

TESIS

**ANALISIS PERILAKU LEKATAN ANTARA BETON DAN
BATANG GFRP**

**ANALYSIS OF BOND BEHAVIOR BETWEEN CONCRETE
AND GFRP BARS**

ERIKSON PETRUS FONATABA

P2302216012



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**



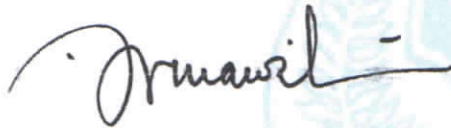
TESIS

ANALISIS PERILAKU LEKATAN ANTARA BETON DAN BATANG GFRP

Disusun dan diajukan oleh
ERIKSON PETRUS FONATABA
Nomor Pokok P2302216012

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal 01 September 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT

Ketua

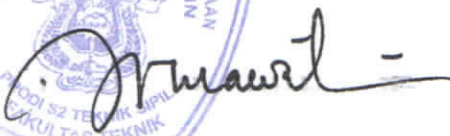


Dr. Ir. M. Asad Nur Abdurrahman, ST., M.Eng.Pm

Sekretaris



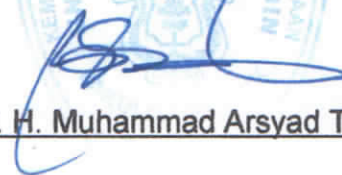
Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT



Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : ERIKSON PETRUS FONATABA

Nomor mahasiswa : P2302216012

Program studi : S2 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 01 Oktober 2020

Yang menyatakan



Erikson Petrus Fonataba



KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Kuasa. Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Analisis Perilaku Lekatan Antara Beton dan Batang GFRP”** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada ibu **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT**, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada bapak **Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, ST., M.Eng. Pm.** selaku sekretaris komisi penasehat yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas Hasanuddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Ketua Departemen

Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. Ir. Ardi Tjaronge, ST., M.Eng**), ibu **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty,** (Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin)



dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S2 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar, September 2020

Erikson Petrus Fonataba



ABSTRAK

ERIKSON PETRUS FONATABA. Analisis Perilaku Lekatan Antara Beton dan Batang GFRP (dibimbing oleh **Hj. Rita Irmawaty** dan **M. Asad Nur Abdurrahman**).

Penelitian ini menyajikan tegangan lekatan antara tulangan GFRP dan beton melalui pengujian pull-out. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan benda uji kubus dimensi 20 cm x 20 cm x 20 cm. Mutu beton rencana adalah 20 MPa dengan slump 10 ± 2 cm. variasi benda uji adalah tiga yaitu FRP-S, FRP-E dan FRP-E-Sheet. FRP-S adalah benda uji dengan tulangan GFRP ditempatkan di tengah (sentris) FRP-S adalah benda uji dimana tulangan GFRP ditempatkan di pinggir (sentris). Sementara FRP-E-Sheet adalah benda uji dimana tulangan GFRP ditempatkan di tengah (sentris) dengan penambahan lembaran FRP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekakuan awal dipengaruhi oleh lokasi tulangan GFRP dimana benda uji FRP-S menunjukkan kekakuan awal yang lebih tinggi dibandingkan FRP-E dan FRP-E-Sheet. Tegangan lekatan juga sangat dipengaruhi oleh lokasi tulangan GFRP, dimana benda uji FRP-S juga menunjukkan tegangan lekatan yang paling tinggi dibandingkan dengan FRP-E dan FRP-E-Sheet. Selain itu, ketiga variasi benda uji menunjukkan pola kegagalan yang berbeda-beda. FRP-S gagal akibat kegagalan rekatan antara beton dan tulangan GFRP. FRP-E gagal akibat beton hancur, sementara FRP-E-Sheet juga gagal akibat terjadinya debonding sebelum beton hancur.

Kata kunci : Perilaku lekatan, Beton, Batang GFRP



A handwritten signature in black ink, which appears to be 'Rita Irmawaty', written in a cursive style.



ABSTRACT

ERIKSON PETRUS FONATABA. Analysis of Bond Behavior Between Concrete and GFRP Bars (CH) (supervised by **Hj. Rita Irmawaty** and **M. Asad Nur Abdurrahman**).

This study presents the bond stress between GFRP reinforcement and concrete through a pull-out test. This research was conducted in the laboratory using a cube test object with dimensions of 20 cm x 20 cm x 20 cm. The quality of the plan concrete is 20 MPa with a slump of 10 ± 2 cm. There are three variations of the test object, namely FRP-S, FRP-E and FRP-E-Sheet. FRP-S is a test object with the GFRP reinforcement placed in the center (centric). FRP-E is a test object where the GFRP reinforcement is placed on the edge (centric). Meanwhile, FRP-E-Sheet is a test object where the GFRP reinforcement is placed in the center (centric) with the addition of FRP sheets. The results showed that the initial stiffness was influenced by the location of the GFRP reinforcement where the FRP-S specimens showed a higher initial stiffness than the FRP-E and FRP-E-Sheet. The bonding stress is also greatly influenced by the location of the GFRP reinforcement, where the FRP-S specimen also shows the highest bonding stress compared to FRP-E and FRP-E-Sheet. In addition, the three variations of specimens show different failure patterns. FRP-S failed due to failure of the bond between the concrete and the GFRP reinforcement. FRP-E failed due to crushed concrete, while FRP-E-Sheet also failed due to debonding before the concrete was destroyed.

Keywords : Bond behavior, Concrete, GFRP bars



A handwritten signature in black ink, which appears to be "Rita Irmawaty".



