

**TUGAS AKHIR**

**STUDI KEKUATAN LEKATAN TULANGAN BETON PADA  
MATERIAL GROUTING**

***STUDY OF CONCRETE REINFORCEMENT BOND  
STRENGTH ON GROUTING MATERIAL***

**KHAERUL AMRI  
D111 16 013**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2020**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**STUDI KEKUATAN LEKATAN TULANGAN BETON PADA  
MATERIAL GROUTING**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**KHAERUL AMRI**

**D111 16 013**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 5 Maret 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

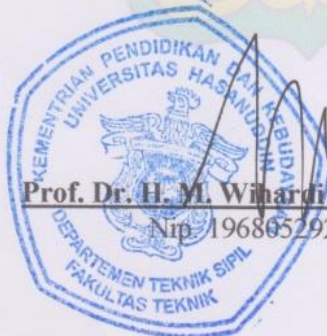


Prof. Dr-Ing. Herman Parung, M.Eng  
NIP. 196207291987031001



Dr.Eng. A. Arwin Amiruddin, ST, MT  
NIP. 197912262005011001

Ketua Program Studi,



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

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Khaerul Amri, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Studi Kekuatan Lekatan Tulangan Beton pada Material Grouting**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, Maret 2021

Yang membuat  
pernyataan,



KHAERUL AMRI  
NIM: D111 16 013

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Kekuatan Lekatan Tulangan Beton pada Material Grouting**” ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami beton bertulang.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, dan Bapak **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Ing. Herman Parung, M.Eng.**, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan masukan dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian.
4. Bapak **Dr. Eng. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan juga sebagai Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, serta memberikan motivasi dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir.
5. Seluruh dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan di Departemen Teknik Sipil, di Fakultas Teknik, di Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu Ayahanda **Danial** dan Ibunda **Nurtiah** atas doa, kasih sayang, motivasi dan segala dukungannya selama ini, baik moral maupun material yang telah diberikan.
2. Bapak **Herman Tumengkol, S.ST, M.T.** dan Kak **Nadhila Faraswati, S.T.**, sebagai partner tim yang telah berjuang bersama selama proses penelitian berlangsung.
3. **Muhammad Imawan Dhede, S.T., Muhammad Rifqi, S.T., Andi Mustaghfirin, S.T, Irfandu Wijaya, S.T., dan Bella Anisha** selaku rekan S1 mukim gempa yang telah bersama menjalankan kegiatan di laboratorium.
4. Kawan-kawan **Aslam, Rizqi, Sul, Faud, Fadhly, Bowo, Mizi, Jordy, Mex, Uqbah, Rega, Fahri, Iqram** dan **Ilham Akbar** yang selalu saling membantu dan memberikan dorongan dalam mengarungi kehidupan kampus.
5. Teman-teman **PATRON 2017**, mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2016** yang telah memberikan warna tersendiri.
6. Seluruh member gempa dan rekan KKD struktur angkatan 2016 yang telah bekerja sama dalam setiap kegiatan penelitian.
7. Kanda-kanda senior, anggota HMS FT-UH, serta adik-adik yang telah memberikan bantuan.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 30 September 2020

KHAERUL AMRI  
D111 16 013

## ABSTRAK

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang adalah lekatan batang tulangan baja dengan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran.

Mutu beton merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi daya lekatan antara tulangan dengan beton di sekelilingnya, dimana beton mutu tinggi mempunyai karakteristik kuat tekan yang besar, tetapi getas. Hal ini akan sangat mempengaruhi daya lekatan yang terjadi pada tulangan dengan beton di sekelilingnya dalam menahan beban yang bekerja, terutama gaya aksial yang bersifat tarik.

Cara paling mudah untuk mengetahui perilaku dan mekanisme bond antara beton dan tulangan ialah dengan melakukan pengujian cabut (pull-out test) pada tulangan yang ditanam di dalam beton. Dari pengujian ini dapat diketahui besarnya gaya cabut dan tegangan lekat (bond stress) rata-rata yang bekerja pada luas bidang kontak antara beton dan tulangan.

Sika grout-215 digunakan sebagai bahan grouting untuk lubang atau celah pada, ankur, baut, pondasi mesin/ alas plat kolom, landasan tumpuan jembatan, bagian beton pracetak, rongga-rongga cetakan dan untuk perbaikan. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan sika grout sebagai pengganti beton pada pengujian pullout.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh diameter tulangan dan kuat tekan beton terhadap kuat tegangan lekat pada pengujian pullout.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode studi eksperimental dengan benda uji sebanyak 6 buah, yang dibagi atas variasi grouting beton dengan tulangan ulir diameter 13 mm dan 16 mm dan beton normal dengan variasi tulangan ulir diameter 13 mm dan 16mm. Hasil pengujian pullout memperlihatkan nilai tegangan lekat variasi grouting beton dengan tulangan ulir diameter 13 mm dan 16 mm dan beton normal dengan variasi tulangan ulir diameter 13 mm dan 16mm secara berturut-turut adalah 10,946 MPa, 11,409 MPa, 5,144 MPa, 7,559 MPa.

