



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGHUBUNG GESER SPIRAL DENGAN
VARIASI PADA DIAMETER SPIRAL MENGGUNAKAN METODE
*PUSH OUT TEST***

SKRIPSI

Rr. EVA WISNA AGUSTIN

0806329584

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITY OF INDONESIA

**EXPERIMENTAL STUDY OF SPIRAL SHEAR CONNECTOR WITH
VARIATION OF PITCH CIRCLE BY *PUSH OUT TEST***

THESIS

Rr. EVA WISNA AGUSTIN

0806329584

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JULY 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGHUBUNG GESER SPIRAL DENGAN
VARIASI PADA DIAMETER SPIRAL MENGGUNAKAN METODE
*PUSH OUT TEST***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Rr. EVA WISNA AGUSTIN

0806329584

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2012**

iii



UNIVERSITY OF INDONESIA

**EXPERIMENTAL STUDY OF SPIRAL SHEAR CONNECTOR WITH
VARIATION OF PITCH CIRCLE BY *PUSH OUT TEST***

THESIS

Proposed as one of the requirements to obtain a Bachelor's Degree

Rr. EVA WISNA AGUSTIN

0806329584

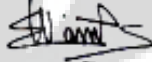
**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JULY 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

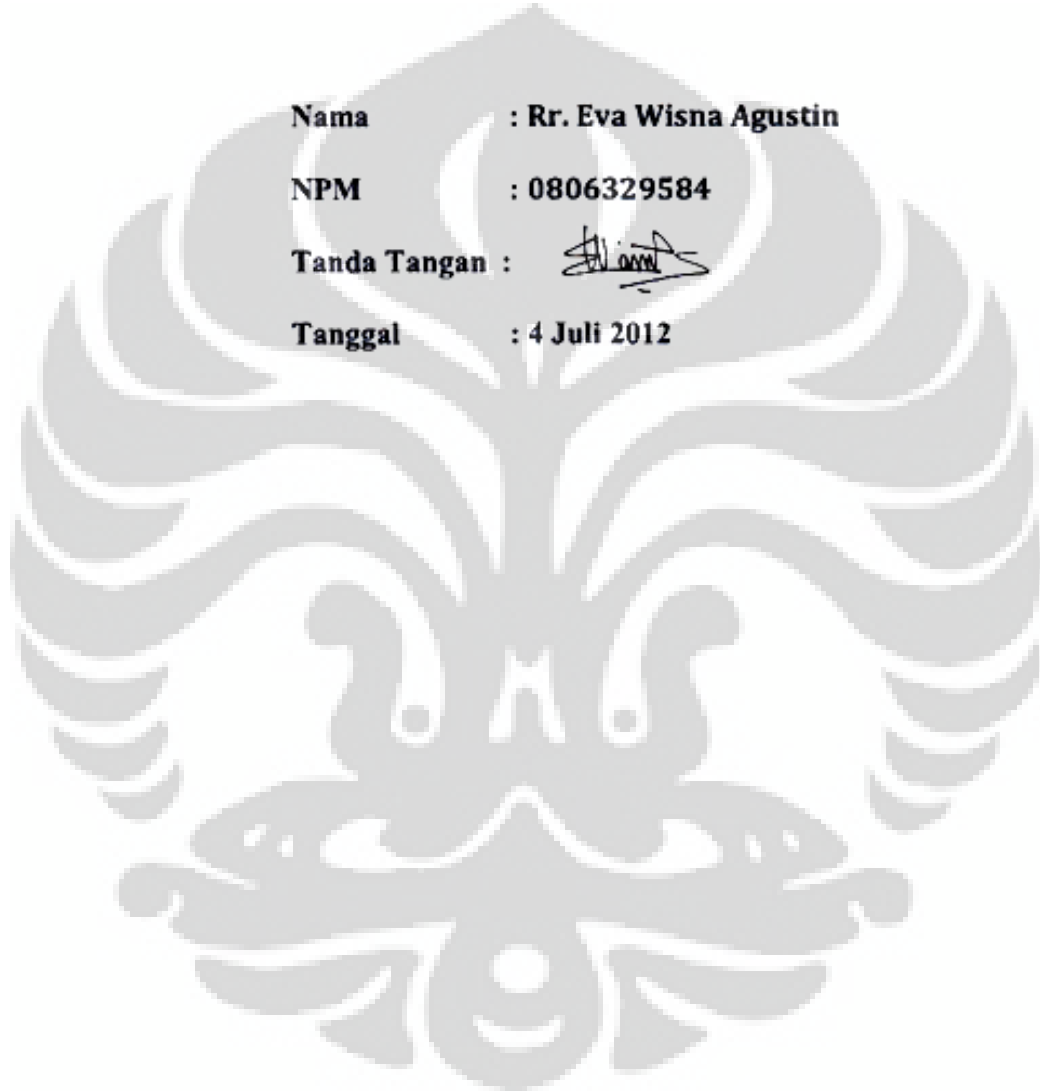
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rr. Eva Wisna Agustin

NPM : 0806329584

Tanda Tangan : 