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR NOTASI | x |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 3 |
| C. Tujuan Penelitian..... | 3 |
| D. Batasan Masalah..... | 4 |
| E. Manfaat Penelitian | 5 |
| F. Sistematika Penulisan..... | 5 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. Sifat Lekatan Antara Beton dan Tulangan | 7 |
| B. <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i> | 10 |
| C. Tulangan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> (GRFP)..... | 11 |
| D. Lembaran <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GRFP Sheet)</i> | 12 |



| | |
|--|-----------|
| E. Studi Empirik Penelitian Terdahulu..... | 19 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| A. Diagram Alir Penelitian..... | 27 |
| B. Waktu dan Lokasi Penelitian | 28 |
| C. Alat dan Bahan Penelitian..... | 28 |
| D. Prosedur Penelitian..... | 31 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| A. Karakteristik Material | 41 |
| B. Rancangan Campuran Beton (Mix Design) | 42 |
| C. Pengujian Slump Test..... | 42 |
| D. Pengujian Kuat Tekan Beton..... | 43 |
| E. Pemeriksaan Diameter Equivalent (db)..... | 45 |
| F. Pengujian Pull Out | 46 |
| G. Hubungan Tegangan Lekatan-Slip..... | 49 |
| H. Tegangan Lekatan..... | 57 |
| I. Pola Keruntuhan | 59 |
| BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN | |
| A. Kesimpulan..... | 62 |
| B. Saran | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 65 |



DAFTAR TABEL

| Nomor | | Halaman |
|-------|--|---------|
| 1. | Spesifikasi GFRP Tyfo SHE-51A Dalam Bentuk <i>Dry Sheet</i> ... | 16 |
| 2. | Spesifikasi GFRP Tyfo SEH51-A Dalam Bentuk Komposit..... | 17 |
| 3. | Sifat Material <i>Epoxy</i> | 18 |
| 4. | Jenis-Jenis Benda Uji Tulangan Oleh Marta Baena, dkk (2009) | 20 |
| 5. | Hasil Pengujian Oleh Marta Baena, dkk (2009)..... | 22 |
| 6. | Pull Out Baja Polos Oleh Sunarmasto (2007)..... | 25 |
| 7. | Uji Pull Out Baja Ulir Oleh Sunarmasto (2007) | 25 |
| 8. | Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus dan Agregat Kasar .. | 31 |
| 9. | Jumlah Benda Uji Penelitian | 34 |
| 10. | Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat | 41 |
| 11. | Komposisi Mix Design Untuk 1 m ³ Beton | 42 |
| 12. | Nilai Slump Test | 43 |
| 13. | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari | 44 |
| 14. | Pemeriksaan Diameter Equivalent | 46 |
| 15. | Hasil Pengujian Pull Out Umur 28 Hari..... | 48 |



DAFTAR GAMBAR

| Nomor | | Halaman |
|-------|--|---------|
| 1. | Tegangan Lekat Pada <i>Pull-Out Test</i> | 9 |
| 2. | Tulangan GFRP | 11 |
| 3. | GFRP-S Tyfo SHE-51A dan Epoxy Resin Tyfo S | 14 |
| 4. | Benda Uji GFRP Bar Oleh Marta Baena, dkk (2009) | 21 |
| 5. | <i>Pull Out Test Setup</i> Oleh Marta Baena, dkk (2009) | 21 |
| 6. | Diagram Alir Penelitian | 28 |
| 7. | LVDT | 29 |
| 8. | Strain Gauge | 29 |
| 9. | <i>Universal Testing Machine (UTM)</i> | 30 |
| 10. | Data Lodger SHW-50 | 30 |
| 11. | Kerangkeng | 30 |
| 12. | Dimensi Benda Uji | 35 |
| 13. | <i>Setup Pengujian Pull Out Test</i> Posisi Tulangan Sentris | 39 |
| 14. | <i>Setup Pengujian Pull Out Test</i> Posisi Tulangan Eksentris | 39 |
| 15. | Pengujian Slump Test | 43 |
| 16. | Pengujian Kuat Tekan Beton | 44 |
| 17. | Pemeriksaan Diameter Equivalent | 45 |
| 18. | Pengujian Pull Out | 47 |
| 19. | Aksi Lekatan Antara FRP Bars dan Beton (Wei dkk., 2019) | 49 |
| | Model Hubungan Tegangan Lekatan-Slip (Wei dkk., 2019) | 50 |



| | | |
|-----|---|----|
| 21. | Hubungan Tegangan dengan Perpindahan Benda Uji dengan Tulangan GFRP Berada di Tengah | 51 |
| 22. | Hubungan Tegangan dengan Perpindahan Benda Uji dengan Tulangan GFRP Berada di Pinggir | 53 |
| 23. | Hubungan Tegangan dengan Perpindahan Benda Uji dengan Tulangan GFRP Berada di Pinggir + Lembaran GFRP | 55 |
| 24. | Perbandingan Hubungan Tegangan Lekatan-Slip Ketiga Variasi Benda Uji | 56 |
| 25. | Tegangan Lekatan Maksimum Rata-Rata | 58 |
| 26. | Berbagai Bentuk Permukaan FRP..... | 59 |
| 27. | Pola Keruntuhan | 60 |
| 28. | GFRP Bar Tipe <i>Helical Wrapping</i> | 60 |
| 29. | Bidang Geser Antara Rusuk Tulang GFRP dan Beton | 61 |
| 30. | Aksi Lekatan Antara FRP Bars dan Beton (Wei dkk., 2019) | 62 |
| 31. | Beton Hancuur Pada Siso Terlemah Beton (Sisi Pinggir) | 62 |
| 32. | Lekatan Antara GFRP Bar dan GFRP Sheet..... | 63 |
| 33. | Debonding Antara GFRP Bar dan GFRP Sheet | 63 |



DAFTAR NOTASI

| | | |
|----------------------|---|--|
| τ | = | Tegangan lekat rata-rata (MPa) |
| P | = | Beban maksimum (N) |
| D | = | Diameter Tulangan (mm) |
| ld | = | Panjang Penyaluran (mm) |
| ΔV | = | Peningkatan Volume Air Atau Ethanol |
| V_0 | = | Volume Awal |
| V_1 | = | Volume Akhir |
| L | = | Panjang Benda Uji |
| d_b | = | Diameter Equivalent |
| A | = | Luas Penampang Melintang (mm ²) |
| F | = | Gaya Tarik (N) |
| C_b | = | Keliling Ekuivalen Tulangan GFRP (mm) |
| l | = | Panjang Lekatan (mm) |
| f_{cr} | = | Kuat Tekan Rata-Rata (MPa) |
| f'_c | = | Mutu Beton (MPa) |
| Sd | = | Standar Deviasi |
| FAS | = | Faktor air semen |
| σ | = | Kuat tekan (MPa) |
| L | = | Panjang benda uji silinder |
| MPa | = | Mega Pascal, satuan kuat tekan |
| No | = | Nomor |
| OPC | = | <i>Ordinary Portland Cement</i> |
| SEM | = | <i>Scanning Electron Microscopy</i> |
| SK SNI | = | Standar Konstruksi Standar Nasional Indonesia |
| P | = | Beban Maksimum |
| | = | Persen |
| | = | Per mil |