Kata Kunci: sika grout, tulangan ulir, tegangan lekat, pullout

## ABSTRACT

One of assumptions used in planning and analysis of concrete structure is bond of steel reinforcement with concrete that surround it was perfect without happening derailment or sift.

Concrete quality is one of factors affecting pressure power between reinforcement and concrete that surround it, where high quality concrete have great compression characteristics, but brittle. This thing will really affect in bond strength that happened between reinforcement and concrete that surround it to hold the load that works, especially axial force which is tension character.

The easiest way to know behavior and bond mechanism between concrete and reinforcement is by doing pullout test on reinforcement that planted in the concrete. From this test it can be seen how much pullout force and bond stress average that work on the area of the contact area between concrete and reinforcement.

Sika grout-215 used as grouting material for hole or gap on anchor, bolt, machine foundation/the base of the column plate, bridge pedestal, part of precast concrete, mold cavities, and for repair. In this experiment researcher use sika grout as concrete substitute on pullout test.

This experiment intend to indentify influence of reinforcement diameter and compressive strength against pullout strenght on pullout test.

The method used in this experiment is study experimental method with 6 sample, which is divided up concrete grouting variation with deformed steel bar in diameter 13 mm and 16 mm and normal concrete deformed steel bar variation in diameter 13 mm and 16mm. The result of pullout test showing score of bond stress variation concrete grouting with deformed steel bar in diameter 13 mm and 16 mm and normal concrete deformed steel bar variation in diameter 13 mm and 16mm in order is 10.946 MPa, 11.409 MPa, 5.144 MPa, 7.559 MPa.

Keyword: sika grout, deformed steel bar, bond stress, pullout

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
A. Sika Grout 215 .....	7
B. Baja Tulangan .....	9
C. <i>Bond</i> Antara Beton dan Tulangan .....	11
D. Pengujian Pencabutan .....	17
E. Sifat –Sifat Keruntuhan Lekatan .....	18
F. Panjang Penyaluran Dasar $l_{d\ min}$ .....	19
G. Kuat Tekan Beton.....	20
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	22
A. Bagan Alir Penelitian .....	22
B. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	23
C. Alat Dan Bahan Penelitian .....	23
C.1 Alat Penelitian .....	23
C.2 Bahan Penelitian.....	25
D. Tahap Penelitian .....	25



D.1 Persiapan .....	25
D.2 Pemeriksaan Karakteristik Bahan .....	26
D.3 Pembuatan Benda Uji .....	26
D.4 Pencetakan Benda Uji .....	27
D.5 Perawatan Benda Uji .....	27
D.6 Pengujian Spesimen .....	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	30
A. Pengujian Kuat Tarik Baja .....	30
B. Pengujian Kuat Tekan Beton .....	31
C. Perhitungan Tekanan Lekat .....	32
D. Penentuan Panjang Penyaluran Dasar.....	35
E. Hubungan Beban Tarik dengan Displacement .....	36
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	40
A. Kesimpulan .....	40
B. Saran .....	40
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram tegangan regangan hasil uji tarik .....	10
Gambar 2. Diagram tegangan regangan hasil uji tarik yang diarsir pada Gambar 1.....	10
Gambar 3. Mekanisme perpindahan gaya oleh bond pada tulangan ulir (deformed bar) .....	14
Gambar 4. Panjang penyaluran baja tulangan .....	16
Gambar 5. Percobaan pencabutan .....	18
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 7. Lokasi Pengujian.....	23
Gambar 8. Universal Testing Machine.....	24
Gambar 9. LVDT 100 mm.....	24
Gambar 10. Set komputer dan Data Logger .....	25
Gambar 11. Pengujian Kuat Tarik Baja.....	26
Gambar 12. Pencetakan Benda Uji .....	27
Gambar 13. Perawatan Benda Uji .....	28
Gambar 14. Kerangkeng yang telah dimodifikasi.....	29
Gambar 15. Grafik Kuat Tarik Tulangan .....	31
Gambar 16. Pengujian Kuat Tekan Beton .....	32
Gambar 17. Grafik Tegangan Lekat pada Material Grouting dan Beton Normal .....	33
Gambar 18. Grafik Pullout Sampel Groting dan Beton Normal (D13).....	36
Gambar 19. Hasil Pengujian Pullout Sampel Groting dan Beton Normal (D13).....	37
Gambar 20. Grafik Pullout Sampel Groting dan Beton Normal (D16).....	38
Gambar 21. Hasil Pengujian Pullout Sampel Groting dan Beton Normal (D16).....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Data Sika Grout 215 (new) .....	7
Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja D13 .....	30
Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja D16 .....	30
Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	31
Tabel 5. Perhitungan Tegangan Lekat Material Grouting .....	32
Tabel 6. Perhitungan Tegangan Lekat Beton Normal .....	33
Tabel 7. Hasil perhitungan nilai koefisien k specimen .....	34
Tabel 8. Hasil perhitungan nilai koefisien k panjang penyaluran dasar ...	35
Tabel 9. Hasil perhitungan panjang penyaluran dasar $l_d$ min.....	35

