

TINJAUAN VARIASI TEBAL GROUTING SIKADUR® 31 CF NORMAL Dan PANJANG PENYALURAN TERHADAP DAYA LEKAT BAJA TULANGAN PADA BETON MUTU NORMAL

Anis Rosyidah, Gilang Maulid R., dan Efendi Yasin

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Kampus UI Depok 16425
email : anis.rosyidah@gmail.com

Abstract

One of the requirements in reinforced concrete structures is the existence of bonding between reinforcement and concrete, so that if the concrete structure of the given load will not slip between reinforcing steel and concrete, with a condition for disbursement length and diameter sufficient reinforcement. This research was conducted with laboratory experimental methods, this study used threaded steel bars 10 mm in diameter grown on cylindrical concrete specimens with a length variation of normal quality distribution of 100 mm and 200 mm, and for thickness variation Sikadur® 31 CF Normal used a thickness variation mm, 2 mm, 3 mm. Each specimen is tested with a method of "bond, a pull-out test". Based on the results obtained from voltage variations thick adhesive Sikadur® 31 CF Normal, with thick sticky voltage Sikadur® 31 CF Normal 2 mm produces voltage optimum closely with the value of 8.412 MPa, the adhesive stresses are found for the distribution of the required length of 182.860 mm for thickness variation Sikadur® 31 CF Normal 1 mm, 97.586 mm for thickness variation Sikadur® 31 CF Normal 2 mm, while for thickness variation Sikadur® 31 CF Normal 3 mm can not be calculated and analyzed the test results because of the "bond, a pull-out" no reinforcing steel reaches the yield condition, caused by broken concrete and reinforcing steel cylinder apart before reaching the yield condition. Then the length distribution obtained by the above formula Park & Paulay compared with the length distribution of article 14.2 of SNI 30-2847-2002 obtained epoxy ratio of 2:13 for the thickness of 2 mm with a planting of 100 mm. In the epoxy thickness 1 mm with 200 mm obtained planting 2:7 ratio, and the planting of monoliths obtained 2:5 ratio. Bold use of Sikadur® 31 CF Normal apparently affect the pattern of damage to the concrete and steel. When planting steel bars are too short we need a thicker epoxy, planting reinforcement 100 mm with a thickness of 3 mm epoxy. When planting longer needed a thinner epoxy, the planting of 200 mm reinforced epoxy with a thickness of 1 mm. Based on the pattern of damage that occurs, the thickness of epoxy should consider the quality of concrete used to prevent the destruction of the concrete.

Keyword: grouting thickness, development length, bond stress.

Abstrak

Salah satu persyaratan dalam struktur beton bertulang adalah adanya lekatan antara tulangan dan beton, sehingga apabila pada struktur beton tersebut diberikan beban tidak akan terjadi slip antara baja tulangan dan beton, dengan syarat tersedianya panjang penyaluran dan diameter tulangan yang cukup. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental laboratorium, dalam penelitian ini digunakan baja tulangan ulir diameter 10 mm yang ditanam pada benda uji beton silinder mutu normal dengan variasi panjang penyaluran 100 mm dan 200 mm, lalu untuk variasi tebal Sikadur® 31 CF Normal digunakan variasi tebal 1 mm, 2 mm, 3 mm. Masing-masing benda uji di uji dengan metode "bond pull-out test". Berdasarkan hasil penelitian diperoleh tegangan lekat dari berbagai variasi tebal Sikadur® 31 CF Normal, tegangan lekat dengan tebal Sikadur® 31 CF Normal 2 mm menghasilkan tegangan lekat optimum dengan nilai 8.412 MPa, dari tegangan lekat tersebut didapatkan panjang penyaluran yang dibutuhkan 182.860 mm untuk variasi tebal Sikadur® 31 CF Normal 1 mm, 97.586 mm untuk variasi tebal Sikadur® 31 CF Normal 2 mm, sedangkan untuk variasi tebal Sikadur® 31 CF Normal 3 mm tidak dapat dihitung dan dianalisis karena dari hasil uji "bond pull-out" baja tulangan tidak mencapai kondisi leleh, disebabkan beton silinder hancur dan baja tulangan terlepas sebelum mencapai kondisi leleh. Lalu panjang penyaluran yang didapatkan di atas berdasarkan rumus Park & Paulay dibandingkan dengan panjang penyaluran SNI 30- 2847-2002 pasal 14.2 didapatkan perbandingan 2:13 untuk ketebalan epoxy 2 mm dengan penanaman 100 mm. Pada ketebalan epoxy 1 mm dengan penanaman 200 mm didapatkan perbandingan 2:7, dan penanaman secara monolit didapatkan perbandingan 2:5. Tebal penggunaan Sikadur® 31 CF Normal ternyata mempengaruhi dalam pola kerusakan pada beton dan baja tulangan. Bila penanaman baja tulangan terlalu pendek maka diperlukan epoxy yang lebih tebal, penanaman tulangan 100 mm dengan ketebalan epoxy 3 mm. Bila penanaman lebih panjang dibutuhkan epoxy yang lebih tipis, penanaman tulangan 200 mm dengan ketebalan epoxy 1 mm. Berdasarkan pola kerusakan yang terjadi, ketebalan epoxy harus mempertimbangkan mutu beton yang digunakan agar tidak terjadi kehancuran pada beton.

Kata Kunci: tebal grouting, panjang penyaluran, daya lekat tulangan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penambahan tulangan baja pada beton yang sudah mengeras terkadang diperlukan antara lain untuk menyambung elemen-elemen beton *precast* atau untuk perkuatan struktur. Penyambungan elemen struktur harus dilakukan, sebab hal itu merupakan konsekuensi dari metode pelaksanaan konstruksi *precast* yang dipilih atau terjadi kesalahan dalam perancangan struktur apabila struktur bangunan yang tersebut diinginkan tetap dapat digunakan tanpa adanya pembongkaran, maka salah satu jalan penyelesaiannya adalah dengan melakukan perkuatan terhadap struktur dengan penambahan tulangan pada struktur tersebut. Penambahan tulangan tersebut dapat dilakukan dengan penanaman baja tulangan pada beton, ini dilakukan dengan cara melubangi beton kemudian memasukkan tulangan kedalamnya dan penambahan zat perekat (*epoxy*) agar terjadi lekatan antara tulangan dengan beton.