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai salah satu komponen bangunan umumnya dikombinasikan dengan baja tulangan. Hal ini untuk menutupi kelemahan pada beton yaitu lemah terhadap tarik. Untuk menjamin aksi komposit antara beton dan tulangan, salah satu aspek penting yang harus diperhatikan adalah lekatan antara tulangan dengan beton. Lekatan merupakan kombinasi kemampuan antara tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara tulangan dan beton (*Winter, 1993*).

Pada daerah lingkungan laut atau pantai dimana kontak dengan air laut tidak dapat dihindari, struktur beton bertulang yang menggunakan tulangan baja sangat rawan terhadap kerusakan ataupun degradasi kekuatan akibat korosi. Korosi pada tulangan baja merupakan salah satu faktor utama penyebab menurunnya kekuatan struktur beton bertulang (Torres A.A dkk (2007), Wang L. dkk (2013), Kasani M.M, dkk (2013). Proses korosi dan produk-produknya merusak permukaan antara tulangan dan beton, sehingga menurunkan lekatan, dan akhirnya mempersingkat umur struktur beton. Proses korosi merusak permukaan antara tulangan dan beton, sehingga menurunkan lekatan, dan akhirnya mempersingkat



umur struktur beton. Hal ini menimbulkan biaya tambahan berupa pemeliharaan, perbaikan, dan rehabilitasi berkala.

Ketika kondisi lingkungan sangat agresif maka penggunaan bahan FRP (*Fyber Reinforced Polymer*) sebagai tulangan pada elemen struktur merupakan salah satu pilihan yang tepat. Keuntungan bahan FRP adalah memiliki ketahanan kimia yang tinggi, rasio kekuatan-berat yang tinggi, dan efisiensi biaya yang tinggi, serta ketahanan korosi yang superior (Nanni dkk, 2014). Mengingat potensi yang dimiliki oleh tulangan GFRP (*Glass Fyber Reinforced Polymer*) yang tahan terhadap korosi, maka penggunaan selimut beton pada komponen struktur balok dapat diabaikan. Jika selimut beton dihilangkan, maka tinggi penampang, volume beton dan berat struktur dapat dikurangi, tanpa mengurangi tinggi efektif penampang. Dengan demikian, kapasitas struktur juga dapat lebih ditingkatkan.

Karakteristik lekatan antara batang GFRP dengan beton adalah parameter yang paling kritis diteliti. Tidak seperti tulangan baja, bahan GFRP berperilaku anisotropik, non-homogen dan linier, yang menghasilkan mekanisme transfer gaya yang berbeda antara tulangan dan beton. Faktor-faktor primer yang mempengaruhi perilaku ikatan (Brown dkk, 1993, Pecce dkk, 2001, Achillides dkk, 2004 dan Yan dkk, 2016) seperti kekuatan beton, penutup beton, dan kenyamanan beton

perikan oleh tulangan melintang, telah diselidiki berdasarkan uji atau uji tarikan langsung (Faza dkk, 1991, Daniali dkk, 1992, Lee



dkk, 2008). Selain itu, karena beton memiliki basa tinggi dengan nilai pH berkisar antara 12,7 hingga 13,6 (Chen dkk, 2007 dan Belarbi dkk, 2011), beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa balok GFRP yang tertanam dalam beton memiliki pengurangan kekuatan tarik dan ikatan (Charles dkk, 2012 dan Genenc dkk, 2003). Dengan demikian, penting untuk lebih memahami perilaku dan mekanisme ikatan antara batang GFRP dengan beton untuk aplikasi GFRP yang lebih luas dalam struktur beton. Berdasarkan latar belakang di atas, penulis bermaksud melakukan penelitian dengan judul: **“Analisis Perilaku Lekatan antara Beton dan Batang GFRP”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan pada latar belakang, maka dapat dirumuskan masalah :

1. Bagaimana perilaku rekatan beton dengan tulangan GFRP yang berada di tengah beton (sentris) dan di pinggir beton (eksentris).
2. Bagaimana pengaruh lembaran GFRP terhadap rekatan batang GFRP dengan beton.
3. Bagaimana pengaruh rekatan antara batang GFRP dengan beton.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini

untuk:

analisis perilaku rekatan beton dengan tulangan GFRP yang



berada di tengah beton (sentris) dan di pinggir beton (eksentris).

2. Menganalisis pengaruh lembaran GFRP terhadap rekatan batang GFRP dengan beton.
3. Menganalisa pengaruh rekatan antara batang GFRP dengan beton.

D. Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan penelitian dan menghindari pembahasan di luar dari konsep penelitian, maka pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal yaitu :

1. Tulangan yang dibahas adalah batang GFRP dengan panjang 500 mm dan berdiameter 12,4 mm.
2. Kubus beton yang digunakan menggunakan dimensi 200 mm × 200 mm × 200 mm, dengan $f'c$: 25 MPa.
3. Variabel yang akan diukur adalah kapasitas rekatan antara tulangan GFRP dengan beton.
4. Standar Pengujian sesuai dengan ACI 440.3R-04 *Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (GFRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures*).

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu :

Memberikan informasi perilaku rekatan antara batang GFRP dengan beton.

Memberikan informasi pengaruh lembaran GFRP terhadap rekatan



batang GFRP yang dipasang di pinggir beton.