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan dalam bidang konstruksi. Beberapa alasan yang mendasari penggunaan material ini adalah karena bahan dasar pembuatnya sangat mudah didapatkan di sekitar kita, kekuatan tekannya besar dan pembuatannya mudah dan tanpa memerlukan teknologi tinggi. Luasnya penggunaan beton dibidang konstruksi merangsang para peneliti untuk terus melakukan pengembangan pada material ini.

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip-batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas, dan waktu pengerasan. Seperti substansi-substansi mirip batuan lainnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah. Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton.

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang adalah lekatan batang tulangan baja dengan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi

penggelinciran atau pergeseran. Berdasarkan atas anggapan tersebut maka pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton (Dipohusodo, 1994 dalam Arusmalem G., 2008).

Mutu beton merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi daya lekatan antara tulangan dengan beton di sekelilingnya, dimana beton mutu tinggi mempunyai karakteristik kuat tekan yang besar, tetapi getas. Hal ini akan sangat mempengaruhi daya lekatan yang terjadi pada tulangan dengan beton di sekelilingnya dalam menahan beban yang bekerja, terutama gaya aksial yang bersifat tarik.

Pada umumnya penggunaan tulangan pokok pada struktur beton bertulang adalah untuk mengganti kapasitas tarik dari material beton yang lemah. Tegangan tarik yang terjadi pada beton selanjutnya disalurkan ke tulangan melalui mekanisme bond, sehingga kedua material tersebut yaitu beton dan tulangan dapat bekerja sama menjadi satu kesatuan material komposit.

Cara paling mudah untuk mengetahui perilaku dan mekanisme bond antara beton dan tulangan ialah dengan melakukan pengujian cabut (pull-out test) pada tulangan yang ditanam di dalam beton. Dari pengujian ini dapat diketahui besarnya gaya cabut dan tegangan lekat (bond stress) rata-rata yang bekerja pada luas bidang kontak antara beton dan tulangan.

Karena mudah dalam pembuatan dan sederhana dalam pengujian maka pullout test banyak dipakai oleh para peneliti untuk mengevaluasi lekatan tulangan dengan beton. Pada pullout test tulangan ditarik dari beton sehingga beton di sekelilingnya mengalami tekan. Perilaku lekatan yang sebenarnya terjadi pada balok beton bertulang tidak seperti pada pullout test, tulangan dan beton di sekelilingnya keduanya mengalami tarik (Elagroudy, 2003 dalam Arusmalem G., 2008).

Sika grout 215 adalah bahan *grouting* siap pakai yang mempunyai sifat mengembang (*Expantion Characteristic*) untuk mengimbangi penyusutan normal akibat pengeringan pada bagian yang di *grouting*. Sika grout-215 digunakan sebagai bahan *grouting* untuk lubang atau celah pada, angkur, baut, pondasi mesin/alas plat kolom, landasan tumpuan jembatan, bagian beton pracetak, rongga-rongga cetakan dan untuk perbaikan. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan sika grout sebagai pengganti beton pada pengujian pullout.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul **“STUDI KEKUATAN LEKATAN TULANGAN BETON PADA MATERIAL GROUTING”**.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diambil rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh kuat tekan beton terhadap tegangang lekat pada pengujian *pullout*.
2. Bagaimana pengaruh diameter tulangan terhadap tegangan lekat pada material grouting.

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menidentifikasi pengaruh kuat tekan beton terhadap tegangang lekat pada pengujian *pullout*.
2. Mengidentifikasi pengaruh diameter tulangan terhadap tegangan lekat dan panjang penyaluran dasar tulangan pada material grouting.

### **D. Manfaat Penelitian**

Diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui karateristik beton bertulang yang dipengaruhi oleh kemampuan *pull out* beton.

### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai material properti (kuat tekan beton dan tegangan leleh baja) setiap sampel diasumsikan sama.

