dari penelitian disimpulkan bahwa benda uji tanpa tulangan mempunyai kapasitas geser paling kecil, sedangkan benda uji dengan Tulangan U memiliki kapasitas geser yang lebih besar dibandingkan dengan Tulangan I. Hal ini dikarenakan penambahan tulangan memberikan pengaruh kekuatan geser yang lebih besar serta Tulangan U bersifat lebih kaku, *interlocking* dan lekatan antara beton dan tulangan lebih kuat dibandingkan dengan Tulangan I.



Gambar 2. *Set-up* pengujian geser *interface*

Nurrahman., (2018) melakukan penelitian tentang Uji Eksperimental Geser *Interface Substrate Dan Topping* Dengan Variasi Kekuatan Tekan Pada Lapis *Topping*. Kajian dilakukan untuk mengetahui kuat geser sambungan beton dengan menerapkan variasi kekuatan tekan rencana pada lapis *topping*. Penambahan *topping* pada *substrate* dilakukan umur 28 hari (umur beton *substrate*) dan uji geser sambungan umur 56 hari (umur sambungan 28 hari). Jenis beton yang digunakan adalah beton normal dimana permukaannya tidak dikasarkan dan tanpa bahan zat adiktif. Kajian dilakukan dengan metode eksperimental di laboratorium. Kajian ini menggunakan kuat tekan rencana beton *substrate* 20 MPa (NCS₂₀) dan kuat tekan rencana beton *topping* yaitu 20 MPa (NCT₂₀), 25 MPa (NCT₂₅), dan 30 MPa (NCT₃₀). Benda uji berbentuk kubus dengan dimensi 20 x 20 x 20 cm. Pada bagian beton *substrate* memiliki ketebalan 12,5 cm dan untuk beton *topping* dengan ketebalan 7,5 cm. Setiap spesimen berjumlah 3 buah benda uji dengan jumlah keseluruhan 9 buah benda uji. Analisis data menggunakan deskriptif kuantitatif.

Hasil dari kajian didapatkan kuat tekan pada sampel *substrate* dengan notasi $NCSS_{20}$ rerata yaitu 18,51 MPa. Beton silinder sampel *topping* dengan notasi $NCCT_{20}$, $NCCT_{25}$, dan $NCCT_{30}$ didapatkan kuat tekan rerata yaitu 22,21 MPa, 24,39 MPa, dan 30,93 MPa. Hasil uji kuat geser sambungan dengan notasi $NCST_{20-20}$, $NCST_{20-25}$, dan $NCST_{20-30}$ yaitu 0,44 MPa, 0,45 MPa, dan 0,3 MPa. Nilai uji geser sambungan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tekstur permukaan sambungan dan kuat tekan.

2.2 Beton

Menurut SNI 2847 – 2019 beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Dalam dunia konstruksi gedung, beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok, pelat atau pelat cangkang. Dalam konstruksi jalan, beton digunakan sebagai lapisan perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Sifat utama dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Dalam perhitungan struktur, kuat tarik beton ini biasanya diabaikan. Sifat utama dari baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Dari sifat utama tersebut, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu-kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beban beton (Asroni, 2010).

Kuat tekan beton f'_c yaitu kuat tekan silinder beton yang diisyaratkan pada waktu 28 hari. Pada saat beban ultimit, retak yang searah dengan arah pembebanan menjadi dapat terlihat dengan jelas dan beton akan segera hancur. Diketahui bahwa semakin rendah kekuatan beton, semakin tinggi regangan kegagalan, panjang dari bagian awal yang relatif linear meningkat dengan meningkatnya kekuatan tekan beton dan terjadi penurunan daktilitas yang nyata dengan peningkatan kekuatan.

Kekuatan tarik beton lebih sulit diukur dibanding kuat tekannya karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Ada sejumlah metode yang tersedia

untuk menguji kekuatan tarik dan yang paling sering digunakan adalah uji tarik belah silinder.