Penambahan zat perekat (*epoxy*) untuk mendapatkan lekatan antara tulangan dan beton karena salah satu persyaratan dalam struktur beton bertulang adalah adanya lekatan antara baja tulangan dan beton, sehingga ketika pada struktur beton tersebut diberikan beban tidak akan terjadi *slip* antara baja tulangan dan beton. Diameter dan panjang penyaluran tulangan sangat berpengaruh pada kelekatan beton dan baja tulangan. Keruntuhan suatu struktur dapat disebabkan salah satunya karena kurangnya lekatan antar tulangan dengan beton, untuk itu perlu diperhatikan kuat lekat antara beton dan baja tulangan agar diperoleh keseimbangan gaya antara baja tulangan dan beton.

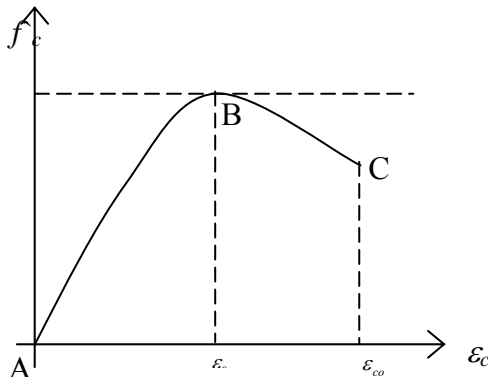
Untuk mendapatkan kekuatan lekatan yang baik antara beton yang sudah mengeras dengan tulangan diperlukan perekat yang kuat. Salah satu perekat atau *epoxy* tulangan pada beton adalah Sikadur[®] 31 CF Normal, epoksi ini oleh produsennya diklaim cukup aman dalam menerima gaya tarik. Namun,

perlu ada pembuktian bahwa *epoxy* Sikadur[®] 31 CF Normal ini memang kuat menahan gaya tarik. Ketebalan *epoxy* Sikadur[®] 31 CF Normal untuk perekat tulangan juga belum ada aturannya, sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan ketebalan yang optimal, mengingat harga Sikadur[®] 31 CF Normal ini cukup mahal, dan pola kerusakannya juga belum diketahui apakah dipengaruhi mutu beton yang dipakai, demikian juga dengan panjang penyaluran tulangan yang tertanam pada beton, perlu diperhitungkan karena sangat berpengaruh pada daya lekat antara baja tulangan dan beton, dalam SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung pasal 14 memang mengatur panjang penyaluran tulangan tarik, tapi kondisinya berbeda sebab yang diatur adalah tulangan yang dicor monolit dengan beton bukan tulangan yang ditanam pada beton yang dilubangi dan menggunakan perekat. Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu pula dilakukan pengujian panjang penyaluran tulangan yang tertanam pada beton terhadap kuat lekatan tulangan, dengan harapan nantinya akan diketahui apakah rumusan yang tertulis pada peraturan SNI 03-2847-2002 mengenai panjang penyaluran tersebut berlaku juga untuk ikatan beton yang sudah mengeras dengan tulangan yang direkatkan dengan perekat atau *epoxy*.

Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan. Beton dan baja tulangan diperlukan secara sinergis dalam menerima beban, dimana beton mempunyai kelebihan menahan gaya tekan sedangkan baja tulangan lebih unggul ketika menerima gaya tarik, dalam beton bertulang ada beberapa sifat yang baik di dalam kerjasama antara beton dan baja tulangan. Sifat yang terpenting adalah beton dan baja tulangan mempunyai tegangan lekat dan tegangan lentur yang cukup besar.

Dalam Park dan Paulay (1975) diagram kurva tegangan-regangan beton dapat dilihat dalam Gambar 2.1. Terdapat dua kondisi beton ketika menerima gaya tekan yaitu pada saat tegangan beton mulai naik hingga puncak, daerah AB dimana $\varepsilon_c \leq \varepsilon_o$ dan tegangan beton yang telah mengalami penurunan, daerah BC $\varepsilon_o \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{co}$. Jika regangan $\varepsilon_c > \varepsilon_o$ maka beton tersebut sudah dalam keadaan hancur.

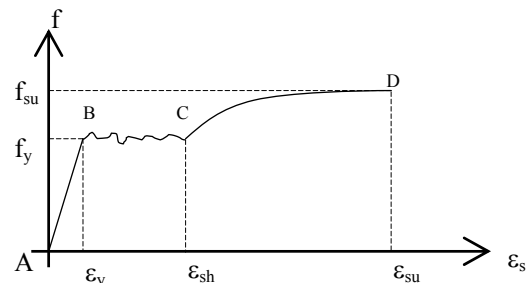


Gambar 1 Diagram Tegangan-Regangan (Sumber: Park & Paulay, 1975)

Baja Tulangan

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang akan timbul di dalam sistem struktur. setiap struktur beton bertulang harus diusahakan supaya tulangan baja dan beton dapat mengalami deformasi secara bersamaan dengan maksud agar terdapat ikatan dan lekatan yang kuat di antara baja tulangan dengan beton.

Menurut Park dan Paulay (1975) model kurva tegangan-regangan baja dapat menggunakan kurva komplit, dimana kurva ini merupakan bentuk sesungguhnya kurva tegangan-regangan hasil pengujian tulangan baja. Kurva tegangan-regangan dalam menerima gaya tarik tersebut ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2 Diagram Tegangan-Regangan

Berdasarkan Gambar 2, terdapat tiga kondisi yaitu ketika tegangan baja mulai meningkat sampai mengalami leleh, daerah AB $\varepsilon_s < \varepsilon_y$, keadaan pasca baja leleh, daerah BC $\varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}$ dan kondisi baja sudah mengalami *strain hardening*, daerah CD $\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$. Setelah melewati titik D maka baja tulangan sudah putus.