2. Digunakan jenis tulangan ulir dengan diameter 13mm dan 16mm dengan mutu BJTS 280.
3. Digunakan dua jenis sampel yaitu mortar grouting dan beton normal.
4. Dimensi sampel yang digunakan adalah silinder dengan ukuran 10x20 cm, yang terdiri dari dua material yaitu grouting dengan variasi dua tulangan kemudian material beton normal sebagai kontrol.
5. Pengujian *pullout test* menggunakan alat Universal Testing Machine dengan sampel uji berbentuk silinder.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

##### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

##### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**



Pada bab ini diuraikan mengenai konsep teori yang relevan dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, benda uji, dan prosedur penelitian.

### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan penjabaran hasil-hasil pengujian benda uji yang diperoleh serta pembahasan dari analisa pengujian tersebut.

### BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sika Grout 215

Sika grout 215 adalah bahan *grouting* siap pakai yang mempunyai sifat mengembang (*Expantion Characteristic*) untuk mengimbangi penyusutan normal akibat pengeringan pada bagian yang di *grouting*. Sika grout-215 juga sangat ekonomis dan sangat mudah digunakan, dengan tambahan air tertentu. *Sika grout-215* digunakan sebagai bahan *grouting* untuk lubang atau celah pada, ankur, baut, pondasi mesin/alas plat kolom, landasan tumpuan jembatan, bagian beton pracetak, rongga-rongga cetakan dan untuk perbaikan. Salah satu kegunaan bahan ini adalah untuk memperkuat pengankuran baik pada pondasi maupun pada struktur lain. Keunggulan dari bahan ini adalah mengembang hingga 1,4% (*sika-grout-215' 1992*) setelah *digroutting* sehingga memungkinkan ankur tertanam dengan kuat. Sejauh ini pihak PT.Sika Nusa Pratama tidak pernah menyebar luaskan hasil hasil penelitian yang berkaitan dengan *sika grout-215*, untuk mengetahui apakah bahan *grouting* tersebut dapat berfungsi dengan baik, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. (Suwanto, 2012)

Tabel 1. Spesifikasi Data Sika Grout 215 (*new*)

PRODUCT INFORMATION	
Packaging	25 kg
Appearance / Color	Powder / Grey

<b>Shelf Life</b>	9 months from the date production if stored in undamaged and unopened original sealed bags		
<b>Storage Condition</b>	Stored in dry condition between 10°C – 30°C		
<b>Density</b>	~ 2.26 kg/L		
<b>TECHNICAL INFORMATION</b>			
<b>Compressive Strength</b>	1 day	~ 25.0 N/mm <sup>2</sup>	(ASTM C-109)
	3 days	~ 40.0 N/mm <sup>2</sup>	
	7 days	~ 52.0 N/mm <sup>2</sup>	
	28 days	~ 65.0 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Tensile Strength In Flexure</b>	28 days	> 6.0 N/mm <sup>2</sup>	(ASTM C-348)
<b>Tensile Adhesion Strength</b>	28 days	> 1.5 N/mm <sup>2</sup>	Concrete failure, over roughened concrete surface
		> 2.5 N/mm <sup>2</sup>	
	28 days	Over mechanically roughened old grout surface	
<b>Expansion</b>	1 – 3 h (at 27°C)	0.30 – 1.40 %	(ASTM C-940)
<b>APPLICATION INFORMATION</b>			
<b>Mixing Ratio</b>	4.0 L per 25 kg bag (water per powder =16% by weight)		
<b>Consumption</b>	~ 1.940 kg/m <sup>3</sup> of mortar		
<b>Yield</b>	~ 12.80 L of 25 kg bag		
<b>Layer Thickness</b>	Recommended thickness is 20 – 100 mm		
<b>Flowability</b>	Flow cone (mm)	240 – 280 mm	(ASTM C230/230M)

<b>Product Temperature</b>	< 30 °C
<b>Ambient Air Temperature</b>	10 °C – 35 °C
<b>Substrate Temperature</b>	10 °C – 35 °C
<b>Pot Life</b>	25 min
<b>Setting Time</b>	4 – 8 h

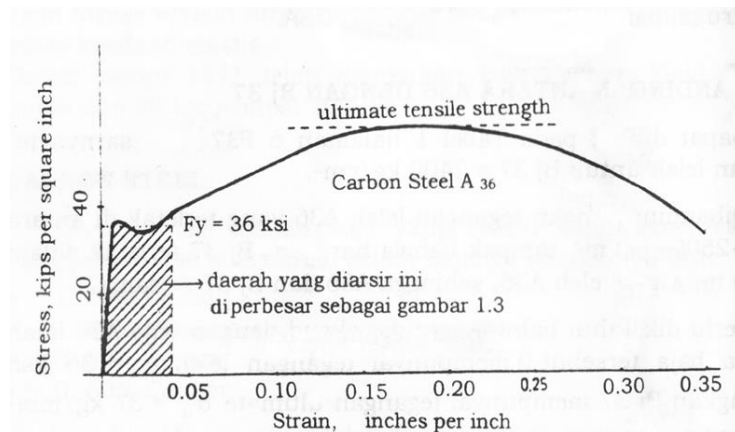
Sumber : *Product Data Sheet* Sika Grout 215 (new), PT. Sika

Indonesia.