Tanggal : 4 Juli 2012



STATEMENT OF ORIGINALITY

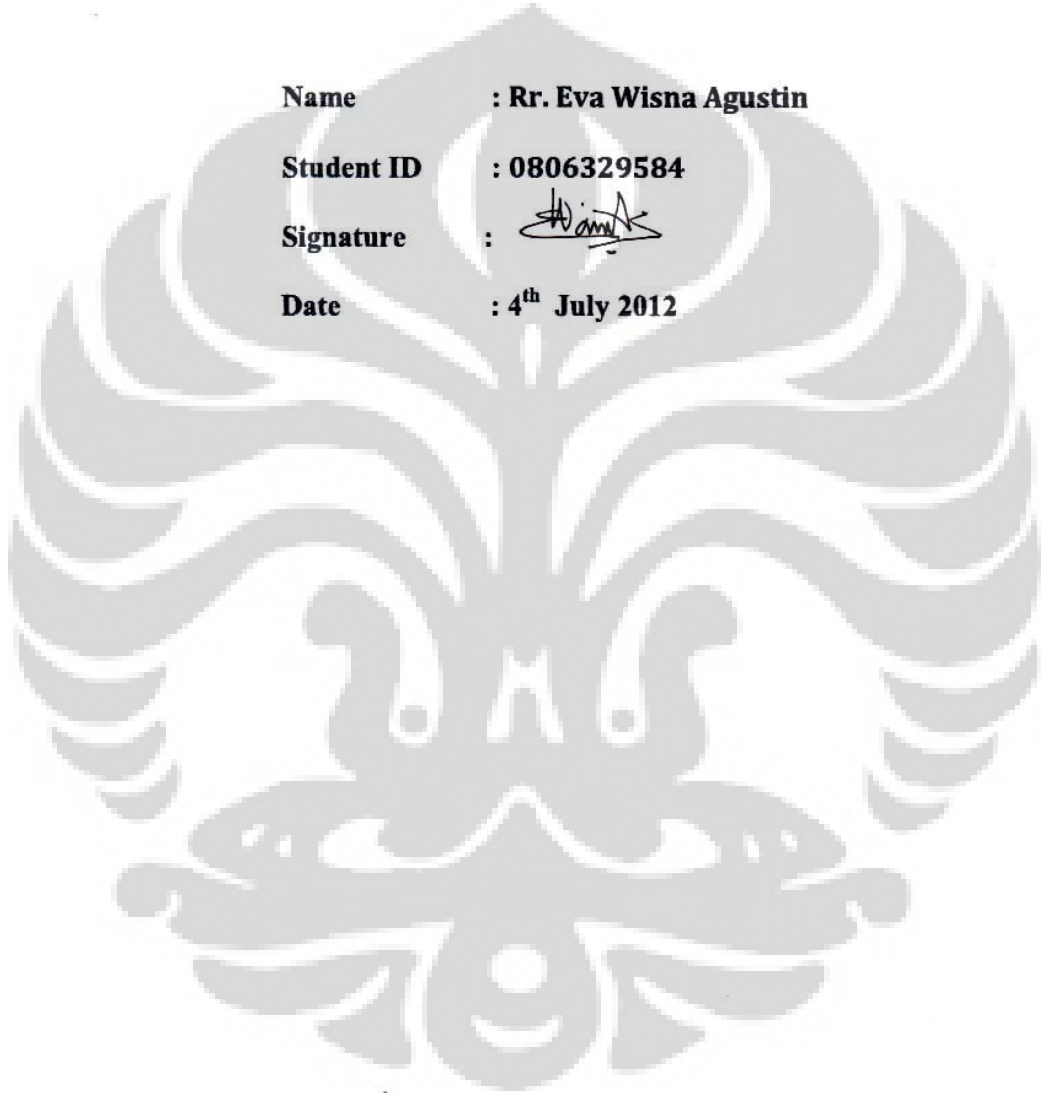
**This final report is the result of my own work,
And all the sources which is quoted or referred
I have stated correctly**

Name : Rr. Eva Wisna Agustin

Student ID : 0806329584

Signature : 

Date : 4th July 2012



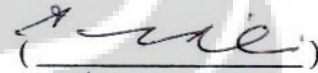
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rr. Eva Wisna Agustin
NPM : 0806329584
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Eksperimental Penghubung Geser Spiral
Dengan Variasi pada Diameter Spiral
Menggunakan Metode *Push Out Test*

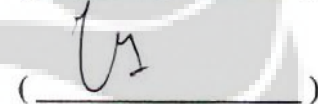
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng.

()

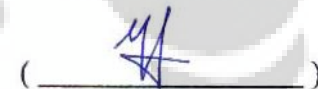
Pembimbing II: Mulia Orientalize, ST, M.Eng.

()

Penguji : Ir. Madsuri, MT

()

Penguji : Dr.-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah swt. , karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Eksperimental Penghubung Geser Spiral dengan Variasi pada Diameter Spiral Menggunakan Metode *Push Out Test*”. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia. Skripsi ini disusun dengan harapan dapat menjadi penambah wawasan bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pembaca skripsi ini pada umumnya.

Saya menyadari bahwa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, mulai dari masa bimbingan hingga pada proses pembuatan dan pengujian spesimen sangatlah berarti dalam proses penyelesaian skripsi ini Oleh karena itu, secara khusus saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng., selaku dosen pembimbing pertama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu dan mengarahkan saya dalam menyusun skripsi ini.
- 2) Mulia Orientilize, ST, M.Eng., selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu dan mengarahkan saya dalam menyusun skripsi ini.
- 3) Dr. Ir. Elly Tjahjono Sutiono, DEA sebagai Ketua Laboratorium Struktur dan Material serta Bapak Agus, Bapak Apri, Bapak Hanafi dkk. Yang telah membantu dalam proses pengujian spesimen.
- 4) Pihak BLKI Serpong dan BPPPPT Bandung yang telah membantu dalam proses pengelasan spesimen.
- 5) Kawan-kawan dari PT Adhimix Precast, Lenteng Agung yang telah membantu dalam pengecoran spesimen komposit beton.
- 6) Orang tua saya yang saya hormati Ir. Sat Wisnu Broto, MT dan Drh. Munayah, adik tersayang Alfin Septya Nugroho dan Novita Rizka Wardhani serta keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan, kasih sayang, semangat serta dukungan material dan moral yang sangat penuh.

- 7) Adi Janitra Suardian, ST. , sebagai seseorang yang spesial dalam hidup saya dan selalu membantu, mendampingi, memberikan dorongan serta semangat hingga skripsi ini terselesaikan.
- 8) Secara khusus temen-teman sekaligus sahabat-sahabat terbaik saya yang telah meluangkan waktu dan tenaga membantu dalam pengujian spesimen Kika Pranika, I Wayan Soasti Mantrayasa, Tiko Fajar S, Agus, Giwangkara R Perdana, Innani Silhouttatia, Santi Widayati, Triananda Pangestu G, Dwica Wulandari, Andre, Dahlia Yanuarti, Winny Laura CH, Teddy Adrian T, Hidayah, Yusak Moningka, Irvan Timotius, Amalia Adhani, Akbar Pratama, Rida Madya T, Budi Mulyanto, Maisarah Rizki, Reni Nuraeni, Tony Kusuma W, Asrovi Nur Ihsan, Ario Bintang K, Hilda Jusuf, Fius Buildhanadi (tanpa berurutan).
- 9) Kawan-kawan dari angkaran 2008 Teknik Sipil Universitas Indonesia sebagai teman seperjuangan hingga akhir.
- 10) Kawan seperjuangan *Fast tract* dan teman-teman S2.
- 11) Teman-teman sekaligus sahabat sepermainan di kost “Pondok Pinky” Aprilia Ramadhina, Evita Ratna, Nurma Susilowati, Ayu P Utami, Wike Devi Erianti, Tuska Wijaya, Indra Kusuma, dkk.
- 12) Teman-teman sekaligus sahabat sepermainan alumni SMAN 101 Rifki Yunanda, Febriana Fajarwati, Anggia Dini Pratiwi, Linda, Hayatin Nusyur, Erma Rosmala Dewi dll.
- 13) Dan teman-teman lain dari Aikido UI, Dansa UI, Alumni Teknik Sipil UI, Panitia Engineering Fair 2010, dll yang tidak dapat saya sebutkan lebih banyak dalam tulisan ini.