Perekat Epoxy

Meningkatkan kekuatan lekatan antara tulangan dan beton merupakan salah satu faktor mempengaruhi kekuatan tarik tulangan pada struktur beton bertulang, sedangkan tulangan yang dipasang pada beton dilakukan setelah beton menjadi keras, maka perlu suatu zat untuk melekatkan antara baja tulangan dengan beton. Zat yang digunakan adalah zat *epoxy* yang bagus sebagai perekat dan *coating*.

Dalam penelitian ini digunakan zat perekat jenis Sikadur[®] 31 CF Normal yang diperoleh dari PT. Sika Indonesia. Kuat lekat (*bond strength*) *epoxy* jenis ini mencapai 15 N/mm² setelah 3 hari dioleskan pada beton yang sudah mencapai umur 28 hari. Kelebihan Sikadur[®] 31 CF Normal adalah:

- Mudah dalam penggunaannya.
- Cocok digunakan pada permukaan beton yang kering.
- Adhesi terhadap elemen struktur baik.
- Lengket terhadap material konstruksi sehingga mempunyai kekuatan lekat yang tinggi.
- Tanpa menggunakan bahan pelarut.
- Tidak ada penyusutan ketika mengeras.

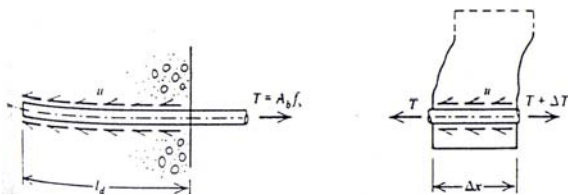
g. Kedap air dan cairan lain.

Persiapan yang dilakukan sebelum pemberian Sikadur[®] 31 CF Normal adalah beton dan baja tulangan harus dibersihkan dari partikel-partikel lepas seperti pasir, minyak, dll.

Tegangan Lekat

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah lekatan (*bond*), lekatan disini adalah hubungan kerja sama antara baja tulangan dengan beton disekelilingnya. Agar beton bertulang dapat berfungsi dengan baik sebagai bahan komposit, dimana batang baja tulangan saling bekerja sama sepenuhnya dengan beton. Untuk menjamin hal ini diperlukan adanya lekatan yang baik antara beton dengan tulangan dan pada akhirnya akan menghindarkan dari terjadinya *slip* antara tulangan dengan beton disekelilingnya.

Park dan Paulay (1975) menjelaskan bahwa tegangan lekatan (*Bond stress*) adalah tegangan geser pada permukaan beton, tempat terjadinya transfer beban antara baja tulangan dan beton di sekelilingnya sehingga memodifikasi tegangan baja tulangan. Lekatan ini disalurkan secara efektif, dan memungkinkan dua buah material membentuk sebuah struktur komposit, seperti tampak pada gambar 3 yang menggambarkan perilaku lekatan sepanjang tulangan.



Gambar 3 Pengukuran dan Lekatan Lentur Tulangan Tarik (Sumber: Park & Paulay, 1975)

Sehingga dari penjelasan diatas, Park dan Paulay menyimpulkan bahwa untuk menghitung nilai tegangan lekat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta T = A_b f_y = f_b \cdot \pi \cdot d_b \cdot l_d$$

$$l_d = \frac{d_b \cdot f_y}{4 f_b}$$

atau $f_b = \frac{d_b \cdot f_y}{4 l_d}$ (1)

- dimana : T = gaya tarik (MPa)
 f_b = tegangan lekat (MPa)
 l_d = panjang penyaluran (mm)
 f_y = tegangan leleh baja (MPa)
 d_b = diameter tulangan baja (mm)

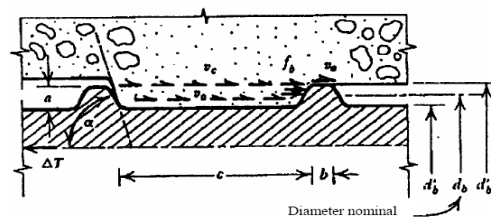
Tegangan lekat antara batang tulangan ulir dan beton akan terjadi pada dua tonjolan ulir. Baja ulir dapat meningkatkan kapasitas lekatan karena penguncian dua ulir dan beton disekelilingnya. Gaya tarik yang ditahan oleh tulangan dipindahkan ke beton melalui tonjolan (Nawy, 1990). Tegangan lekat yang terjadi diantara dua ulir adalah gabungan dari tegangan lekat permukaan dan tegangan lekat yang dihasilkan dari adhesi di sepanjang baja tulangan (Gambar 4).

Tegangan lekatan yang dihasilkan dari adhesi disepanjang permukaan baja tulangan sangat kecil dibandingkan dengan tegangan lekat permukaan yang mengelilingi ulir, sehingga v_a dapat diabaikan. Hubungan antara f_b dan v_c adalah:

$$\Delta T = \pi \cdot d_b \cdot a \cdot f_b \approx \pi \cdot d_b \cdot c \cdot v_c$$
 (2)

$$v_c \approx \frac{a}{c} f_b$$
 (3)

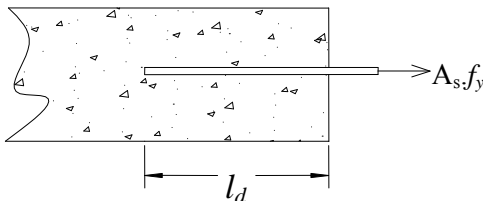
- dimana : ΔT = gaya tarik (MPa)
 a = jarak antara puncak ulir dengan tulangan
 b = lebar puncak ulir
 c = jarak antar ulir
 f_b = tegangan lekat permukaan (MPa)
 v_a = tegangan lekat sepanjang permukaan baja (MPa)
 f_s = tegangan lekat tulangan ulir dengan beton (MPa)
 d_b = diameter tulangan baja (mm)



Gambar 4 Distribusi Tegangan pada Tulangan Ulir (Sumber: Park & Paulay, 1975)

Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran (l_d) adalah panjang tulangan yang tertanam di dalam beton yang menjamin tulangan tertarik tepat saat tegangan elastis, mencapai tegangan leleh (f_y) dan saat tegangan putus (f_u). Adapun model penanaman tulangan dalam beton tampak seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Panjang Tulangan (l_d) yang Tertanam dalam Beton

Park dan Paulay (1975), mengemukakan bahwa untuk menghitung besar panjang tulangan yang tertanam dalam beton diperlukan adanya nilai tegangan lekat (f_b). Hal ini memperlihatkan adanya hubungan yang erat antara tegangan lekat dengan panjang tulangan yang tertanam dalam beton, seperti tertulis dalam pers. (1).