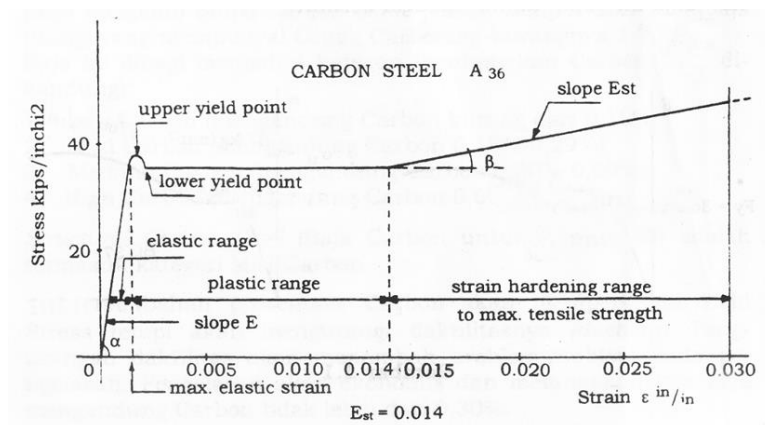
## **B. Baja Tulangan**

Beton kuat terhadap tekan tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. Adapun sifat-sifat terpenting baja tulangan adalah sebagai berikut (Ir.Oentoeng, 2000):

1. Modulus Young,  $E_s$ .
2. Kekuatan leleh,  $f_y$ .
3. Kekuatan batas,  $f_u$ .
4. Mutu baja yang ditentukan.
5. Ukuran atau diameter batang atau kawat.



Gambar 1. Diagram tegangan regangan hasil uji tarik (sumber: Ir.Oentoeng, 2000)



Gambar 2. Diagram tegangan regangan hasil uji tarik yang diarsir pada Gambar 1. (sumber: Ir.Oentoeng, 2000)

Gambar 1. merupakan diagram tegangan regangan *carbon steel* A<sub>36</sub> dari batang yang ditarik aksial sampai batang patah. Gambar 2. merupakan pembesaran kurva tegangan regangan yang diarsir pada gambar 1. Pada gambar tampak batang ditarik sampai mencapai *yield point* (titik leleh) dengan tegangan lelehnya sebesar F<sub>y</sub>=36 ksi. Fase tulangan sebelum mencapai titik leleh disebut dengan fase elastis. Setelah mencapai titik leleh, tegangan (*stress*) tidak berubah besarnya. Tetapi

regangannya (*strain*) bertambah sampai mencapai  $\varepsilon_{st}=0,014$ . Fase ini debut dengan fase plastis. Setelah regangan mencapai 0,014, tegangan dan regangan meningkat kembali mencapai tegangan maksimum yang disebut dengan tegangan ultimit (kuat tarik baja). Fase ini disebut pergeseran regangan (*strain hardening*). Setelah melampaui titik tegangan ultimit penampang baja mengalami penyempitan (*necking*) yang mengakibatkan tegangan menurun dan akhirnya baja putus. Fase ini disebut pelunakan regangan (*strain softening*).

Pada pengujian tarik besi diperoleh nilai tegangan leleh dari tulangan tersebut dengan menggunakan rumus:

$$f_y = \frac{P}{A} \quad (1)$$

(Sumber: SNI 8389-2017)

dimana,

$f_y$  = tegangan leleh (MPa)

$P$  = beban leleh (kN)

$A$  = luas penampang tulangan ulir (mm)

### C. **Bond Antara Beton dan Tulangan**

Kuat lekat antara baja tulangan dan beton yang membungkusnya dipengaruhi oleh faktor (Nawy, G. Edward, 1998):

1. Adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya yaitu tulangan baja. Dimana adhesi ini adalah gaya tarik-menarik (ikatan kimiawi) yang terbentuk pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan akibat adanya proses reaksi pergeseran semen.