Sukses beton bertulang sebagai bahan konstruksi yang universal cukup mudah dipahami jika dilihat dari banyaknya kelebihan yang dimilikinya. Kelebihan tersebut antara lain (Mc Cormac, 2001):

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan yang lain.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
4. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
5. Dibandingkan dengan bahan lain beton memiliki usia layan yang sangat panjang. Dalam kondisi-kondisi normal, struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapan pun tanpa kehilangan kemampuan untuk menahan beban.
6. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding, *basement*, tiang tumpuan jembatan, dan bangunan-bangunan semacam itu.
7. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk sangat beragam, mulai dari pelat, balok, dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
8. Di sebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.
9. Keahlian buruh untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti baja struktur.

Di samping kelebihan-kelebihan beton bertulang sebagai suatu bahan struktur, beton bertulang juga mempunyai berbagai kekurangan dan kelemahan. Kelemahan-kelemahan tersebut antara lain adalah (Mc Cormac, 2001):

1. Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.

2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap di tempatnya sampai beton tersebut mengeras. Selain itu, penopang atau penyangga sementara mungkin diperlukan untuk menjaga agar bekisting tetap berada pada tempatnya, misalnya pada kolom, dinding, atap, dan struktur-struktur sejenis, sampai bagian-bagian beton ini cukup kuat untuk menahan beratnya sendiri.
3. Rendahnya kekuatan persatuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat.
4. Rendahnya kekuatan persatuan volume akan mengakibatkan beton akan berukuran relatif lebih besar.

Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi-campuran dan pengadukannya.

2.3 Kapasitas Geser Balok Beton

Fakhrudin (2017) perilaku keruntuhan dan mekanisme penahan geser pelat geladak PC pelebaran di bawah beban terpusat. Kapasitas geser eksperimental dibandingkan dengan prediksi kapasitas geser yang diperoleh dari spesifikasi JSCE, AASHTO dan *fib* Model Code 2010. Namun, untuk pelat yang dikenai beban terpusat, kapasitas geser tidak dapat dihitung diseluruh area antarmuka (A_c) tetapi pada area efektif tertentu dari antarmuka (A_{eff}). Oleh karena itu, luas efektif antarmuka diusulkan dalam penelitian ini untuk memodifikasi asumsi luas seluruh antarmuka dalam pedoman desain. Mode kegagalan eksperimental adalah kegagalan geser pada permukaan, kapasitas geser eksperimental dibandingkan dengan kapasitas geser yang diprediksi menggunakan spesifikasi JSCE, AASHTO, dan *fib* Model Code 2010. Kapasitas geser yang diprediksi oleh pedoman ini dianggap tanpa faktor keamanan parsial. Tabel 1 memberikan nilai konstanta sebagai pedoman.

Untuk kapasitas geser antarmuka JSCE (2012) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{cwd} = (\tau_c + p \tau_s \sin^2\theta - \alpha p f_y \sin\theta \cos\theta) A_c \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$$\tau_c = \mu f_c^b (\alpha p f_y - \sigma_n)^{1-b} \dots\dots\dots(2)$$

$$\tau_s = 0,08 f_y / \alpha \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha = 0,75 \{1 - 10(p - 1,7 \sigma_n / f_y)\} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk kapasitas geser antarmuka AASHTO (2007) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{ni} = c A_c + \mu (A_{vf} f_y + P_c) \dots\dots\dots (5)$$

Untuk kapasitas geser antarmuka *fib* Model Code 2010 (MC2010) menggunakan persamaan:

$$\tau_u = \tau_c + \mu (\sigma_n + K_1 \rho f_y) + K_2 \rho \sqrt{f_{c,cub} e f_y} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

V = Kapasitas geser sambungan

P atau ρ = Rasio kekuatan

θ = Sudut antara *interface* dan tulangan ($\theta = 90^\circ$ dalam penelitian ini)

f_y = Kekuatan leleh tulangan

A_c = Luas permukaan

μ = Koefisien gesek

f'_c = Kekuatan beton

b = Koefisien yang mewakili pengaruh kekasaran permukaan ($b = 0,5$)