SNI 03-2847-2002 pasal 14.2, memberikan rumus mengenai panjang penyaluran yang diperlukan pada tulangan yang mengalami tarik sebagai berikut :

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \chi}{25 \cdot \sqrt{f'c}}$$

Dimana : l_d = panjang penyaluran (mm)
 d_p = diameter nominal tulangan (mm)
 f_y = tegangan leleh baja (MPa)
 $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
 α = faktor lokasi penulangan
 β = faktor pelapis
 χ = faktor agregat beton

Hasil pengujian l_d dari penelitian bisa dibandingkan terhadap persamaan empiris (pers. 1 dan pers. 4), hal ini untuk mengetahui apakah pers. 1 dan pers. 4 sesuai jika diterapkan pada panjang penyaluran tulangan ulir pada beton yang sudah keras menggunakan perekat Sikadur[®] CF 31 Normal.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan benda uji dimulai dengan membuat campuran beton dengan kuat tekan rencana $f'c$ 25 MPa. Pada proses pengadukan dilakukan di *batching plan* Adhimix Lenteng Agung.

Untuk mengetahui kuat tekan beton dibuat benda uji silinder dengan diameter 150 mm, tinggi 300 mm masing-masing sebanyak 5 buah untuk beton normal. Untuk keperluan penelitian kuat lekat dibuat benda uji silinder beton dengan diameter 150 mm, tinggi 300 mm, dibagian tengah ditanam baja tulangan ulir diameter 10 dengan cara di cor monolit untuk kedalaman 100 mm sebanyak 3 buah dan untuk kedalaman 200 mm sebanyak 3 buah. Sedangkan silinder yang dibagian tengah ditanam baja tulangan dengan cara melubangi beton setelah beton berumur 28 hari dengan kedalaman dan variasi diameter lubang yang telah ditentukan dibutuhkan sebanyak 12 buah, seperti terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Benda Uji Beton Silinder yang akan dilubangi



Gambar 7 Benda Uji Beton Silinder yang Dicor secara Monolit

Setelah 2 hari cetakan beton dibuka dan beton di *curing* dengan cara direndam sampai berumur 28 hari, setelah berumur 28 hari dilakukan pengeboran dan pemasangan tulangan dengan perekat *epoxy* terhadap 12 silinder yang telah direncanakan, dengan perincian sebagai berikut:

- Diameter 10 mm ditanam pada silinder beton sedalam 100 mm, dengan tebal *epoxy* 3 mm sebanyak 3 buah.
- Diameter 10 mm ditanam pada silinder beton sedalam 100 mm, dengan tebal *epoxy* 2 mm sebanyak 3 buah.
- Diameter 10 mm ditanam pada silinder beton sedalam 200 mm, dengan tebal *epoxy* 1 mm sebanyak 3 buah.
- Diameter 10 mm ditanam pada silinder beton sedalam 100 mm, dengan tebal *epoxy* 2 mm sebanyak 3 buah.

Proses selanjutnya adalah dengan melakukan pengeboran beton silinder sesuai dengan spesifikasi di atas, dilakukan dengan menggunakan mesin bor tipe *table*, mesin ini dipilih karena dapat menghasilkan lubang yang tegak lurus dan menghemat tenaga. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8 Proses Pengeboran Benda Uji dengan Menggunakan Mesin Bor Tipe *Table*

Setelah itu Sikadur[®] 31 CF Normal disiapkan, yaitu dengan cara mencampurkan pasta di kaleng A dan di pasta di kaleng B dengan Perbandingan 0.8 kg pasta kaleng A dan 0.4 kg pasta di kaleng B seperti terlihat pada Gambar 9



Gambar 9 Sikadur[®] 31 CF Normal yang Siap untuk Dicampurkan

Setelah Sikadur[®] 31 CF Normal siap, lalu dimasukan kedalam lubang-lubang beton silinder setelah itu baja tulangan dimasukan kedalam lubang beton silinder yang telah diisi oleh Sikadur[®] 31 CF Normal, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Silinder Beton yang Ditanam Tulangan dengan Dilapisi Sikadur[®] 31 CF Normal

Pengujian Kuat Tarik Baja

Pelaksanaan pengujian kuat tarik tulangan baja menggunakan standard ASTM E8-96. Pengujian mutu baja tulangan panjangnya 600 mm, sebanyak 6 buah. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* (UTM), seperti seperti dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11 Alat UTM untuk Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian baja tulangan digunakan untuk mengetahui tegangan leleh, tegangan maksimum baja tulangan sehingga nilai kuat tarik baja dan mutu bajanya dapat diketahui. Nilai mutu baja yang akan digunakan adalah rata-rata hasil pengujian per benda uji.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard ASTM C239-86 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinder Concrete Speciment*). Alat uji tekan yang digunakan adalah *Compressive Machine Testing (CMT)*. Pengujian tekan beton dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder berukuran 150×300 mm sebanyak 5 buah, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton sebenarnya, hasil yang dipakai adalah rata-rata hasil kuat tekan dari 5 buah benda uji tersebut. Gambar 12 menerangkan *setup* alat pengujian kuat tekan beton.