2. Efek *gripping* (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton disekeliling tulangan.
3. Tahanan Geser (friksi) terhadap gelincir dan saling “mengunci” pada saat elemen tulangan mengalami tarik. Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara tulangan dengan beton.
4. Efek kualitas beton termasuk kekuatan tarik dan tekannya. Akibat desakan oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling, jika tegangan tarik beton terlampaui maka akan terjadi retak belah.
5. Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan yaitu dengan panjang penyaluran/panjang lewatan, bengkokan tulangan, dan persilangan tulangan.
6. Diameter, bentuk, dan jarak tulangan karena semuanya mempengaruhi pertumbuhan retak. Terutama terhadap pertumbuhan retak radial. Diameter yang terlalu kecil akan mengakibatkan keruntuhan putus pada tulangan karena kuat lekatnya terlalu jauh lebih tinggi dari pada kuat putus baja. Sedangkan diameter yang terlalu besar akan mengakibatkan keruntuhan *slip*, karena kuat tarik baja lebih besar dari kuat lekatnya sehingga akan terjadi slip yang didahului oleh retak belah yang sangat cepat.

Menurut Azizinamini dkk (1993) dan MacGregor (1992) dalam Nuroji (2004) menjelaskan bahwa pada tulangan polos (*smooth bar*), *bond* antara beton dan tulangan hanya dibentuk oleh adhesi dan friksi semata. Pada pembebanan awal adhesi dan friksi bekerja secara bersama-sama sampai mencapai beban maksimum. Setelah adhesi rusak *bond* antara beton dan tulangan hanya dipikul oleh friksi. Kapasitas *bond* kemudian berangsur-angsur turun seiring dengan berkurangnya bidang kontak antara beton dan tulangan akibat slip. Pada kasus dimana tulangan mencapai leleh adhesi dan friksi dapat hilang secara cepat, hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari pengecilan diameter tulangan akibat *Poisson's ratio*. Atas dasar alasan ini maka tulangan polos pada umumnya tidak dianjurkan untuk digunakan sebagai tulangan pokok.

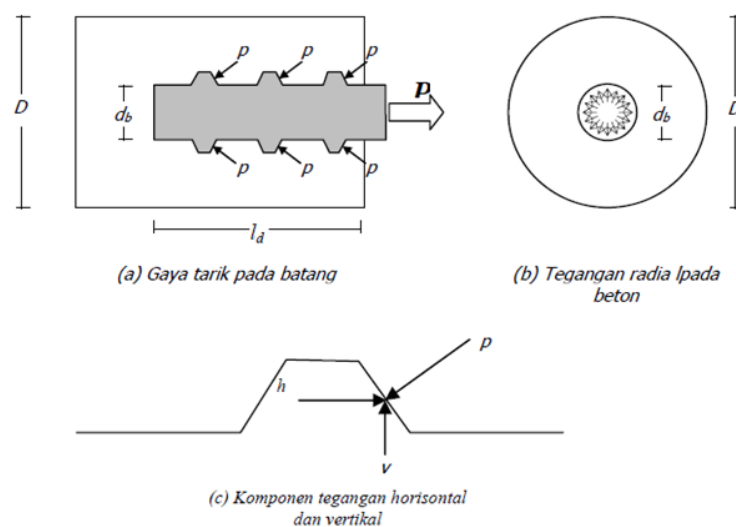
Berbeda dengan mekanisme *bond* pada tulangan polos, mekanisme *bond* pada tulangan ulir (*deformed bar*) dibentuk oleh adhesi, friksi dan *interlocking* antara ulir (*rib*) tulangan dan elemen beton di sekitarnya.

Bahkan kontribusi terbesar dalam pembentukan *bond* antara beton dan tulangan didominasi oleh *interlocking* antara *rib* tulangan dan elemen beton di sekitarnya, sedangkan pengaruh adhesi dan friksi relatif kecil dibanding dengan *interlocking*. Pernyataan ini juga dapat kita jumpai pada ACI (1992), hanya saja ACI menganggap bahwa *interlocking* antara tulangan dan beton merupakan bagian dari friksi, tinjauan ini tergantung



pada tingkat peninjauan mekanismenya. Kontribusi adhesi cukup kecil dan segera hilang ketika terjadi slip, ACI (1992), CEB (1982).

Sementara itu, gaya ditransfer dari tulangan ke beton oleh bond menimbulkan tegangan-tegangan miring akibat *bearing action*. Tegangan miring ini mempunyai komponen longitudinal yang menyatakan *bond* dan komponen radial yang menyatakan *normal stress* atau *splitting stress*. (Lundgren, 1999 dalam Nuroji, 2004)



Gambar 3. Mekanisme perpindahan gaya oleh bond pada tulangan ulir  
(*deformed bar*)

Gambar 3. di atas menggambarkan mekanisme penyaluran gaya dari tulangan ke beton, mekanisme ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Gaya tarik  $P$  yang bekerja pada tulangan disalurkan ke beton melalui *rib-rib* tulangan sehingga beton di depan *rib* mengalami tegangan tekan  $p$  seperti ditunjukkan dalam gambar a. Tegangan

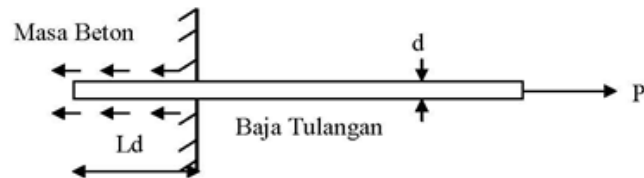
tekan beton di depan *rib* harus mampu menahan dua komponen tegangan arah longitudinal  $h$  dan tegangan arah radial  $v$ .