σ_n = Tegangan tekan rata-rata

c = Faktor kohesi

A_{vf} = Luas tulangan pada *interface*

P_c = Gaya tekan

τ_c = Tegangan *interlocking*

K_1 = Faktor interaksi

K_2 = Faktor reduksi untuk aksi Dowel

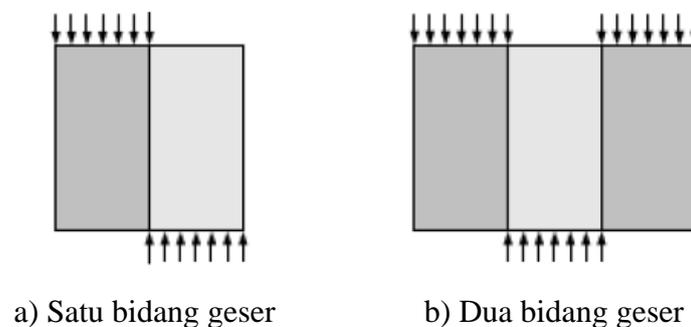
Tabel 1. Nilai konstanta dalam AASHTO dan *fib* MC2010

Pedoman	Kekasaran Permukaan	τ_c (MPa)	μ	c (MPa)	K_1	K_2
AASHTO (2007)	Halus	-	0.6	0.17	-	-
	Kasar	-	0.1	1.93	-	-
<i>fib</i> Model Code 2010 (MC2010)	Halus	0,5-1,5	0,5-0,7	-	0.5	1.1
	Kasar	1,5-2,5	0,7-1,0	-	0.5	0.9

Dalam spesifikasi JSCE, AASHTO dan *fib* Model Code 2010, variabel luas antarmuka (A_c) diasumsikan sebagai total luas antarmuka. Persamaan dalam

pedoman ini ditentukan menurut teori gesekan-geser, yang biasanya diadopsi sebagai uji dorongan atau uji geser langsung. Namun, untuk studi ini hanya antarmuka disekitar titik pembebanan yang retak saat terjadi keruntuhan geser. Dengan demikian, luas antarmuka tidak dapat dianggap sebagai luas total antarmuka, tetapi harus dianggap sebagai luas efektif (A_{eff}). Karena nilai konstanta disetiap pedoman desain dipisahkan berdasarkan tingkat kekasaran antarmuka.

Nilai uji geser bisa berbeda sesuai dengan metode pengujian yang digunakan. Julio dan Santos (2009) menjelaskan beberapa metode yang digunakan dalam pengujian geser dan dikategorikan menurut Momayez et al., (2005) menjadi tiga kategori: a) *Tension Stresses* (Tegangan Tarik), b) *Shear Stresses* (Tegangan Geser), c) *Shear and Compression Stresses* (Tegangan Geser dan Tekan). Pada kategori kedua *Shear Stresses* (Tegangan Geser) terdapat beberapa metode yang digunakan salah satunya yaitu *Direct Shear Test*. *Direct Shear Test* adalah pengujian sambungan yang paling sederhana untuk mendapatkan kekuatan sambungan antara dua material. Dalam pengujian ini, benda uji komposit diberi dua gaya tekan yang berlawanan dimana masing-masing bertugas sebagai bagian berbeda dari benda uji. Rata-rata tegangan geser pada *interface* didapatkan dengan membagi beban tekan oleh area sambungan.



Gambar 3. *Direct shear test*

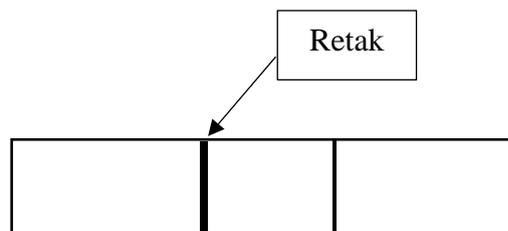
2.4 Mode Kegagalan Pada Balok Beton

Angkur merupakan jenis material yang kinerjanya mencakup gabungan dari dua jenis material yang berbeda, baja yang duktail dan mempunyai kekuatan yang sama terhadap tarik dan tekan, serta beton yang bersifat getas dan hanya kuat menerima tegangan tekan saja. Pola keruntuhan baut angkur adalah terhadap gaya

tarik dan gaya geser, salah satunya adalah kuat jebol (*Breakout*) beton terhadap gaya geser. (Wiryanto, 2015)