Gambar 12 *Setup* Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian Bond Pull Out

Pengujian *pull out* mengacu pada ASTM 234-91a, alat uji yang dipakai adalah *Universal Testing Machine (UTM)*. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kuat lekat pada benda uji. Pelaksanaan pengujian setelah benda uji mencapai umur 28 hari. Adapun benda uji yang akan digunakan seperti dalam Tabel 1

Tabel 1 Rancangan Benda Uji *Bond Pull Out*

Kode Benda Uji	Panjang Penyaluran (mm)	Tebal Epoksi (3mm)	Jumlah
1A - 3A	100 mm	3 mm	3
1B - 3B	100 mm	2 mm	3
1C - 3C	200 mm	2 mm	3
1D - 3D	200 mm	1 mm	3
1E - 3E	100 mm	monolit	3
1F - 3F	200 mm	monolit	3

Pengujian kuat lekat (*bond 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. Langkah-langkah pengujian ini dimulai dengan meletakkan silinder pada mesin UTM dan kemudian baja diklem, lalu dipasang *dial gauge* dibawah bagian mesin yang menarik baja, seperti dijelaskan pada Gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12 *Setup* Mesin dan Benda Uji Pengujian *Bond Pull Out*

Panjang tulangan diantara dua penjepit diukur dan setelah itu beban tarik dijalankan, setiap beban tarik mencapai kelipatan 250 kg maka *data logger* di tekan untuk mendapatkan nilai regangannya, lakukan hingga mencapai tulangan mencapai leleh lalu baca dan catat nilai beban tarik (P) dan panjang pelolosan. Proses ini dijelaskan pada Gambar 13.



Gambar 13 Proses Penggunaan *Data Logger* untuk Mendapatkan Regangan Beton dan Baja Tulangan pada Pengujian *Bond Pull Out*

HASIL & PEMBAHASAN

Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk memperoleh beban maksimum yang mampu didukung oleh silinder beton yang dilakukan saat beton berumur 28 hari. Hasil

pengujian kuat tekan beton selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 2

Dari tabel 2 di atas terlihat adanya variasi kuat tekan beton berkisar pada 180.609 kg/cm² sampai dengan 313.659 kg/cm². Setelah seluruh nilai kuat tekan dirata-rata, maka didapatkan hasil sebesar 234.508 kg/cm² atau setara dengan 23.4508 MPa. Nilai yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan yang direncanakan sebelumnya 25 MPa. Namun, hasil tersebut masih termasuk dalam katagori beton normal, yaitu 16 – 30 MPa.

Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan baja pada saat mengalami kondisi leleh, nilai tegangan baja pada saat kondisi maksimum, dan untuk mengetahui modulus elastis dari baja tersebut. Pengujian ini dilakukandengan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Hasil pengujian kuat tarik baja selengkapnya dapat di lihat dalam Tabel 3.

$$E = 182445,685 \text{ MPa}$$

Dari tabel 3 di atas terlihat adanya variasi kuat tarik baja berkisar pada 342.09 N/mm² sampai dengan 356.37 N/mm². Istimawan Dipohusodo dalam bukunya Struktur Beton Bertulang mengatakan modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan di daerah elastis dimana antara mutu baja yang satu dengan yang lainnya tidak banyak bervariasi. SK SNI T-15-1991-03 menetapkan angka modulus elastis untuk baja tulangan adalah 200.000 MPa.

Pengujian Kuat Lekat Baja Tulangan

Sebagai Contoh Perhitungan diambil Pengujian Kuat Lekat Baja Tulangan Ulir Diameter 10 mm dengan Beton Menggunakan Zat Perekat Sikadur® 31 CF Normal dengan Ketebalan 1 mm dengan panjang penanaman 200 mm.

Salah satu data benda uji adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= 1,1 \text{ mm} \\ c &= 7,9 \text{ mm} \\ d'b &= 8,3 \text{ mm} \\ d''b &= 10,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka:

$$\pi \frac{d''b^2 - d'b^2}{4} \approx \pi \cdot db \cdot a$$

$$\pi \frac{10.5^2 - 8.3^2}{4} \approx \pi \cdot db \cdot 1.1$$

Diameter nominal (db) = 9,4 mm
 Luas tampang baja (A) = 69,3977231 mm²
 Panjang penanaman (Ld) = 200 mm
 Jarak penjepitan (Lo) = 100 mm
 Modulus elastis (E) = 182445.685 MPa
 Dari pengujian *pull out* diperoleh data seperti terlihat pada tabel 4.

P leleh = 26000 N

$$fb \text{ leleh} = \frac{26000}{\pi \cdot 9.4 \cdot 1.1} = 800.392 \text{ MPa}$$

$$vc \text{ leleh} = \frac{1.1}{7.9} 800.392 = 106.0761 \text{ MPa}$$

Hubungan Panjang Penyaluran Terhadap Tegangan Lekat

Panjang penyaluran adalah panjang yang diperlukan untuk mengembangkan tegangan baja hingga mencapai tegangan luluh, merupakan fungsi dari tegangan leleh, diameter, dan tegangan lekat baja tulangan dengan beton. Panjang penyaluran menentukan tahanan terhadap tergelincirnya tulangan dari ikatan dengan beton. Agar batang dapat menyalurkan gaya sepenuhnya melalui ikatan, maka baja harus tertanam di dalam beton hingga suatu kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan panjang penyaluran. Sehingga dalam perencanaan panjang penyaluran di gunakan tegangan lekat saat baja tulangan mencapai luluh. Sedangkan tegangan lekat bervariasi saat baja tulangan mencapai luluh dengan diameter yang sama. Ini disebabkan oleh luas bidang kontak baja tulangan dengan beton juga bervariasi, sedangkan gaya yang di butuhkan untuk mencapai baja tulangan hingga luluh relatif sama untuk setiap baja tulangan dengan diameter dan mutu yang sama. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya tebal *epoxy* 1 mm panjang 200 mm.