3. Menjadi acuan pada penggunaan batang GFRP sebagai tulangan pada beton bertulang.
4. Sebagai informasi dan referensi bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan balok bertulang dengan batang GFRP sebagai tulangannya.

F. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penulisan tesis ini, kami uraikan dalam sistematika penulisan yang dibagi dalam 5 (lima) pokok bahasan berturut-turut yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang gambaran umum mengenai latar belakang pemilihan judul tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang mengurai secara singkat komposisi bab yang ada pada tesis.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan penelitian terdahulu, teori secara singkat dan gambaran umum mengenai karakteristik beton, batang GFRP, dan pengujian pull out.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menyajikan bahasan mengenai kerangka prosedur penelitian, dan bahan yang digunakan dalam penelitian, variabel penelitian,



serta metode yang digunakan dalam pengujian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V. PENUTUP

Merupakan bab penutup yang berisikan kesimpulan dari hasil analisis masalah dan disertai dengan saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sifat Lekatan Antara Beton dan Tulangan

Pada penggunaan beton sebagai salah satu komponen bangunan, beton selalu diperkuat dengan batang tulangan yang diharapkan dapat bekerja sama dengan beton. Hal ini akan menutupi kelemahan yang ada pada beton yaitu lemah terhadap tarik, dan kuat terhadap tekan.

Beton bertulang merupakan bahan komposit dimana lekatan antara tulangan dengan beton merupakan hal aspek penting yang harus diperhatikan. Lekatan merupakan kombinasi kemampuan antara tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara tulangan dan beton (*Winter*, 1993)

Menurut Nawy (1998), kuat lekat antara baja tulangan dan beton yang membungkusnya dipengaruhi oleh faktor :

1. Adhesi, merupakan ikatan kimiawi yang terbentuk pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan akibat adanya proses reaksi pengerasan semen.

, merupakan tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik.



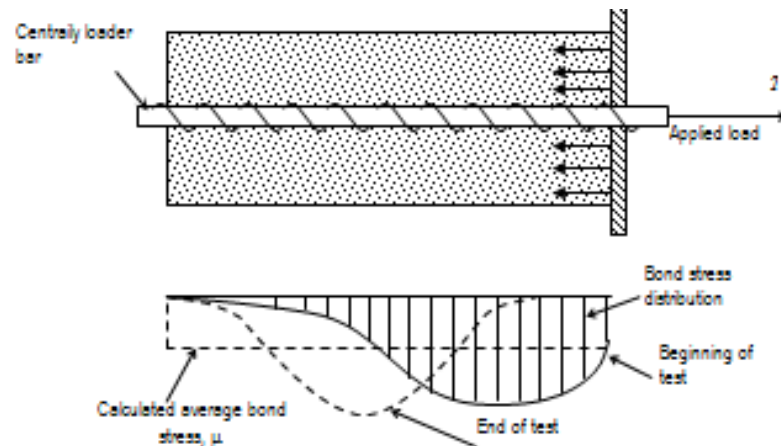
Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara beton dan tulangan.

3. *Interlocking*, mekanisme ini terbentuk karena adanya interaksi antara ulir atau tonjolan tulangan (*rib*) dengan matriks beton yang ada di sekitarnya, mekanisme ini sangat bergantung pada kekuatan, dan kepadatan material beton, geometri dan diameter tulangan.
4. *Gripping*, efek memegang (*gripping*), akibat susut/pengeringan beton di sekeliling tulangan.
5. Efek kualitas beton, kualitas beton meliputi kuat tarik dan kuat tekan. Akibat desakan oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling, jika tegangan tarik ijin beton terlampaui maka akan mengakibatkan retak belah.
6. Efek mekanisme penjangkaran ujung tulangan, efek penjangkaran dapat berupa panjang lewatan/tanam, bengkokan tulangan dan persilangan tulangan.
7. Diameter, bentuk dan jarak tulangan (kesemuanya) mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan retak radial. Diameter tulangan terlalu kecil akan mengakibatkan keruntuhan putus pada tulangan karena kuat lekatnya jauh lebih tinggi dari pada kuat putus baja atau tulangannya. Sedangkan diameter terlalu besar akan mengakibatkan keruntuhan slip, karena kuat lekatnya jauh lebih besar dari pada kuat putus baja atau tulangan jauh lebih besar dari pada kuat lekatnya sehingga terjadi slip yang didahului oleh retak belah yang sangat cepat.



8. Selimut beton, selimut beton yang tidak mencukupi untuk mengakomodasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnya mengakibatkan kehancuran belah.
9. Korosi, karatan atau korosi pada tulangan akan mengakibatkan menurunnya adhesi, *gripping* dan friksi antara beton dan tulangan sehingga mengurangi kuat lekat.

Kontribusi masing-masing faktor ini sulit dipisahkan satu dengan yang lainnya. Kontribusi beton dengan adanya faktor saling geser, susut dan mutu beton ditambah dengan kontribusi tulangan baja yang bergantung pada dimensi, bentuk dan jarak tulangan ditambah dengan efek mekanis saling berinteraksi satu dengan yang lainnya dalam memberikan kekuatan lekatan kedua material. Untuk memperoleh nilai tegangan lekat rata-rata, maka digunakan rumus :



Gambar 1. Tegangan Lekat pada *Pull-Out Test*

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot ld} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

τ = Tegangan lekat rata-rata (MPa)

P = Beban maksimum (N)

D = Diameter tulangan (mm)

ld = Panjang penyaluran (mm)

B. *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

FRP adalah material yang terbuat dari *fiber* (serat) material sintesis seperti *glass*, *aramid* atau *carbon* yang disatukan oleh zat matrik, seperti *epoxy* atau *polyester*. Pengembangan penggunaan FRP pada rekayasa sipil terdiri dari dua bagian, pertama untuk rehabilitasi dan perbaikan struktur dan kedua untuk pembuatan konstruksi baru yang sepenuhnya menggunakan FRP ataupun komposit dengan beton.

Karakteristik mekanis material komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan beton dan pengekuatnya. Perbandingan antara kekuatan beton dan serat merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan.