2. Akibat dari desakan tegangan arah radial  $v$  seperti terlihat pada gambar b, beton mengalami tegangan tarik pada arah keliling.
3. Jika tegangan tarik pada arah keliling telah melampaui kapasitas tegangan tarik beton maka akan terjadi retak radial dan jika retak radial terus berkembang maka akan mengakibatkan *splitting failure* pada beton.

*Splitting failure* umumnya terjadi karena ketebalan *cover* beton tidak cukup untuk menahan tegangan tarik keliling. Adanya retak radial atau *splitting failure* mengakibatkan menurunnya kapasitas *interlocking* antara *rib* tulangan dan elemen beton di sekitarnya yang secara keseluruhan juga berakibat pada menurunnya *bond* antara beton dan tulangan.

Azizinamini, et Al (1993) dan Kemp, EL (1986) dalam Vinriani P. (2010), mengatakan dasar utama teori panjang penyaluran adalah dengan memperhitungkan suatu baja tulangan yang ditanam di dalam masa beton. Sebuah gaya  $F$  diberikan pada baja tulangan tersebut. Gaya ini selanjutnya akan ditahan antara baja tulangan dengan beton di sekelilingnya. Tegangan lekat bekerja sepanjang baja tulangan yang tertanam di dalam massa beton, sehingga total gaya yang harus dilawan sebelum batang baja tercabut keluar dari masa beton adalah sebanding dengan luas selimut baja tulangan yang tertanam dikalikan dengan kuat

lekat antara beton dengan baja tulangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Panjang penyaluran baja tulangan

Mengacu pada Gambar 4., dapat dirumuskan gaya tarik yang dapat ditahan oleh lekatan baja tulangan dengan beton. Untuk menjamin lekatan antara baja tulangan dan beton tidak mengalami kegagalan, diperlukan adanya syarat panjang penyaluran. Agar terjadi keseimbangan antara gaya horisontal, maka beban (N) yang dapat ditahan sama dengan luas penampang baja dikalikan dengan kuat lekatnya.

$$P = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \quad (2)$$

Dengan mendistribusikan nilai  $P = f_s \cdot A_b$  maka didapat persamaan:

$$f_y \cdot A_b = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \quad (3)$$

Agar terjadi keseimbangan maka pada perencanaan selalu bertujuan dicapainya tegangan leleh ( $f_y$ ) pada baja. Oleh karena itu  $f_s$  dalam persamaan (2) diubah menjadi  $f_y$ .

$$f_s \cdot A_b = l_d \cdot \pi \cdot D \cdot \tau \quad (4)$$

Kemudian dengan mengganti nilai  $A_b$  dengan  $\pi/4d^2$  (untuk satu batang bulat) didapat panjang penyaluran ( $L_d$ ) :

$$l_d = \frac{f_y \cdot D}{4 \cdot \tau} \quad (5)$$

Maka didapatkan nilai kuat lekat dengan persamaan :

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot l_d} \quad (6)$$

dimana,

P = beban (N)

D = diameter baja tulangan (mm)

$l_d$  = panjang penyaluran (mm)

$\tau$  = tegangan lekat (MPa)

Dari berbagai eksperimen telah dibuktikan bahwa kekuatan lekatan merupakan fungsi dari kualitas beton, yaitu dengan hubungan (Edward G. Nawy, 2005) :

$$\tau = k \cdot \sqrt{f'_c} \quad (7)$$

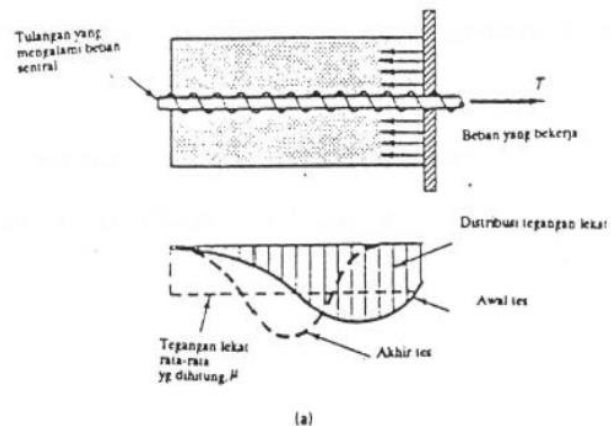
dimana,

k = koefisien

#### **D. Pengujian Pencabutan**

Suwarto (2012) menjelaskan bahwa Salah satu cara untuk menentukan kualitas lekatan adalah dengan cara pengujian pencabutan (*Pull Out*), Gambar 5, memperlihatkan jenis percobaan tersebut, prinsip pengujian pencabutan adalah suatu batang ditanamkan dalam sebuah silinder atau kubus empat persegi panjang masing-masing 15cm dari