Concrete breakout merupakan salah satu pola keruntuhan pada penggunaan angkur. *Concrete breakout* sendiri ada dua penyebab kegagalan, yaitu kegagalan akibat gaya tarik, dan juga akibat gaya geser. Jika *breakout* terhadap gaya tarik akan menyebabkan beton yang sejajar dengan baut pecah pada bagian atas yang terangkat. Sedangkan *breakout* terhadap gaya geser, beton yang tegak lurus dengan baut akan pecah bagian pinggir mengikuti arah dari gaya yang diberikan.

Keruntuhan yang terjadi diakibatkan oleh kegagalan pada lekatan antara beton lama dengan beton baru (*grouting*) ditandai dengan adanya retakan-retakan. Balok mengalami retak pada daerah sambungan antara beton lama dan baru.



Gambar 4. Keruntuhan lekatan beton lama dan baru

2.5 Metode Perbaikan dan Perkuatan

Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kerusakan/kehancuran. Perkuatan struktur diperlukan apabila terjadi degradasi bahan yang menjadikan tidak terpenuhinya lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*) (Triwiyono,2000).

Pemilihan material dan penentuan metode perbaikan dan perkuatan didasarkan pada jenis kerusakan yang terjadi, besar dan luasnya kerusakan, faktor lingkungan, ketersediaan peralatan, waktu pelaksanaan, dan biaya yang dibutuhkan. Berikut merupakan beberapa metode perbaikan dalam menangani kerusakan yang umum terjadi pada beton :

1. Injeksi. Perbaikan injeksi dilakukan pada kerusakan akibat retak, dimana retak dibedakan menjadi dua yaitu retak struktur dan non-struktur. Untuk retak non-

struktur digunakan metode injeksi dengan material pasta semen yang dicampur dengan *expanding agent* atau hanya melakukan sealing dengan material mortar *polymer*. Sedangkan untuk retak struktur digunakan metode injeksi dengan material *epoxy* yang memiliki viskositas rendah sehingga dapat mengisi sekaligus melekatkan kembali bagian beton yang terpisah.

2. *Grouting*. Perbaikan *grouting* adalah metode perbaikan dengan melakukan pengecoran memakai bahan *non-shrink* mortar. Metode ini dapat dilakukan secara manual atau menggunakan pompa dengan persyaratan material harus memiliki sifat mengalir dan tidak susut.
3. Perbaikan *shotcrete* adalah menembakkan mortar dengan tekanan pada lubang atau permukaan beton yang memerlukan perbaikan. Metode ini dilakukan dengan memompa material yang telah dicampur melalui pipa kemudian mortar yang masih kering ditembak/dipompa dan akan tercampur dengan air di ujung saluran.



Gambar 5. Konsep perbaikan dan perkuatan struktur

Beberapa metode perkuatan yang umum dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Concrete Jacketing* adalah suatu metode perkuatan dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan. Dalam melakukan perkuatan dengan *concrete jacketing* biasanya digunakan bahan *micro-concrete* yang memiliki sifat dapat memadat tanpa bantuan vibrator (*self compaction*). Teknik perkuatan ini digunakan pada kolom dengan tujuan untuk memperbesar penampang kolom sehingga kekuatan geser beton menjadi meningkat.

2. *Steel Jacketing* adalah metode perkuatan kolom persegi beton bertulang. *Steel jacketing* terdiri dari empat sudut baja longitudinal yang ditempatkan di setiap sudut kolom. Sudut longitudinal ini terhubung bersama menjadi sebuah kerangka yang dihubungkan dengan *strap* baja *transversal*.
3. *Fiber Reinforced Polymer*. Perkuatan pada balok dilakukan dengan menggunakan *fiber carbon*. Metode perkuatan menggunakan FRP dilakukan dengan cara menempelkan pada permukaan beton dengan menggunakan perekat *epoxy*. FRP merupakan bahan yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi.