Hasilnya adalah suatu material komposit yang mempunyai kekuatan dan

elastisitas yang tinggi. Persyaratan fungsional yang dimiliki oleh

bagai penguat antara lain :



1. Modulus elastisitas yang tinggi.
2. Kekuatan patah yang tinggi.
3. Mempunyai kekuatan yang seragam di antara serat.
4. Mempunyai tingkat kestabilan yang tinggi saat penanganan.
5. Diameter/ukuran luas penampang yang seragam.

C. Tulangan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Tulangan GFRP adalah campuran komposit yang terbuat dari serat kaca berkekuatan tinggi dan resin poliester, resin vinil ester dan resin epoksi dengan teknologi pultrusion dan winding. Contoh tulangan GFRP ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tulangan GFRP

Keunggulan tulangan GFRP antara lain :

tidak terbakar (tidak ada percikan api saat memotong, dan sangat bermanfaat



untuk konstruksi keselamatan jalan raya.)

2. Kekuatan tarik kuat
3. Mudah dioperasikan: mudah digunakan di tempat yang rapat, seperti terowongan dan ranjau.
4. Mudah dipotong
5. Berat hanya 1/4 dari spesifikasi baja yang sama. Dengan demikian mengurangi biaya transportasi dan memudahkan konstruksi
6. Anti penuaan, asam dan alkali, tahan korosi, dan umur pemakaian yang panjang.
7. Kombinasi material yang kuat: koefisien ekspansi termal lebih mendekati semen dibandingkan baja.
8. Kinerja yang kuat terhadap gelombang bahan ini semacam bahan non-magnetik, dan tidak memerlukan demagnetisasi pada struktur beton non-magnetik atau elektromagnetisme. Sumber : Antop Global Technology Co.,Ltd.

D. Lembaran *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP Sheet)

Material FRP yang sangat laku dipasaran adalah dalam bentuk lembaran, dimana keuntungan yang diperoleh dari FRP lembaran adalah

man dalam aplikasi karena lembaran FRP ini dapat ditempelkan mudah pada bagian permukaan anggota struktur yang rusak dengan



bantuan perekat (resin), biaya yang relatif murah dibandingkan FRP dengan bahan yang lain, kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan yang tinggi terhadap kimia, memiliki sifat isolasi yang baik. Adapun kekurangannya: berat jenis yang tinggi, memiliki sifat kekerasan yang tinggi, ketahanan kelelahan yang relatif rendah. Sebagai penguatan eksternal, FRP tipe lembaran digunakan untuk :

1. Perbaiki balok dan slab beton yang rusak, dengan asumsi bahwa *debonding* antara FRP dan beton tidak menyebabkan kegagalan elemen struktur
2. Mengatasi penambahan lebar retakan akibat beban layanan
3. Meningkatkan kekuatan lentur akibat peningkatan beban seperti beban gempa dan beban lalu lintas
4. Merencanakan beton baru yang memiliki daktilitas tinggi
5. Perbaiki struktur akibat kesalahan desain atau konstruksi
6. Meningkatkan kemampuan geser beton
7. Meningkatkan kemampuan pengekangan kolom beton
8. Perbaiki struktur lama dan bersejarah
9. Teknik yang digunakan dalam pemasangan tidak mengganggu penggunaan struktur oleh pihak lain.





Tyfo SHE-51A Tyfo S Component A Tyfo S Component B

Gambar 3. GFRP-S Tyfo SEH-51A dan *epoxy resin* Tyfo S

Serat kaca (*fiberglass*) adalah jenis serat sintesis yang paling banyak digunakan. Harganya relatif murah dan sudah tersedia cukup banyak di pasaran. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polimer. Kuat tarik *fiber glass* yang tinggi membuat GFRP dapat dimanfaatkan sebagai tulangan yang menerima gaya tarik pada elemen struktur. GFRP dapat dibuat berbentuk batangan atau pelat. Khusus untuk yang berbentuk pelat, dibuat dari anyaman serat GFRP yang direkatkan lapis per lapis dengan matrik (pengisi) dari bahan *epoxy*. Karena itu jumlah dan arah dari serat akan berpengaruh terhadap kuat tarik GFRP. Semakin cermat

nya makin banyak serat yang dapat dimasukkan sehingga semakin
ula kuat tariknya. Pemakaian FRP pada suatu konstruksi biasanya
kan oleh beberapa hal yaitu:



1. Terjadi kesalahan perencanaan
2. Adanya kerusakan-kerusakan dari bagian struktur sehingga dikhawatirkan tidak berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.
3. Adanya perubahan fungsi pada sistem struktur dan adanya penambahan beban yang melebihi beban rencana.

Beberapa mode kegagalan yang sering terjadi pada balok yang diperkuat dengan FRP yaitu:

1. Rusaknya FRP setelah tulangan tarik meledak
2. Hancurnya beton sekunder setelah tulangan tarik meledak
3. Inti beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meledak
4. Lepasnya ikatan antara FRP dan beton (*debonding*).

Ada beberapa keuntungan penggunaan FRP sebagai perkuatan struktur, antara lain:

1. Kuat tarik sangat tinggi ($\pm 7-10$ kali lebih tinggi dari U39)
2. Sangat ringan (*density* 1.4-2.6 gr/cm³, 4-6 kali lebih ringan dari baja)
3. Pelaksanaan sangat mudah dan cepat
4. Memungkinkan untuk tidak menutup lalu lintas (mis : jembatan dll)
5. Tidak memerlukan area kerja yang luas
6. Tidak memerlukan *joint*, meskipun bentang yang harus diperkuat cukup



ng

berkarat (non logam)

Terdapat juga kelemahan dari FRP, yaitu:

1. Ketahanan terhadap kebakaran (harus dilakukan lapisan tahan kebakaran)
2. Perusakan dari luar (umumnya untuk fasilitas umum harus dilakukan lapisan penutup dari mortar).