Akhir kata, saya berharap Allah swt. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga skripsi ini membawa manfaat bagi semua pihak. Amin

Depok, 4 Juli 2012

Penyusun

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rr. Eva Wisna Agustin

NPM : 0806329584

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Studi Eksperimental Penghubung Geser Spiral dengan Variasi pada Diameter
Spiral Menggunakan Metode *Push Out Test*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Rr. Eva Wisna Agustin)

ABSTRAK

Nama : Rr. Eva Wisna Agustin

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Eksperimental Penghubung Geser Spiral dengan Variasi pada Diameter Spiral Menggunakan Metode *Push Out Test*

Penghubung geser spiral adalah salah satu jenis penghubung geser yang digunakan dalam struktur komposit. Penghubung geser ini memiliki karakteristik yang unik karena bentuknya menyerupai sebuah pegas. Sehingga, besarnya diameter spiral dan *pitch spiral* merupakan parameter yang mempengaruhi kekuatannya. Sebuah studi eksperimental dilaksanakan untuk mempelajari karakteristik tersebut. Pengujian *push out* dilakukan dengan tiga sampel pada setiap diameter spiral 2,5; 3,0; 3,5; dan 4,0 inci. Hasil menunjukkan bahwa diameter spiral mempengaruhi kekakuan, kekuatan dan besarnya slip yang terjadi. Semakin besar diameter spiral, maka semakin kecil kekakuan dan slip yang terjadi. Hasil perhitungan kekuatan ultimit penghubung geser spiral ditemukan oleh Slutter dan Driscoll.

Kata kunci : Penghubung Geser Spiral, *Push Out Test*, Komposit

ABSTRACT

Name : Rr. Eva Wisna Agustin

Study Program: Civil Engineering

Title : Experimental Study of Spiral Shear Connector with Variation of Pitch Circle by *Push Out Test*

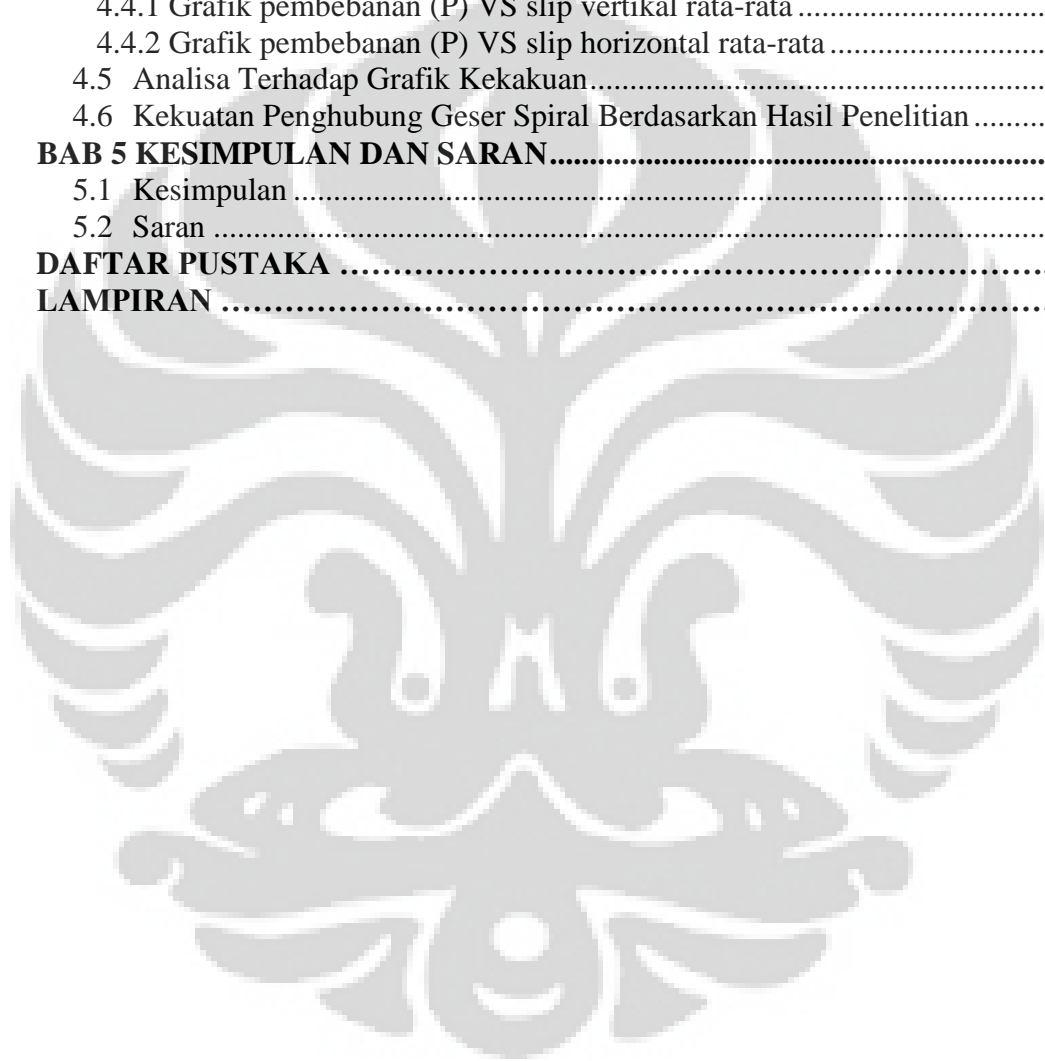
Spiral shear connector is one of shear connector used in composite structure. It has unique characteristic due to its shape which resembles a spring. Pitch circle diameter or spiral diameter and pitch spiral are parameters influence its strength. Experimental study was conducted to study its behaviour. Push out test of three different diameter of 2,5; 3,0; 3,5 and 4,0 inch were carried out. Result shows that diameter of spiral affects stiffness, strength and slips occurs. The larger of diameter increase strength of shear connector but decrease its rigidity and slip. Computing ultimate strength of experimental result spiral shear connector found by Slutter and Driscoll.