Pemilihan metode perkuatan dipengaruhi oleh beberapa pertimbangan, antara lain:

1. Efektifitas perkuatan.
2. Kemudahan pelaksanaan perkuatan.
3. Biaya, dalam hal ini terkait dengan pemilihan bahan agar diperoleh hasil perkuatan yang kekuatannya sesuai dengan yang diinginkan dan dapat tahan lama.

2.6 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 relatif 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 struktur bangunan.

2.7 Angkur Bolt

Angkur sebagian besar menyebutnya dengan baut atau sering disebut baut tanam adalah baut yang digunakan merekatkan kedua buah objek yang memiliki selongsong silinder yang akan mengembang ketika baut dikencangkan. Pada prinsipnya, angkur merupakan alat sambung berupa batang yang berbentuk tabung dan memiliki ulir yang salah satu ujung batang tabung tersebut dibuat dengan penampang berbentuk hexagonal yang berfungsi sebagai kepala angkur. Sedangkan ujung yang satunya lagi merupakan kaki baut yang akan dipasang mur sebagai pengunci. Pemasangan baut-mur juga acap kali dilengkapi ring yang berguna untuk mencegah terjadinya dol/londot saat baut-mur tersebut dikencangkan (Rhini Wulan Dari, 2014).

Dari cara penanamannya, jenis angkur dapat dibedakan menjadi dua jenis antara lain sebagai berikut:

1. *Cast-In-Place Anchor Bolt*

Jenis baut angkur yang paling sederhana dan paling kuat. Disebut juga sebagai “baut angkur klasik”. Kepala baut angkur diletakkan pada posisinya sesuai gambar rancangan. Kemudian barulah dilakukan pengecoran, jadilah baut angkur yang sudah ditanam di dalam struktur beton tanpa perlu dilakukan pengeboran pada struktur beton.

2. *Post-Installed Anchor Bolt*

Baut angkur jenis ini ditanam dalam struktur beton yang sudah jadi dengan melakukan pengeboran pada beton. Berikut beberapa model baut angkur jenis ini (ACI 355.3R, 2011).

1) *Mechanical Anchor*

Angkur ini secara umum tidak menggunakan bahan kimia, untuk kekuatan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kekuatan media tanam (baik beton atau batu-bata) serta kekuatan spesifikasi besi *anchor* itu sendiri (berupa titik leleh dari material *anchor*). Model dan sistem kerjanya berbeda-beda biasanya tergantung pada material yang digunakan untuk menanam.

Sistem kerja yang paling umum yang sering kita jumpai adalah sistem kembang. Dimana dalam prosesnya beton tempat media tanam dibor terlebih dahulu sesuai spesifikasi yang diperlukan. (Rolf Eligehausen 42, 2016) *Mechanical anchor* terdiri dari beberapa jenis yaitu sebagai berikut.

a. *Mechanical Expansion Anchors*

Baut angkur ini memiliki ujung yang melebar sehingga saat dikencangkan akan merekahkan selongsong yang berada di tengah baut.



Gambar 6. *Mechanical expansion anchors*

b. *Undercut Anchors*

Baut angkur jenis ini umumnya memiliki selongsong yang merekah pada ujungnya saat baut diputar untuk dikencangkan. Lubang dibuat dengan menggunakan bor khusus. Lubang tersebut memiliki bentuk yang sesuai saat selongsong direkatkan.



Gambar 7. *Undercut anchors*

c. *Screw Anchors*

Baut angkur tidak memiliki selongsong dan hanya mengandalkan friksi antara ulir baut dengan beton.



Gambar 8. *Screw anchors*

d. *Plastic Anchor*

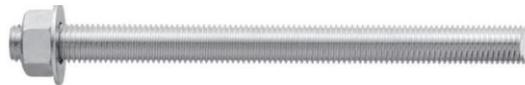
Inilah sekrup *fisher* yang kita kenal sehingga lebih tepat disebut sebagai sekrup *fisher*. Selongsongnya terbuat dari plastik dan dapat melebar saat sekrup diputar untuk dikencangkan.