$$ld = \frac{db \cdot fy}{4 fb}$$

$$ld = \frac{9,4 \times 349,325}{4 \times 4,835}$$

$$ld = 169,7856 \text{ mm (Park Pauli)}$$

$$ld = \frac{18 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \chi \cdot db}{25 \cdot \sqrt{f'c}}$$

$$ld = \frac{18 \cdot 349,325 \cdot 1,1 \cdot 2,1 \cdot 9,4}{25 \cdot \sqrt{20,299}}$$

$$ld = 585.85722 \text{ mm (SNI 03-2847-2002)}$$

Berdasarkan nilai yang diberikan pada Tabel 5. dapat dilihat bahwa panjang penyaluran hasil pengujian baja tulangan yang direkatkan dengan beton menggunakan zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal menghasilkan panjang penyaluran yang relatif sama dengan baja tulangan yang dibuat secara monolit. Ini menunjukkan bahwa tegangan lekat yang dihasilkan metode pelaksanaan perbaikan struktur dengan cara pemberian Sikadur[®] 31 CF Normal sama baiknya dengan tegangan lekat yang dihasilkan oleh baja tulangan yang dicor langsung bersamaan dengan betonnya. Sedangkan jika dibandingkan dengan SNI 03-2847-2002 pasal 14.2 dapat dilihat bahwa nilai yang disyaratkan lebih besar 3 kali hingga 6 kali jika dibandingkan dengan hasil pengujian. Ini berarti SNI 03-2847- 2002 memberikan nilai + 4 kali sebagai nilai faktor keamanan. Nilai faktor keamanan tersebut dalam rangka untuk memperhitungkan kelembaban udara dan kemungkinan terdapatnya udara yang terperangkap di bawah tulangan, yang mempengaruhi kekuatan (daya) lekat sehingga memungkinkan terjadinya penggelinciran sewaktu menahan beban yang tidak begitu besar.

Berdasarkan hasil uji bond pull out didapatkan nilai sesar beton yang digunakan untuk mencari tegangan lekat. Tegangan lekat yang didapatkan dari perhitungan merupakan tegangan lekat yang terjadi diantara dua ulir. Tegangan lekat yang

sebenarnya adalah tegangan lekat yang terjadi disepanjang baja tulangan yang tertanam atau yang terselimiti oleh beton. Ini didapatkan dengan cara membagi tegangan lekat yang terjadi diantara dua ulir dengan hasil pembagian antara panjang tulangan yang tertanam dalam beton dengan jarak antar puncak ulir. Untuk mencari panjang penyaluran, tegangan lekat yang dipakai adalah tegangan lekat ketika baja leleh, maka dari itu tidak semua variabel dapat dihitung panjang penyalurannya, karena tidak semua variabel mencapai kondisi leleh. Ketebalan epoxy 2 mm dengan penanaman baja tulangan sedalam 100 mm menghasilkan tegangan lekat dengan nilai 8,412 MPa dan panjang penyaluran 97,586 mm, lalu untuk ketebalan epoxy 1 mm dengan penanaman baja tulangan 200 mm menghasilkan tegangan lekat sebesar 4,512 MPa dengan panjang penyaluran 182,860 mm, untuk benda uji yang dicor secara monolit yang dapat dihitung adalah penanaman baja tulangan 200 mm yang menghasilkan tegangan lekat sebesar 4,07 MPa dengan panjang penyaluran 206,596 mm. Ketebalan epoxy 3 mm tidak dapat dihitung dan dianalisis panjang penyalurannya tidak mencapai kondisi leleh, ini disebabkan sebelum mencapai kondisi leleh tulangan sudah terlepas karena beton hancur. Ketebalan epoxy berbanding lurus dengan mutu beton, maka semakin tebal epoxy seharusnya semakin tinggi mutu betonnya, maka dalam penentuan ketebalan epoxy harus mempertimbangkan mutu beton yang digunakan.

Berdasarkan nilai panjang penyaluran dari berbagai variabel diatas yang dihitung menggunakan rumus Park & Paulay dibandingkan dengan rumus dari SNI 03-2847-2002 pasal 14.2 maka panjang penyaluran untuk tebal epoxy 2 mm dengan penanaman baja tulangan 100 mm didapatkan panjang penyaluran secara pengujian sebesar 97,586 mm, lalu dibandingkan dengan panjang penyaluran SNI 03-2847-2002 sebesar 629,707 mm

dengan perbandingan 2:13. Untuk tebal epoxy 1 mm dengan penanaman baja tulangan 200 mm didapatkan panjang penyaluran secara pengujian sebesar 182,86 mm, lalu dibandingkan dengan panjang penyaluran SNI 03-2847-2002 sebesar 629,707 mm dengan perbandingan 2:7. Untuk penanaman baja tulangan 100 mm secara monolit didapatkan panjang penyaluran secara pengujian sebesar 206,596 mm, lalu dibandingkan dengan panjang penyaluran SNI 03-2847-2002 sebesar 524,756 mm dengan perbandingan 2:5.

Pola Kerusakan

Setelah pengujian *bond pull out* dilakukan, dilakukan pengamatan terhadap kerusakan yang terjadi pada benda uji.

Berikut akan disajikan bentuk-bentuk kerusakan dari berbagai variasi diameter baja tulangan dan panjang penyaluran dalam Tabel 6.

Tabel 6 Pola Kerusakan dalam Pengujian

Tipe	Panjang Penyaluran, Ld (mm)	Pola Kerusakan	Keterangan Baja	Keterangan Beton
Monolit	100	Baja Tulangan	Lepas	Retak
	100	Baja Tulangan	Lepas	Retak
	100	Baja Tulangan	Lepas	Retak
	200	Baja Tulangan	Putus	Utuh
	200	Baja Tulangan	Putus	Utuh
	200	Baja Tulangan	Putus	Utuh
Tebal Epoxy 3 mm	100	Beton	Lepas	Hancur
	100	Beton	Lepas	Hancur
	100	Beton	Lepas	Hancur
Tebal Epoxy 2 mm	100	Baja Tulangan	Lepas	Hancur di permukaan lubang
	100	Baja Tulangan	Lepas	Hancur di permukaan lubang
	100	Baja Tulangan	Lepas	Hancur di permukaan lubang
	200	Baja Tulangan	Lepas	Hancur di permukaan lubang
	200	Baja Tulangan	Lepas	Hancur di permukaan lubang
	200	Baja Tulangan	Lepas	Hancur di permukaan lubang
Tebal Epoxy 1 mm	200	Baja Tulangan	Lepas	Retak
	200	Baja Tulangan	Lepas	Retak
	200	Baja Tulangan	Lepas	Retak

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa pola kerusakan yang terjadi pada baja tulangan ulir diameter 10 mm yang dicor monolit sedalam 100 mm dan baja tulangan ulir diameter 10 mm yang ditanam sedalam 200 mm dan dilapisi *epoxy* dengan tebal 1 mm sama yaitu dengan pola kerusakan lekatan pada baja tulangan dan baja tulangan tidak putus, sedangkan keadaan beton setelah pengujian *bond pull out*, retak dan belum sampai hancur seperti dijelaskan pada Gambar 15



Gambar 15 Retakan yang terjadi pada beton monolit dengan penanaman tulangan 100 mm

Dari Tabel 6 juga dapat dilihat bahwa pola kerusakan yang terjadi pada baja tulangan ulir diameter 10 mm yang dicor monolit sedalam 200 mm sama seperti kerusakan benda uji yang sudah dijelaskan di atas yaitu pola kerusakan lekatan pada baja tulangan tetapi yang membedakannya baja tulangan putus dan keadaan beton setelah pengujian *bond pull out* utuh seperti dijelaskan pada Gambar 16.