Keyword: Spiral Shear Connector, Push Out Test, Composite

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Hipotesa Penelitian	6
BAB 2 TUNJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Komposit Pelat Beton dan Balok Baja	7
2.2 Penghubung Geser	12
2.3 Kapasitas Penghubung Geser Spiral	17
2.4 <i>Uplift</i> dan Efek <i>Overriding</i>	18
2.5 <i>Push Out Test</i>	19
2.6 Kuat Rencana Balok Komposit	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
3.1 Gambaran Umum	24
3.2 Lokasi Penelitian	24
3.3 Diagram Alir Penelitian	25
3.4 Perancangan Spesimen Komposit	26
3.4.1 Balok baja	27
3.4.2 Pelat beton bertulang	27
3.4.3 Penghubung geser spiral	27
3.4.4 Lokasi <i>dial gauge</i>	29
3.5 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	29
3.6 Persiapan Penelitian	30
3.6.1 Bahan penelitian	30
3.6.2 Peralatan penelitian	33
3.7 Pembuatan Spesimen <i>Push Out Test</i>	34
3.8 Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	36
3.9 Pengujian Kuat Tekan Beton	37

3.10 Pengujian <i>push out</i>	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	40
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	40
4.3 Hasil Pengujian <i>Push Out Test</i>	42
4.3.1 Pengujian spesimen I dengan diameter bagian dalam spiral 2,5 inci ...	43
4.3.2 Pengujian spesimen II dengan diameter bagian dalam spiral 3,0 inci..	46
4.3.3 Pengujian spesimen III dengan diameter bagian dalam spiral 3,5 inci	50
4.3.4 Pengujian spesimen IV dengan diameter bagian dalam spiral 4,0 inci	53
4.4 Perbandingan Keempat Penghubung Geser Spiral	57
4.4.1 Grafik pembebanan (P) VS slip vertikal rata-rata	57
4.4.2 Grafik pembebanan (P) VS slip horizontal rata-rata	59
4.5 Analisa Terhadap Grafik Kekakuan.....	60
4.6 Kekuatan Penghubung Geser Spiral Berdasarkan Hasil Penelitian	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme dasar aksi komposit	8
Gambar 2.3 Struktur balok komposit dengan derajat penyambungan sempurna .	10
Gambar 2.4 Diagram regangan pada struktur balok komposit dengan derajat.....	10
Gambar 2.5 Diagram regangan balok komposit dengan derajat penyambungan sebagian.....	11
Gambar 2.6 Diagram regangan struktur balok nonkomposit.....	12
Gambar 2.7 Penghubung geser paku berkepala	13
Gambar 2.8 Penghubung geser kanal.....	13
Gambar 2.9 Grafik kekuatan dan slip pada penghubung geser lentur dan kaku...	14
Gambar 2.10 Contoh penghubung geser kaku	15
Gambar 2.11 Penghubung geser <i>anchor</i> dan <i>hoop</i>	15
Gambar 2.12 Penghubung geser <i>anchor</i> , <i>hoop</i> , dan spiral	16
Gambar 2.13 Penghubung geser komposit	16
Gambar 2.14 Lebar efektif balok komposit	20
Gambar 2.15 Kuat lentur nominal berdasarkan distribusi tegangan plastis.....	21
Gambar 3.2 Posisi <i>dial gauge</i>	29
Gambar 3.3 Pengujian kuat tarik baja tulangan	30
Gambar 3.4 Baja WF yang telah dipotong dan dilas	31
Gambar 3.5 Baja tulangan berbentuk spiral.....	32
Gambar 3.6 Bekisting spesimen <i>push out test</i>	33
Gambar 3.7 Potongan memanjang dan melintang spesimen <i>push out test</i>	35
Gambar 3.8 Spesimen yang telah dicor	36
Gambar 3.9 Spesimen dibungkus seluruh permukaannya dengan karung goni ...	37
Gambar 3.10 Spesimen dibungkus dengan plastik di bagian luar karung goni	37
Gambar 3.11 Pengujian kuat tekan beton	38
Gambar 3.12 Skema pembebanan <i>push out test</i>	39
Gambar 3.13 Pengujian spesimen <i>push out</i>	39
Gambar 4.1 Pengujian spesimen silinder beton	42
Gambar 4.2 Slip pada spesimen I.1, I.2, I.3 (dari kiri ke kanan)	43
Gambar 4.3 Slip horizontal spesimen II.1, II.2, II.3 (dari kiri ke kanan)	47
Gambar 4.4 Slip horizontal spesimen III.1, III.2, III.3 (dari kiri ke kanan)	50
Gambar 4.5 Slip horizontal spesimen IV.1, IV.2, IV.3 (dari kiri ke kanan).....	54
Gambar 4.6 Asumsi pergerakan slip horizontal spesimen akibat pembebanan....	60