Dalam penggunaannya, FRP digabungkan dengan suatu bahan perekat (*Epoxy Impregnation Resin*) yang akan merekatkan lembaran fiber pada balok beton. GFRP yang dipergunakan dalam penelitian adalah tyfo SEH-51A. Adapun spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi GFRP Tyfo SEH-51A dalam bentuk *dry sheet*

| Karakteristik material fiber lepas | |
|------------------------------------|------------------------|
| Sifat- sifat | Hasil uji |
| Kekuatan tarik | 3,24 GPa |
| Modulus Young's | 72,4 GPa |
| Regangan (<i>elongation</i>) | 4,50% |
| Kerapatan | 2,55 g/cm ³ |
| Berat per luasan | 915 g/m ² |
| Tebal Fiber | 0,36 mm |

(Sumber: Fyfe.Co LLC)

Tabel 1 menunjukkan data karakteristik material GFRP dalam keadaan lepas atau dalam kondisi kering. Serat-serat inilah yang digunakan dalam

untuk lembaran GFRP dengan ketebalan tertentu.

Tabel 2 menunjukkan spesifikasi lembaran komposit GFRP tipe SEH-51A. Ketebalan lembaran GFRP yang digunakan yaitu 1,3 mm. GFRP memiliki



nilai kuat tarik ultimit yang berbeda berdasarkan arah serat di mana pada arah utama serat, nilai kuat tarik GFRP sebesar 460 MPa sedangkan pada arah tegak lurus arah utama serat (90^0 terhadap arah utama serat), nilai kuat tariknya hanya sebesar 20,7 MPa.

Tabel 2. Spesifikasi GFRP Tyfo SEH51-A dalam bentuk komposit

| Uraian | Metode ASTM | Hasil uji | Nilai desain |
|---|-------------|-----------|--------------|
| Kekuatan tarik ultimit dalam arah utama fiber | D-3039 | 575 MPa | 460 MPa |
| Regangan (<i>elongation</i>) | D-3039 | 2,20% | 2,20% |
| Modulus Young's | D-3039 | 26,1 GPa | 20,9 GPa |
| Kekuatan tarik ultimit 90^0 dari arah utama fiber | D-3039 | 25,8 MPa | 20,7 MPa |
| Tebal lapisan | | 1,3 mm | 1,3 mm |

(Sumber: Fyfe.Co LLC)

Epoxy resin adalah larutan yang digunakan untuk merekatkan serat fiber pada beton atau objek yang ingin diperkuat. Campuran *epoxy resin* terdiri dari bahan padat dan cair yang saling larut. Campuran dengan *epoxy resin* yang lain dapat digunakan untuk mencapai kinerja tertentu dengan sifat yang diinginkan. *Epoxy resin* yang paling banyak digunakan adalah *Bisphenol A Eter Diglisidil*.

Resin biasanya poliester dua bagian, *vinyl* atau *epoxy* dicampur dengan isocyanate (*hardener*) dan diterapkan ke permukaan. Lembar *fiberglass*



diletakkan ke dalam cetakan, campuran resin kemudian ditambahkan dengan menggunakan kuas atau *roller*. Ketika lembar GFRP diaplikasikan ke atas permukaan balok dan udara tidak boleh terjebak antara *fiberglass* dan cetakan. Tekanan tangan atau rol digunakan untuk memastikan jenuh resin dan penuh membasahi semua lapisan. Pekerjaan harus dilakukan cukup cepat sebelum resin mulai bereaksi Beberapa keuntungan *epoxy resin* yaitu :

1. Berbagai sifat mekanis memungkinkan pilihan yang lebih banyak
2. Tidak ada penguapan selama proses pengeringan
3. Rendahnya penyusutan selama proses pengeringan
4. Ketahanan yang baik terhadap bahan kimia
5. Memiliki sifat adhesi yang baik terhadap berbagai macam pengisi, serat dan substrat lainnya.

Tabel 3. Sifat material *epoxy*

| Sifat material <i>epoxy</i> | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| Waktu pengeringan | : 72 Jam (Suhu ruang : 60°C) | |
| Kekuatan tarik | ASTM D-638 | 72.4 MPa |
| Modulus Young's | | 3,18 GPa |
| Regangan (<i>elongation</i>) | ASTM D-638 | 5% |
| Kekuatan lentur | ASTM D-790 | 123,4 MPa |
| Modulus lentur | ASTM D-790 | 3,12 GPa |

(Sumber: Fyfe.Co LLC)



Kelemahan *epoxy resin* adalah biaya yang relatif mahal dan proses pengeringan yang relatif lama. Bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan produk dari Fyfe Co dengan nama Tyfo S yang terdiri dari 2 komponen yaitu komponen A (resin) dan komponen B (*hardener*). Sifat material epoxy dapat dilihat pada Tabel 3.

E. Studi Empirik Penelitian Terdahulu

Marta Baena, dkk (2009) meneliti tentang perilaku lekatan antara beton dengan tulangan FRP menggunakan *pull out test*. Material yang diuji berasal dari 5 produsen yang berbeda. Produsen A terdiri dari benda uji R1 : tulangan CFRP (*carbon reinforced polymer*) , R2 : tulangan GFRP (*glass fiber reinforced polymer*) kedua benda uji tersebut memiliki permukaan berpasir. Produsen B terdiri dari R3 : tulangan CFRP dengan permukaan berstekstur, R4 : tulangan GFRP dengan permukaan ulir berpasir. Produsen C terdiri dari R5 : tulangan GFRP dengan permukaan berulir. Produsen D terdiri dari R6: tulangan GFRP dengan permukaan berulir dan berpasir. Produsen E terdiri dari R7 : tulangan baja yang digunakan sebagai pembandingan. Dengan masing-masing diameter tulangan 8, 12, 16, 19 mm, dan #3, #4, #5, dan #6 dimana # mewakili seperdelapan inci, seperti pada Tabel 4 dan Gambar 4.