Gambar 16 Baja Putus setelah Uji *Bond Pull Out* dan masih Tertanam pada Beton Silinder

Pada benda uji beton silinder yang ditanam baja tulangan ulir diameter 10 mm sedalam 100 mm dan 200 mm dan dilapisi *epoxy* dengan tebal 2 mm terjadi kegagalan lekatan pada baja tulangan dan baja tulangan tidak putus, sedangkan keadaan beton setelah pengujian *bond pull out*, hancur dibagian permukaan lubangnya seperti dijelaskan pada Gambar 17.



Gambar 17 Permukaan Lubang Hancur setelah Pengujian *Bond Pull Out* Dilakukan

Benda uji yang dilapisi *epoxy* setebal 3 mm dengan penanaman baja tulangan diameter 10 merupakan satu-satunya benda uji yang mengalami kerusakan beton, ini mungkin dikarenakan mutu beton kurang tinggi yang mengakibatkan ketika baja tulangan dan belum mencapai leleh, beton tersebut sudah hancur karena tidak kuat menahan daya lekat dari *epoxy*, ini terlihat dari *epoxy* yang masih utuh menempel pada baja tulangan ketika sudah terlepas dari beton silinder seperti dijelaskan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Beton Silinder Hancur Setelah Pengujian *Bond Pull Out*



Gambar 11 *Epoxy* masih Menempel Ketika Baja Tulangan sudah Terlepas dari Beton Silinder

Dilihat dari pola kerusakannya, jenis kerusakan beton mengakibatkan terlepasnya baja tulangan beserta *epoxy* dari beton akibat pengujian *bond pull out*, karena beban yang diperlukan untuk melepaskan baja tulangan dengan *epoxy* memerlukan beban yang lebih besar dari pada beban untuk melepaskan *epoxy* dengan beton. Ini menunjukkan bahwa zat perekat Sikadur[®] 31 CF Normal memiliki kuat lekat yang lebih besar terhadap tulangan dari pada lekatannya terhadap beton.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapakesimpulan sebagai berikut :

- Pada ketebalan *epoxy* 2 mm dengan panjang penanaman tulangan 100 mm didapatkan perbandingan panjang penyaluran pengujian dengan panjang penyaluran SNI 03-2847-2002 yaitu 2:13. Ketebalan 1 mm dengan penanaman 200 mm didapatkan perbandingan 2:7, sedangkan penanaman secara monolit didapatkan perbandingan 2:5.
- Tebal penggunaan Sikadur[®] 31 CF Normal ternyata mempengaruhi dalam pola kerusakan pada beton dan baja tulangan. Bila penanaman baja tulangan terlalu pendek maka diperlukan *epoxy* yang lebih tebal, penanaman tulangan 100 mm dengan ketebalan *epoxy* 3 mm. Bila penanaman lebih panjang dibutuhkan *epoxy* yang lebih tipis, penanaman tulangan 200 mm dengan ketebalan *epoxy* 1 mm. Berdasarkan pola kerusakan yang

terjadi, ketebalan *epoxy* harus mempertimbangkan mutu beton yang digunakan agar tidak terjadi kehancuran pada beton.

- Ada beberapa benda uji yang tidak dapat dihitung tegangan lekat yang terjadi, sebab beberapa benda uji tidak mencapai kondisi leleh. Tegangan lekat pada ketebalan *epoxy* 2 mm dengan panjang penanaman 100 mm sebesar 8,41 MPa, ketebalan *epoxy* 1 mm dengan panjang penanaman 200 mm sebesar 4,51 MPa, monolit dengan panjang penanaman 200 mm sebesar 4,07 MPa.

SARAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, ada beberapa saran yang diharapkan mampu melengkapi penelitian lebih lanjut, antra lain:

- Penelitian lebih lanjut mengenai lekatan beton dan baja tulangan dengan zat perekat perlu dilakukan dengan variasi mutu beton dan diameter tulangan.
- Pencampuran dua bagian bahan penyusun dilakukan dengan benar, yaitu sesuai dengan perbandingan campuran dan pengadukan hingga merata.
- Penggunaan tebal *epoxy* yang akan digunakan harus menyesuaikan mutu beton yang ada.
- Untuk menghindari kehancuran pada benda uji beton harus diperhitungkan ukuran benda uji beton agar dapat menahan sebaran gaya yang terjadi akibat gaya tarik pada pajang penanaman tertentu.