Gambar 9. *Plastic anchor*

2) *Chemical Anchor*

Angkur yang menggunakan campuran zat kimia untuk keperluan baik untuk penambahan kekuatan, agar tahan kondisi seperti air atau air laut dan lain-lain. Mekanisme ankur kimia ini bisa berbeda-beda. Umumnya terdiri dari dua komponen, dimana komponen utama adalah *steel anchor*nya dan yang kedua bahan kimia sebagai pengikatnya. Angkur banyak dipasang pada beton, walaupun tidak tertutup kemungkinan untuk dipasang di batu-bata atau di dinding. Jadi kekuatan beton juga sangat mempengaruhi terhadap kekuatan atau kapasitas dari sistem ankur yang dipasang. Metodenya ada yang pertama dibor betonnya, lubangnya dibersihkan kemudian diinjeksi zat kimianya yang diinjeksikan berupa kapsul. Baut ankur kimia ini juga disebut sebagai *bonded anchor bolt* atau *adhesive anchor bolt*. Materi pengikatnya kadang disebut mortar, yang terdiri dari resin *epoxy*, *polyester* atau *vinylester*.



Gambar 10. *Chemical anchor*

Fungsi ankur sebagai penghubung geser secara mendasar sebagai pentransfer gaya geser ke struktur dan berfungsi sebagai penghubung antara beton dan baja agar tidak terpisah antara material tersebut saat diberikan beban. Penghubung geser dapat berupa baut ankur dan besi beton.

Dalam hal ini pada penelitian yang akan dilakukan digunakan ankur baut jenis *Mechanical Expansion Anchors* tipe M10 yang akan diuji perilaku geser pada sambungan perkuatannya.

Beberapa tipe keruntuhan baut ankur akibat beban yang dipikul sebagai berikut.

1. Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya tarik, dengan kekuatan baut yang lebih tinggi daripada mutu betonnya, maka kegagalan akan terjadi pada beton. Beton akan hancur dan terangkat ke atas.
2. Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya tarik dengan kekuatan mutu beton lebih tinggi daripada kekuatan baut ankurnya dimana kegagalan akan terjadi

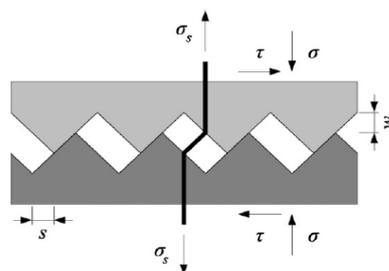
pada baut angkur, baut angkur akan terputus atau akan terlepas dari beton seluruhnya.

3. Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya geser, dimana sambungan antara beton dan baut angkurnya kuat sehingga beton yang didalamnya pecah dan mengakibatkan keruntuhan pada beton.
4. Tipe keruntuhan pada baut angkur akibat gaya geser, beton dan baut mempunyai kekuatan yang sama sehingga karena baut angkur bersifat daktail, baut akan terus berdeformasi hingga apabila beban geser diberikan terus menerus, maka lama kelamaan baut angkur akan putus.