Tabel 4. Jenis-jenis benda uji tulangan oleh Marta Baena, dkk (2009)

| Produk | Tipe Tulangan | Resin | Nominal Diameter | | Diameter Equivalent (mm) | Permukaan |
|----------|---------------|---------------------|------------------|------|--------------------------|---------------------|
| | | | mm | inci | | |
| A | C/R1 | Vynilester | | #3 | 10,65 | Berpasir |
| | C/R1 | Vynilester | | #4 | 13,43 | Berpasir |
| | G/R2 | Vynilester | | #3 | 10,22 | Berpasir |
| | G/R2 | Vynilester | | #4 | 14,13 | Berpasir |
| | G/R2 | Vynilester | | #5 | 16,44 | Berpasir |
| | G/R2 | Vynilester | | #6 | 19,55 | Berpasir |
| B | C/R3 | epoxy | | #3 | 9,05 | Berulir |
| | C/R3 | epoxy | | #4 | 12,53 | Berulir |
| | G/R4 | Vynilester | | #3 | 9,28 | Berulir dan Berpasi |
| | G/R4 | Vynilester | | #4 | 13,73 | Berulir dan Berpasi |
| | G/R4 | Vynilester | | #5 | 16,11 | Berulir dan Berpasi |
| | G/R4 | Vynilester | | #6 | 19,14 | Berulir dan Berpasi |
| C | G/R5 | Urethane Vynilester | 8 | | 8,55 | Berulir |
| | G/R5 | Urethane Vynilester | 12 | | 13,72 | Berulir |
| | G/R5 | Urethane Vynilester | 16 | | 17,25 | Berulir |
| D | G/R6 | Polyester | 8 | | 7,07 | Berulir |
| | G/R6 | Polyester | 12 | | 12,35 | Berulir |
| | G/R6 | Polyester | 16 | | 17,36 | Berulir |
| | G/R6 | Polyester | 19 | | 21,25 | Berulir |
| E | S/R7 | | 10 | | 10 | Berulir |
| | S/R7 | | 12 | | 12 | Berulir |
| | S/R7 | | 16 | | 16 | Berulir |
| | S/R7 | | 20 | | 20 | Berulir |

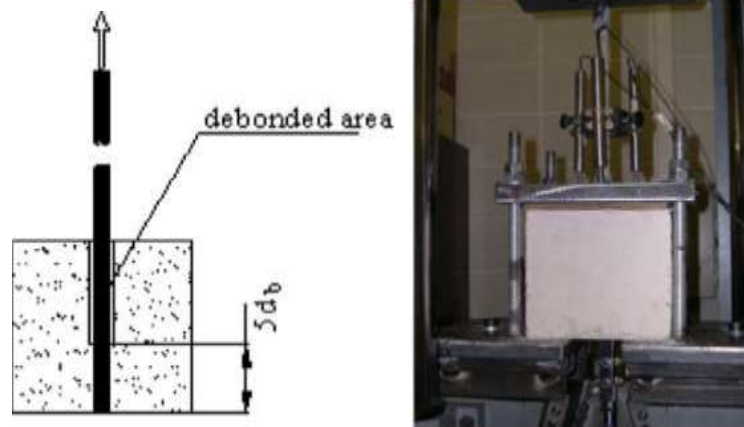
berdelapan inci





Gambar 4. Benda uji FRP Bar oleh Marta Baena, dkk (2009)

Pengujian *pull out* tersebut juga sesuai dengan ACI 440.3R-04. Adapun setup benda uji nya yaitu :



Gambar 5. Pull Out Test Setup oleh Marta Baena, dkk. (2009)

Pengujian menggunakan tiga LVDT yang ditempatkan di atas kerangkeng benda uji untuk mengukur perpindahan tulangan. Benda uji memiliki panjang lekatan 5 kali diameter tulangan yang diuji dengan ACI 440.3R-04. Dengan temperatur suhu ruangan pengujian $\pm 20^{\circ}$ C dan kelembapan 95%. Adapun mutu beton adalah 28,63 MPa dengan komposisi beton yang dipakai yang ditampilkan pada Tabel 5.



Tabel 5. Hasil pengujian oleh Marta Baena, dkk. (2009)

| Benda Uji | f'_c (MPa) | τ_{max} (MPa) | τ_{max} rata-rata (MPa) | Mode Kegagalan |
|----------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|
| A-C/R1-#3-1-C1 | 27,8 | 17,113 | 16,442 | <i>Pull Out</i> |
| A-C/R1-#3-2-C1 | 27,8 | 15,771 | | <i>Pull Out</i> |
| A-C/R1-#4-1-C1 | 29,34 | 12,865 | 13,498 | <i>Pull Out</i> |
| A-C/R1-#4-2-C1 | 26,5 | 14,131 | | <i>Pull Out</i> |
| A-G/R2-#4-1-C1 | 26,7 | 11,057 | 11,200 | <i>Pull Out</i> |
| A-G/R2-#4-2-C1 | 26,7 | 11,343 | | <i>Pull Out</i> |
| A-G/R2-#5-1-C1 | 28,3 | 12,169 | 12,099 | <i>Pull Out</i> |
| A-G/R2-#5-2-C1 | 26,7 | 12,029 | | <i>Pull Out</i> |
| B-C/R3-#3-1-C1 | 26,5 | 9,302 | 13,137 | <i>Pull Out</i> |
| B-C/R3-#3-2-C1 | 31,3 | 16,972 | | <i>Pull Out</i> |
| B-C/R3-#4-1-C1 | 30,7 | 6,062 | 7,214 | <i>Pull Out</i> |
| B-C/R3-#4-2-C1 | 31,3 | 8,365 | | <i>Pull Out</i> |
| B-G/R4-#4-1-C1 | 30 | 9,888 | 9,838 | <i>Pull Out</i> |
| B-G/R4-#4-2-C1 | 28,3 | 9,787 | | <i>Pull Out</i> |
| B-G/R4-#5-1-C1 | 30 | 10,477 | 11,356 | <i>Pull Out</i> |
| B-G/R4-#5-2-C1 | 28,3 | 12,235 | | <i>Pull Out</i> |
| C-G/R5-8-1-C1 | 29,66 | 12,754 | 12,494 | <i>Pull Out</i> |
| C-G/R5-8-2-C1 | 29,66 | 12,234 | | <i>Pull Out</i> |
| C-G/R5-12-1-C1 | 27,16 | 9,089 | 8,787 | <i>Pull Out</i> |
| C-G/R5-12-2-C1 | 29,34 | 8,484 | | <i>Pull Out</i> |
| C-G/R5-16-1-C1 | 26,67 | 11,698 | 10,771 | <i>Pull Out</i> |
| C-G/R5-16-2-C1 | 27,16 | 9,844 | | <i>Pull Out</i> |
| D-G/R6-8-1-C1 | 29,34 | 19,42 | 17,137 | <i>Pull Out</i> |
| D-G/R6-8-2-C1 | 29,34 | 14,853 | | <i>Pull Out</i> |
| D-G/R6-12-1-C1 | 30 | 15,832 | 16,643 | <i>Pull Out</i> |
| D-G/R6-12-2-C1 | 29,34 | 17,453 | | <i>Pull Out</i> |
| E-S/R7-12-1-C1 | 26,5 | 12,547 | 14,066 | <i>Pull Out</i> |
| E-S/R7-12-2-C1 | 30,7 | 15,584 | | <i>Pull Out</i> |
| E-S/R7-16-1-C1 | 27,16 | 13,296 | 15,228 | <i>Pull Out</i> |
| E-S/R7-16-2-C1 | 29,66 | 17,159 | | <i>Pull Out</i> |