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik kuat tekan beton silinder	41
Grafik 4.2 Slip vertikal spesimen I dengan diameter dalam spiral 2,5 inci	43
Grafik 4.3 Slip horizontal spesimen I dengan diameter dalam spiral 2,5 inci	44
Grafik 4.4 Kekakuan penghubung geser spiral pada spesimen I.....	45
Grafik 4.5 Slip vertikal Spesimen II dengan diameter dalam spiral 3,0 inci	46
Grafik 4.6 Slip horizontal spesimen II dengan diameter dalam spiral 3,0 inci.....	47
Grafik 4.7 Kekakuan penghubung geser spiral pada spesimen II.....	49
Grafik 4.8 Slip vertikal spesimen III dengan diameter dalam spiral 3,5 inci	50
Grafik 4.9 Slip horizontal spesimen III dengan diameter dalam spiral 3,5 inci ...	51
Grafik 4.10 Kekakuan penghubung geser spiral spesimen III.....	52
Grafik 4.11 Slip vertikal spesimen IV dengan diameter dalam spiral 4,0 inci	53
Grafik 4.12 Slip horizontal spesimen IV dengan diameter dalam spiral 4,0 inci .	54
Grafik 4.13 Kekakuan penghubung geser spiral spesimen VI.....	56
Grafik 4.14 Rata-rata slip seluruh spesimen	57
Grafik 4.15 Pola dasar grafik pengujian spesimen <i>push out</i>	58
Grafik 4.16 Slip horizontal spesimen <i>push out test</i>	59
Grafik 4.17 Persamaan empiris kekakuan penghubung geser spiral	61
Grafik 4.18 Pembebanan setiap spesimen pada slip sebesar 3 mm	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Dimensi penghubung geser spiral.....	5
Tabel 3.1 Rancangan dimensi penghubung geser spiral.....	28
Tabel 4.1 Hasil pengujian kuat tarik baja pembentuk spiral.....	40
Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan silinder beton.....	41
Tabel 4.3 Rata-rata kekakuan penghubung geser spiral	60
Tabel 4.4 Hasil pengujian penghubung geser spiral	62
Tabel 4.5 Besarnya pembebanan pada slip 3,0 mm.....	62



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan Awal Spesimen <i>Push Out test</i>	68
Lampiran 2. Sertifikat Kompetensi Pengelas, <i>Mix Design</i> dan Hasil Pengujian Material di Laboratorium	70
Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian <i>Push Out</i>	75



DAFTAR NOTASI

A_s = Luas penampang profil baja (mm^2)
 b_E = Lebar efektif pelat beton (mm)
 d_{sp} = Diameter baja tulangan pembentuk (mm)
 f'_c = Kuat tekan beton silinder pada umur 28 hari (psi, MPa)
 f_y = Tegangan leleh profil baja (psi, MPa)
 f_{yf} = Tegangan leleh flens profil baja (psi, MPa)
 h = Tinggi profil baja (mm)
 L = Panjang balok komposit (m)
 N_1 = Jumlah penghubung geser
 Q_a = Kapasitas ijin satu putaran dari penghubung geser spiral (lb, kg)
 Q_n = Kuat nominal satu penghubung geser (lb, kg)
 Q_u = Kapasitas ultimit satu putaran dari penghubung geser spiral (lb, kg)
 Q_{uc} = Kapasitas guna (*useful capacity*) satu putaran dari penghubung geser spiral (lb, kg)
 t_w = Tebal badan (web) penampang profil baja (mm)
 σ_{bk} = Kuat tekan beton kubus pada umur 28 hari. (kg/cm^2)
 V_h = Gaya geser horizontal (lb, kg)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di berbagai belahan dunia, struktur komposit telah banyak diteliti baik perilaku maupun kekuatannya yang kemudian dimuat dalam berbagai desain standar perencanaan dan diterbitkan dalam buku teks maupun jurnal-jurnal ilmiah dan selanjutnya menjadi dasar perencanaan penggunaan struktur tersebut. Berbagai penelitian dan pengembangan dari aksi komposit dipelajari oleh berbagai peneliti untuk meningkatkan dan memaksimalkan kinerja serta kekuatan yang dapat diperoleh dari aksi komposit tersebut.

Istilah konstruksi komposit didefinisikan sebagai penggunaan baja dan beton dalam bangunan rekayasa struktur yang bekerja secara bersama-sama hingga menghasilkan satu fungsi komponen. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan perilaku kekuatan dari gabungan material (baja dan beton) yang lebih menguntungkan daripada menggunakannya secara terpisah (A. Nethercot, 2004, hal. 1).

Jembatan Spruce Street Bridge di Scranton, Pennsylvania yang semula merupakan struktur non-komposit diperkuat kembali pada tahun 1945 dengan mengganti dek betonnya dan memasang penghubung geser spiral. Hal tersebut membuat batas bebannya bertambah hampir dua kali lipat menjadi 30.000 pounds. (Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration, 2007, hal. 7)

Cyril Blumfielf pada tahun 1965 mengungkapkan bahwa konstruksi komposit telah diperkenalkan sejak tahun 1892 di Malan oleh seorang enjiner yang berasal dari Austria dan telah banyak digunakan pada konstruksi jembatan dan gedung pada awal tahun 1920 (Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi, 1969, hal. 3). Paten mengenai konstruksi balok komposit yang dikeluarkan oleh J. Khan pada tahun 1926 merupakan awal pengembangan komposit yang dilakukan oleh R. A. Caughey dan dipublikasikan pada 1929 (Viest, Fountain, & Singleton, 1958, hal. 1).

Dalam bukunya, David (2004) menceritakan penggunaan konstruksi komposit paling awal di Amerika Utara yang ditelusuri oleh penulis dari

perusahaan konsultan Amerika. Berdasarkan pembukaan dari serangkaian acara *Engineering Conferences on Composite Construction* serta *keynote paper* yang ditujukan kepada *US-Japan Symposium* menunjukkan bahwa tahun 1894 adalah periode dimana balok beton pertama kali digunakan pada pembangunan Jembatan di Iowa dan bangunan gedung di Pittsburgh. Selanjutnya, tes laboratorium mengenai kolom pertama kali dilakukan di Universitas Kolumbia pada 1908, dan balok komposit pertama kali dites untuk pekerjaan Jembatan Dominion di Kanada pada tahun 1922. Penghubung geser terbuat dari paku yang dilas pertama kali dites pada tahun 1954 di Universitas Illinois dan memperkenalkan mengenai teori interaksi parsial pada komposit pada tahun 1951. Viest, Fontain & Singleton mempublikasikan salah satu buku tertua dari pengembangan struktur komposit pada tahun 1958.

Dalam bagian pendahuluan penelitian yang dilakukan oleh J. Suardian (2011), menyatakan bahwa sebagian besar peraturan mengenai penghubung geser dalam struktur komposit yang berlaku dalam dunia konstruksi Indonesia (SNI 03-1729, 2002) maupun peraturan-peraturan konstruksi di negara-negara lain banyak merekomendasikan penghubung geser *welded headed shear stud* dan potongan baja kanal karena intensifnya penelitian sehingga unifikasinya dapat diterima oleh banyak pihak. Dalam sudut penerapan, harga penghubung geser yang terbuat dari potongan baja kanal lebih mahal dibandingkan dengan harga baja tulangan. Untuk alasan itulah penghubung geser spiral yang merupakan tipe penghubung geser lekatan ini diperkenalkan kembali.