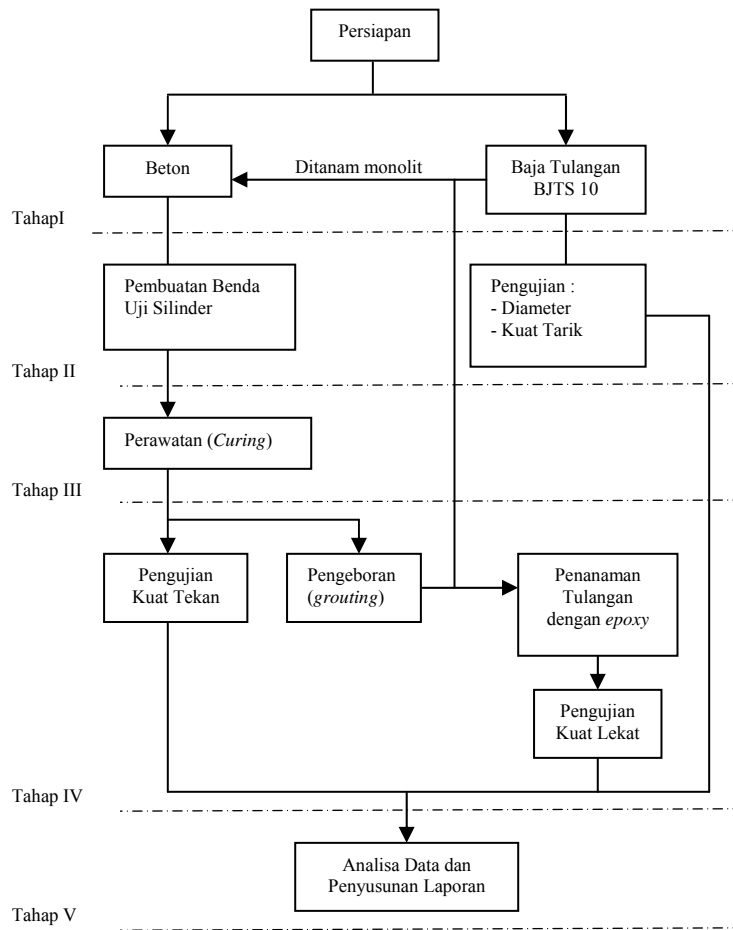
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nawy,E.G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Eresco.
- [2] Park, R. And Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Strucures*. New York: Jhon Wiley and Sons, Inc.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI-03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur beton Untuk*

- Bangunan Gedung.* Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Badan Standardisasi Nasional, 2002, *SNI-07-2052-2002 Baja Tulangan Beton.* Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- [4] Arfian Nurdhiansyah, Muhammad. 2008. *Tugas Akhir S1: Tinjauan Tegangan Lekat Baja Tulangan Ulir (Deformed) dengan Berbagai Variasi Diameter dan Panjang Penyaluran pada Beton.* Yogyakarta: FTSP-UII.
- [5] Emillianto, Riki. 2008. *Tugas Akhir S1: Tinjauan Tegangan Lekat Baja Tulangan Ulir dengan Berbagai Variasi Diameter dan Panjang Penyaluran dengan Bahan Perikat Sikadur® 31 CF Normal Terhadap Beton Normal.* Yogyakarta: FTSP-UII.
- [6] Suluhito, Suselo. 2010. *Laporan Praktikum Laboratorium Teknik Material 1 Modul A Uji Tarik.* Bandung: FT-ITB.
- [7] Setiaji, Rahmawan. 2008. *Laporan Awal Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian tarik.* Depok: FT-UI.
- [8] Adhimix Plant Cibitung. 2008. *Test Cabut Ulir D10.* From: <http://sasonov.wordpress.com/2008/03/04/tes-cabut-besi-ulir-d10/>, 19 Mei 2010.
- [9]

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Kode	Umur (hari)	Ukuran (cm)		Luas (cm ²)	Berat (kg)	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm ²)		f'c (Mpa)
			Ø	h				Masing-2	Rata-rata	
1	TK1	28	5	30	176,715	12,359	35600	201,557		
2	TK2	28	5	30	176,715	12,348	47100	266,667		
3	TK3	28	5	30	176,715	12,373	37100	210,050	234,508	23,4508
4	TK4	28	5	30	176,715	12,374	31900	180,609		
5	TK5	28	5	30	176,715	12,300	55400	313,659		



Gambar 14 Diagram Alir Tahap Penelitian

Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

NO	KODE	Ukuran (mm)			Berat (gram)	Diameter Str' (mm)	A Bidang Tarik (mm ²)	Beban (N)		Kuat Tarik (N/mm ²)	
		Panjang Total (mm)	Panjang bid. tarik (mm)	Ø				Leleh (Py)	Putus (Pu)	Leleh (σy□)	Putus (σu□)
1	PG.1	605	265	10	340,6	9,56	71,729	25200	37200	351,32	518,62
2	PG.2	605	265	10	341,1	9,57	71,835	25600	37600	356,37	523,42
3	PG.3	605	265	10	339,0	9,54	71,393	25300	37400	354,38	523,86
4	PG.4	700	190	10	398,2	9,61	72,479	24794	36750	342,09	507,04
5	PG.5	700	190	10	400,9	9,64	72,970	24990	37534	342,47	514,37

Tabel 4 Sesar Beton Dengan Baja Tulangan Ulir D=10 mm Ld = 200 mm menggunakan Sikadur® 31 CF Normal dengan Ketebalan 1 mm

Panjang Penanaman (mm)	Diameter (mm)	Tebal Epoxy (mm)	Panjang Penyaluran, ld (mm)			Perbandingan ld pengujian dan SNI
			Pengujian Pull Out	SNI 2002	Syarat Minimum	
100	10	2	102.216	585.85	300	2 : 13
			813	772		
200	10	10	205.219	585.85	300	2 : 7
			9092	772		
200	10	(Monoliti)	211.336	488.21	300	2 : 5
			2673	476		

Tabel 5 Perbandingan Panjang Penyaluran Eksperimen dengan SNI 03-2847-2002

P (kg)	P (N)	Δ (mm)	Δ_s (mm)	$\Delta_c = \Delta - \Delta_s$ (mm)
0	0	0	0	0
250	2500	0,030	0,0197451676	0,0102548324
500	5000	0,078	0,0394903351	0,0385096649
750	7500	0,112	0,0592355027	0,0527644973
1000	10000	0,146	0,0789806703	0,0670193297
1250	12500	0,174	0,0987258378	0,0752741622
1500	15000	0,204	0,1184710054	0,0855289946
1750	17500	0,228	0,1382161730	0,0897838270
2000	20000	0,254	0,1579613405	0,0960386595
2250	22500	0,284	0,1777065081	0,1062934919
2500	25000	0,318	0,1974516757	0,1205483243
2600	26000	0,719	0,2053497427	0,5136502573
2750	27500	1,322	0,2171968432	1,1048031568
3000	30000	2,042	0,2369420108	1,8050579892
3250	32500	2,702	0,2566871784	2,4453128216
3500	35000	3,838	0,2764323459	3,5615676541
3640	36400	5,526	0,2874896398	5,2385103602