engaruh permukaan tulangan, tipe tulangan, diameter, dan mutu



beton, terhadap lekatan dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$\tau = \frac{P}{\pi d_b l_b}$$

dimana, P adalah beban tarik, d_b adalah *diameter equivalent*, l_b adalah panjang lekatan tulangan. Hasil pengujian *pull out* dengan mutu beton C1 (mutu beton sedang) oleh Marta Baena, dkk (2009). Dapat dilihat pada Tabel 2.3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar diameter tulangan, maka tegangan lekat yang terjadi juga semakin besar.

Sedangkan perilaku dari hubungan tegangan lekat dengan *slip* pertama kali ditandai dengan peningkatan awal tegangan lekat dengan perilaku linear, diikuti dengan penurunan saat tegangan maksimum tercapai. Hingga kegagalan terjadi lekatan bekerja karena adanya adhesi dan friksi antara tulangan dan beton. Saat keduanya adhesi dan friksi telah berhenti, perilaku tegangan akan berbeda tiap benda uji berdasarkan jenis permukaannya masing-masing.

Untuk tulangan yang tidak berulir (R1, R2, dan R3) transfer beban disebabkan oleh sifat friksi dan sangat bergantung pada transfer tekanan. Kemudian perlahan berkurang saat permukaan beton telah rusak. Untuk tulangan dengan permukaan berpasir (R1, dan R2) memiliki lekatan awal

ik dengan kuat lekatan tinggi, perilaku lekatan dengan slip yang linear hingga titik puncak kemudian turun perlahan pada titik nol.



Pada tulangan dengan permukaan berpasir menunjukkan pada peningkatan pengikatan kimiawi seperti yang dijelaskan pada Chaallal dkk, 1993.

Saat tegangan lekat maksimum tercapai, lapisan pasir pada permukaan tulangan akan terlepas, dan kehancuran tiba-tiba dapat diamati karena efek dinamis yang terjadi. Fenomena ini diamati terlepas dari mutu betonnya, untuk mutu beton yang rendah (C1) kehancuran beton lebih halus. Saat menggunakan mutu beton C1, lapisan pasir tertarik keluar dari resin tulangan, tapi untuk mutu beton tinggi (C2) yang diamati, lapisan pasir terlepas tiba-tiba secara keseluruhan. Efek dinamis memiliki pengaruh pada pengujian, saat lapisan pasir terlepas, menjelaskan keadaan pembebanan terhenti kemudian kembali terbebani, setelah lekatan maksimum terjadi.

Perilaku lekatan antara tulangan FRP dengan beton tergantung dari banyak faktor termasuk mutu beton, diameter tulangan, dan permukaan tulangan. Peningkatan kekuatan lekat dan perubahan pada model kegagalan dan kegagalan permukaan dilihat saat perbedaan mutu beton. Analisis tentang pengaruh permukaan tulangan pada perilaku lekatan menunjukkan adanya perbedaan mekanisme lekatan tiap jenis permukaan tulangan. Bagaimanapun juga pengaruh permukaan tulangan pada lekatan beton kurang berpengaruh pada mutu beton rendah.



harmasto (2007) meneliti tentang tegangan lekat antara baja tulangan
n baja tulangan ulir dengan pengujian *pull out test*. Pengujian kuat
pull out test) dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing*

Machine (UTM) terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan cara menarik baja tulangan yang tertanam dalam silinder beton kemudian mencatat gaya yang dibutuhkan. Hasil pengujian *pull out*, baik untuk baja tulangan polos maupun baja tulangan ulir, seperti terlihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Uji *Pull Out* baja polos oleh Sunarmasto, (2007)

| Diameter baja (mm) | P maksimum rata-rata (N) | Tegangan lekat (MPa) |
|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 8 | 6000 | 1,958 |
| 10 | 14787 | 3,267 |
| 12 | 21520 | 3,279 |
| 16 | 26470 | 2,665 |
| 19 | 36150 | 2,881 |

Tabel 7. Uji *Pull Out* baja ulir oleh Sunarmasto, (2007)

| Diameter Baja (mm) | P maksimum rata-rata (N) | Tegangan Lekat (MPa) |
|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 8 | 6150 | 5,150 |
| 10 | 17225 | 6,962 |
| 12 | 34500 | 6,202 |
| 16 | 50100 | 5,051 |
| 19 | 50375 | 4,326 |

Sunarmasto mendapatkan bahwa, tegangan lekat baja tulangan ulir jauh

besar dibandingkan dengan tegangan lekat pada tulangan polos.

Perbedaan tegangan lekat pada kedua jenis baja tulangan ini adalah karena



pada baja tulangan ulir terdapat takikan pada permukaan baja, yang akan menambah kekuatan lekatan antara baja dan beton.