2.8 Teori Gesekan Geser Sambungan Beton

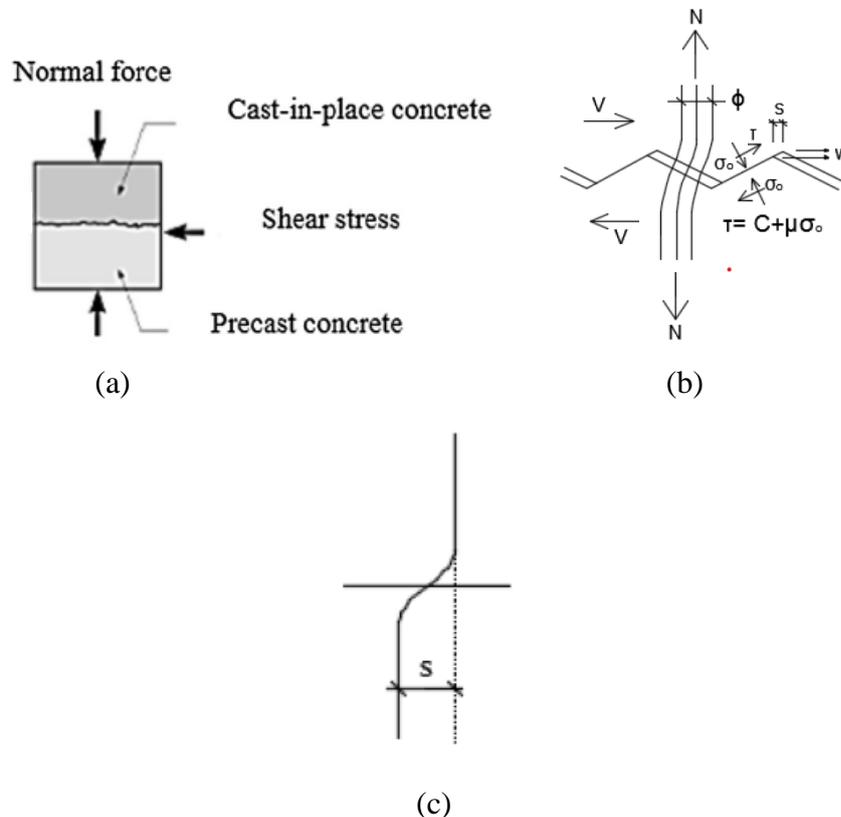
Fakhrudin (2017) Metode desain untuk menilai kekuatan geser *interface* beton ke beton telah berubah selama bertahun-tahun. Prinsip kerja sambungan geser bertulang dapat dijelaskan paling sederhana melalui teori gesekan geser, yang dikembangkan menjelang akhir tahun 1960-an di Amerika Serikat dan menggambarkan sambungan melalui model gigi gergaji sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Menurut model ini, ketika permukaannya kasar, tegangan geser tidak hanya menyebabkan perpindahan paralel, tetapi juga pembukaan sambungan, yang menimbulkan tegangan tarik disetiap *interface* persilangan tulangan. Ini pada bagiannya menciptakan tekanan tekan yang menyamakan pada sambungan, memungkinkan gaya gesek terbentuk.

Teori gesekan geser dapat digunakan untuk memprediksi kekuatan geser oleh gesekan dalam beberapa situasi. Ini termasuk: a) *interface* antara elemen pracetak dengan bagian cor di tempat, b) korbek, c) penopang logam yang mengalami gaya geser, d) daerah dekat penopang, e) sambungan antara elemen pracetak dan beton yang ada, dan f) hubungan antara kolom dan pondasi.



Gambar 11. Gesekan geser

Kekuatan geser pada *interface* beton ke beton dapat digambarkan dengan kombinasi tiga mekanisme pemikul beban yang berbeda, terdiri dari: a) ikatan perekat dan *interlock* mekanis, b) gesekan, dan c) ketahanan lentur tulangan atau sambungan baja pada Gambar 12.



Gambar 12. Mekanisme ketahanan geser *interface*

a) Ikatan Perekat dan *Interlock* Mekanis

Ikatan perekat (gaya perekat), karena ikatan kimia dan fisik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 (a), dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap ketahanan keseluruhan. Selain ikatan perekat, pengerasan yang tepat dan menghasilkan kontur permukaan yang tidak beraturan dapat menyebabkan efek *interlocking* mekanis yang kuat.

b) Gesekan

Dalam kasus gaya kompresi tegak lurus terhadap *interface*, resistansi gesek berkembang tergantung pada tingkat kekasaran permukaan. Efek kompresi dapat diberikan oleh aksi eksternal atau gaya prategang, atau secara alternatif dihasilkan dari kendala karena tulangan luar. Tahanan gesek berkembang

berbanding lurus dengan komponen gaya kompresi eksternal yang bekerja tegak lurus terhadap *interface*.

c) Ketahanan Lentur Konektor Baja (Aksi Dowel)

Slip geser sepanjang *interface* yang dilintasi oleh tulangan atau konektor menyebabkan perpindahan lateral konektor atas dan bawah (Gambar 12 (c)), sehingga menginduksi tegangan lentur pada tulangan yang ditumpangkan oleh gaya tarik aksial karena bukaan sambungan. Dalam literatur yang relevan, resistansi terhadap tekukan umumnya disebut sebagai aksi Dowel.