beton, dan gaya yang dibutuhkan untuk mencabut batang itu keluar atau membuatnya bergeser secara berlebihan.



Gambar 5. Percobaan pencabutan (Nawy, 2005)

Hasil uji diukur, geseran batang relatif terhadap beton di bawah ujung yang dibebani dan di atas ujung bebas, bahkan suatu beban yang sangat kecil pun dapat menyebabkan pergeseran dan menimbulkan tegangan lekatan yang tinggi di dekat ujung yang dibebani, tetapi membiarkan bagian atas batang sama sekali tidak menerima tegangan.

#### E. Sifat –Sifat Keruntuhan Lekatan

Keruntuhan lekatan antara beton dan tulangan pada pengujian tegangan lekat, pada umumnya ditunjukkan oleh terjadinya salah satu dari berikut ini (Mindess, S., 1994 dalam Natsir T. , 2012):

### 1. *Splitting failure*

Kondisi ini ditunjukkan adanya retak pada beton akibat tegangan tarik yang tidak bisa ditahan oleh cover beton, keruntuhan ini mengakibatkan menurunnya tegangan lekat antara beton dan tulangan.

### 2. *Pull out failure (slip)*

Merupakan suatu kondisi keruntuhan dimana besi tulangan tercabut dari dalam beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan oleh komponen tegangan geser yang memecahkan beton diantara uliran tulangan.

### 3. Keruntuhan tarik beton

Merupakan suatu kondisi dimana penampang beton tidak mampu menerima tegangan tarik yang disalurkan oleh tulangan.

### 4. Tulangan mencapai leleh dan akhirnya putus

Kuat lekatan jauh lebih besar dari pada kuat putus tulangan, sehingga tulangan putus.

## **F. Panjang Penyaluran Dasar $l_{d \min}$**

Panjang penyaluran dasar  $l_{d \min}$  merupakan suatu fungsi dari ukuran (dimensi) dan tegangan leleh tulangan yang sangat menentukan ketahanan tulangan untuk terjadinya *slip*. Kuat lekat beton  $\mu$  adalah suatu fungsi dari kuat tekan beton.

Untuk menentukan panjang penyaluran dasar  $l_{d \min}$  digunakan rumus sebagai berikut:

$$l_{d \min} = k \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} A_b \quad (8)$$

(Sumber: Edward G. Nawy, *Reinforced Concrete*, 2005.)

dimana,

$l_{d \min}$  = panjang penyaluran  $l_d$  (mm)

$f_y$  = tegangan leleh tulangan (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

$A_b$  = luas tulangan (mm<sup>2</sup>)

$k$  = koefisien panjang penyaluran minimum

$$k = \frac{\sqrt{f'_c}}{\pi \cdot D \cdot \tau} \quad (9)$$

dimana,

$\tau$  = tegangan lekat (MPa)

$D$  = diameter tulangan (mm)

### **G. Kuat Tekan Beton**

Kuat tekan beton diwakili oleh perbandingan kuat tekan maksimum dengan luas tampang silinder beton dengan satuan N/mm<sup>2</sup> (Trisnawathy, 2012).

Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (Lusman dan Sang Made, 2011):

1. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kuat tekan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Jenis dan tekstur bidang permukaan agregat.
3. Perawatan beton harus diperhatikan, sebab kehilangan kekuatan akibat pengeringan sebelum waktunya adalah sekitar 40%.
4. Suhu mempengaruhi kecepatan pengerasan
5. Umur, pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan, bergantung pada jenis semen yang digunakan, misal semen dengan alumina yang tinggi akan menghasilkan beton dengan kuat hancur pada umur 24 jam sama dengan semen *portland* biasa umur 28 hari. Pengerasan berlangsung terus seiring dengan penambahan umur beton.

Rumus untuk mencari nilai kuat tekan beton yaitu:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (6)$$

(Sumber: SNI 1974-2011)

dimana,

$f'_c$  = Kuat Tekan Beton (MPa)

$P$  = Beban maksimum (N)

$A$  = Luas bidang tekan ( $\text{mm}^2$ )