Abd-Rabou, Eldeen M., & Dabon (1995) menganalisa kekuatan penghubung geser spiral dalam batasan kondisi elastis dan plastis, kemudian membandingkannya dengan hasil pengujian penghubung geser berbentuk *bent bar*. Penghubung geser spiral diuji dengan menggunakan metode *push out* dan *beam test* dengan menggunakan sebanyak 3, 4, dan 5 putaran spiral. Pada pengujian balok, spiral tersebut dipasang masing-masing sebanyak empat (4) buah (*non-continuous*) pada satu bentangnya dan sampel lain menggunakan penghubung geser spiral pada sepanjang bentang balok. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penghubung geser spiral dapat diaplikasikan dengan baik,

serta mampu memberikan tahanan geser lebih tinggi jika dibandingkan dengan penghubung geser jenis *bent bar*.

Penelitian dilakukan oleh Pemerintah India pada tahun 1969 dengan menggunakan baja tulangan pembentuk spiral berdiameter 6 mm dan 10 mm menghasilkan kesimpulan akhir bahwa peningkatan kekuatan akibat variasi pada *pitch spiral* tidak terlalu signifikan (Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi, 1969).

J. Suardian (2011) melakukan penelitian menggunakan baja pembentuk spiral berdiameter 8 mm dengan parameter berupa panjang lekatan penghubung geser. Pengujian dilakukan pada 12 spesimen komposit dengan empat (4) buah variasi pada diameter spiral dan *pitch spiral* dimana besarnya diameter spiral sama dengan besarnya *pitch spiral*. Kekuatan beton rencana yang digunakan adalah K-275. Hasil akhir diperoleh bahwa panjang lekatan ternyata cukup mempengaruhi kekuatan maksimum yang dihasilkan, serta diketahui terdapat keterbatasan kekuatan maksimum dari penghubung geser.

Penghubung geser jenis spiral memiliki karakteristik yang unik karena bentuknya yang menyerupai sebuah pegas. Bentuk pegas inilah yang membuat variabel-variabel lain seperti diameter spiral dan jarak spiral disadari sebagai parameter penghubung geser. Sementara, perumusan kekuatan penghubung geser spiral yang terdapat pada peraturan saat ini menunjukkan kekuatan penghubung geser spiral hanya dipengaruhi berdasarkan faktor diameter tulangan pembentuk spiral (d_s) dan kuat tekan beton pada umur 28 hari (f_c' atau σ_{bk}). Perumusan lain dibuat berdasarkan hasil penelitian dari Abd-Rabou, Eldeen M., & Dabon (1995) yang menggunakan penjumlahan kekuatan hasil dari *bearing part* dan *shearing part* pada penghubung geser. J. Suardian (2011) merumuskan kekuatan penghubung geser berdasarkan panjang lekatannya untuk penghubung geser dengan spesifikasi tertentu yang sesuai dengan penelitiannya.

Besarnya diameter spiral pada suatu penghubung geser perlu diketahui untuk memaksimalkan kekuatan penghubung geser jenis spiral ini, karena diameter spiral yang terlalu besar tentunya hanya membuat pemborosan material dan biaya. Sedangkan pembentukannya yang terlalu kecil dapat mempengaruhi

kekuatan lekat, tahanan geser pada penghubung geser dan dapat menyebabkan tercabutnya penghubung geser dari pelat beton.

Mengangkat kembali penelitian yang pernah dilakukan hingga tahun 2011 dan peraturan-peraturan yang memuat penghubung geser jenis spiral, penelitian ini bermaksud untuk menguji rumus kekuatan penghubung geser berbentuk spiral yang terdapat pada peraturan dan penelitian yang pernah ada. Penelitian ini juga dilakukan untuk memperkaya standarisasi Indonesia dibidang teknik sipil tepatnya pada jenis penghubung geser.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana perilaku penghubung geser dan besarnya slip terjadi pada spesimen komposit baja-beton akibat gaya yang diberikan.
- b. Berapa besar kapasitas penghubung geser jenis spiral dengan variasi diameter spiral.
- c. Bagaimana hubungan kekakuan penghubung geser spiral terhadap bertambahnya diameter spiral.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang diangkat pada penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui perilaku penghubung geser dan besarnya slip yang terjadi pada spesimen komposit baja-beton akibat gaya yang diberikan.
- b. Mengetahui besar kapasitas penghubung geser jenis spiral dengan variasi diameter spiral.
- c. Mengetahui hubungan kekakuan penghubung geser spiral terhadap bertambahnya diameter spiral.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat, yaitu:

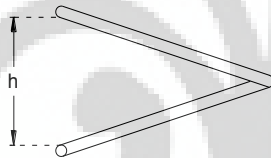
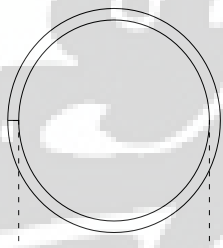
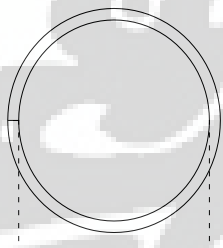
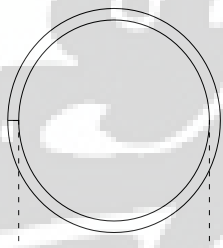
- a. Secara akademis, penelitian ini diharapkan menambah pengetahuan dan wawasan dalam bidang teknik sipil khususnya struktur komposit untuk memberikan alternatif alat penghubung .
- b. Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi struktur komposit dengan penahan geser jenis lekatan.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan penelitian yang digunakan agar penelitian ini lebih terarah antara lain:

- Kuat tekan pelat beton yang direncanakan sebesar $f_c' = 22,82$ MPa (K-275).
- Menggunakan beton bertulang dengan tulangan BJTP 24 yang memiliki diameter 6 mm.
- Penghubung geser direncanakan menggunakan BJTP 24 dengan diameter 8 mm.
- Jumlah sampel yang akan diujikan sebanyak 12 buah, dengan 4 buah variasi penghubung geser berbentuk spiral dengan ukuran bagian dalam sebagai berikut:

Tabel 1.1 Dimensi penghubung geser spiral

Spiral	Kode Spesimen	Diameter Spiral (D)	Jarak spiral (h)
	I	2,5 in.	3,5 in.
	II	3,0 in.	3,5 in.
	III	3,5 in.	3,5 in.
	IV	4,0 in.	3,5 in.

- Spesimen atau benda uji dan pengujian kekuatan penghubung geser menggunakan standar Australia (*AS 2327 Part 1*).
- Pengujian yang dilakukan:
 - Uji kuat tarik pada tulangan baja pembentuk spiral.
 - Uji kekuatan tekan silinder beton pada umur 28 hari.
 - Uji *push out test* pada spesimen komposit.

1.6 Hipotesa Penelitian

- a. Dalam pembebanan yang sama, besar slip yang terjadi pada spesimen pengujian berbanding terbalik dengan diameter spiral yang digunakan.
- b. Besarnya kapasitas penghubung geser spiral akan bertambah seiring dengan peningkatan diameter spiral yang digunakan dalam spesimen pengujian.
- c. Besarnya kekakuan penghubung spiral akan berbanding terbalik dengan besarnya diameter penghubung geser spiral.



BAB 2 TUNJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit Pelat Beton dan Balok Baja

Hegger dan Goralski (2004) menyatakan bahwa balok komposit baja-beton telah banyak digunakan dalam pembangunan gedung dan jembatan. Telah diketahui bahwa beton memiliki kekuatan yang baik dalam menahan gaya tekan/kompresi, namun lemah dalam menahan gaya tarik. Sementara di sisi lain, balok baja memiliki kemampuan yang baik dalam menahan tarik namun dapat mengalami tekuk ketika menerima gaya tekan. Sehingga, keunggulan masing-masing material dapat digunakan bersamaan dengan membentuk komposit baja-beton yang sangat efisien dan ekonomis (Pashan, 2006, hal. 1).

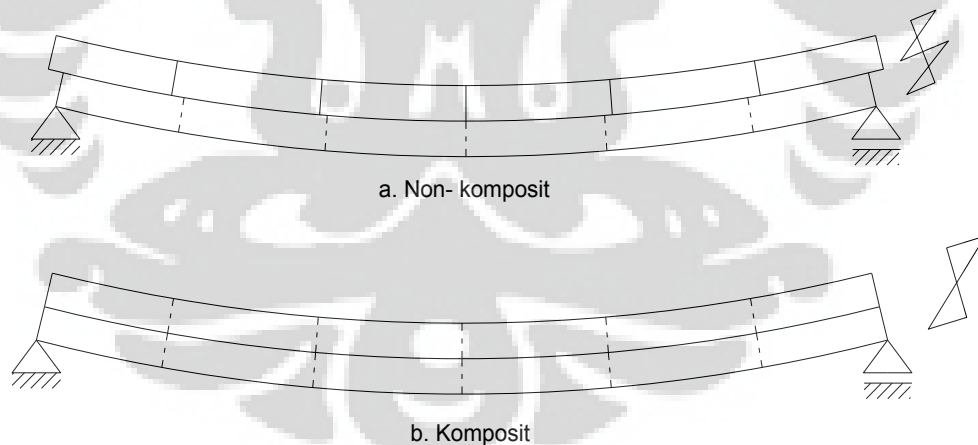
Struktur komposit lebih kuat jika dibandingkan dengan struktur non-komposit dengan ukuran yang sama. Desain ini dapat menghemat penggunaan baja dan mengurangi ketinggian dari balok (Viest, Fountain, & Singleton, 1958, hal. 2). Penggunaan balok komposit juga dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan dan menghasilkan struktur yang lebih kaku jika dibandingkan dengan balok non-komposit dengan ukuran yang sama, serta menghasilkan lendutan dan getaran lantai yang lebih kecil pada saat pembebanan (Pashan, 2006, hal. 2). Dengan menggunakan struktur komposit, beban dapat ditahan 33% hingga 55% lebih besar daripada beban yang mampu ditahan oleh balok baja tanpa adanya aksi komposit (Setiawan, 2008, hal. 280).

Untuk mendapatkan aksi komposit pada balok, maka diperlukan penghubung geser yang dapat mentransfer gaya geser dari pelat beton menuju balok baja serta menahan pelat beton dari gaya *uplift* (gaya angkat arah vertikal). Penghubung geser yang mungkin digunakan dalam balok komposit antara lain penghubung geser kanal, paku, spiral, dan lain-lain (Bresler, Lin, & Scalzi, 1968, hal. 487-488).

Asumsi dasar dari desain dan analisa dari suatu balok komposit adalah (Bresler, Lin, & Scalzi, 1968, hal. 489):

1. Pelat beton berada di sepanjang balok baja.
2. Slip pada penghubung geser proporsional terhadap beban yang ditahan penghubung geser.
3. Penampang melintang balok seluruhnya mengalami distribusi regangan linear.
4. Pelat dan balok tidak mengalami pemisahan secara vrtikal di sepanjang titik pada balok.

Konstruksi komposit balok dan pelat terdiri atas tiga elemen utama, yaitu pelat beton bertulang, balok baja serta penghubung geser. Pelat beton bertulang ini dapat bekerja efektif jika ditempatkan pada bagian sisi balok komposit yang menerima gaya tekan dan kemudian dihubungkan dengan menggunakan penghubung geser pada bagian balok baja yang biasanya berupa baja gilas (*rolled steel beam*). Penghubung geser ini menghubungkan permukaan antara pelat beton dengan balok baja sehingga menjadi satu komponen yang utuh (Viest, Fountain, & Singleton, 1958, hal. 2).

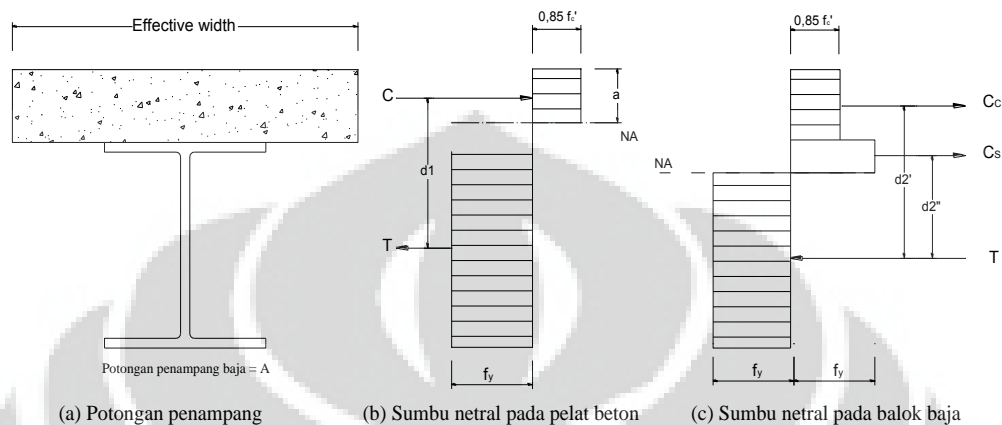


Gambar 2.1 Mekanisme dasar aksi komposit

(Sumber: A. Nethercot, 2004)

Gambar 2.1 (a) menunjukkan aksi balok sebagai struktur non-komposit dimana kedua komponen bekerja secara terpisah. Slip yang terjadi pada ujung balok menunjukkan adanya pergeseran bagian permukaan antara kedua material akibat pembebanan yang diberikan. Sementara Gambar 2.1 (b) menunjukkan aksi

komposit dimana slip bagian ujung balok tidak terbentuk sehingga kedua material bekerja bersama sebagai satu unit. Berdasarkan teori momen klasik, aksi komposit dapat menghasilkan kekuatan dua kali lebih besar dan memiliki kekakuan empat kali lipat dibandingkan aksi non-komposit (A. Nethercot, 2004, hal. 4).



Gambar 2.2 Diagram tegangan balok komposit pada kapasitas momen ultimit

(Sumber : Sabnis, 1979)

Diagram tegangan pada balok komposit dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.2 (b) dan (c) dengan asumsi bahwa sumbu netral komposit berada pada bagian baja/beton dengan derajat penyambungan sempurna serta tanpa adanya slip yang terjadi. Untuk mencapai kekuatan yang efisien, sumbu netral diusahakan sedekat mungkin terhadap permukaan antara balok dengan pelat dalam suatu perencanaan desain (A. Nethercot, 2004, hal. 5).

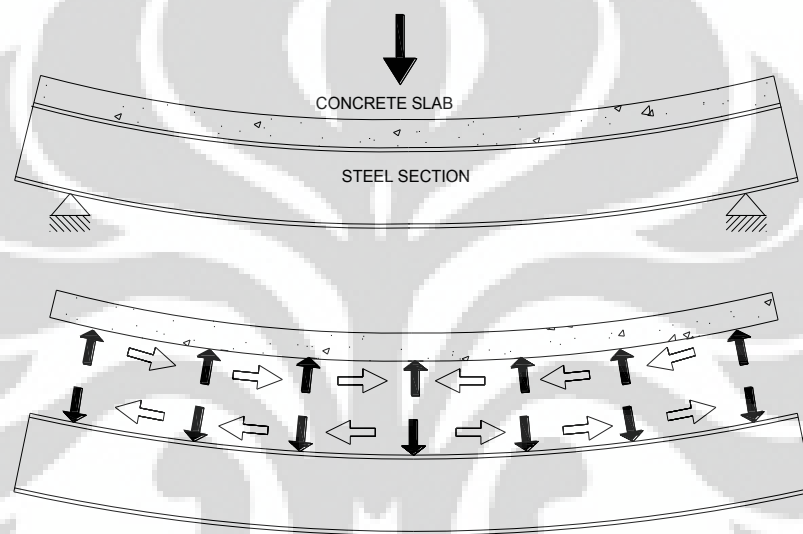
Pada kondisi seperti gambar 2.2 (b) yaitu kondisi dimana sumbu netral berada pada pelat beton, hanya sebagian dari ketinggian pelat beton yang efektif menahan tegangan tekan. Dan pada Gambar 2.2 (c) sumbu netral berada pada balok baja sehingga seluruh bagian dari pelat beton efektif menahan tegangan tekan yang terjadi (Viest, Fountain, & Singleton, 1958, hal. 11).

Interaksi antara pelat beton dengan balok baja pada struktur komposit merupakan hasil dari kombinasi interaksi akibat adhesi kimia, friksi (gesekan) serta *interlock* mekanis. Kekuatan aksi komposit sebagian besar akibat dari penghubung geser mekanis yang mentransfer gaya antara dua material melalui geser dan *local bearing* (V. Galambos, 1998, hal. 392).

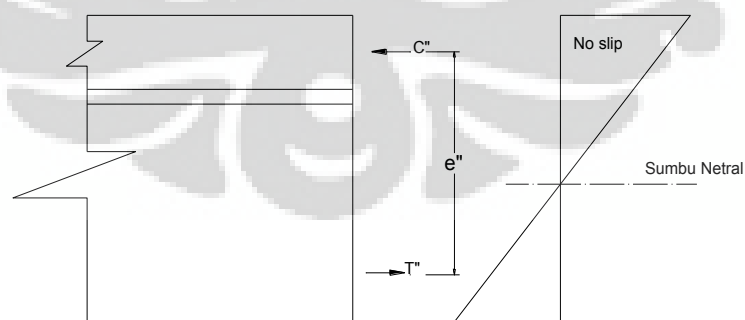
Hubungan interaksi antara balok baja dengan pelat beton dapat dikategorikan dalam tiga jenis, yaitu (J. Suardian, 2011, hal. 6-9):

1. Derajat penyambungan sempurna (*full interaction*)

Derajat penyambungan sempurna (*full interaction*) merupakan suatu kondisi interaksi sempurna dimana pelat beton dan balok baja bekerja sebagai satu kesatuan saat kondisi pembebanan diberikan. Pada saat terjadi proses lentur, diagram regangan balok komposit dengan derajat penyambungan sempurna memiliki garis netral gabungan. Derajat penyambungan sempurna ini tidak mengijinkan terjadinya slip pada balok komposit. Untuk itu, diperlukan suatu penghubung geser agar kekakuan lentur dan kekakuan aksial dari balok komposit dapat memadai.



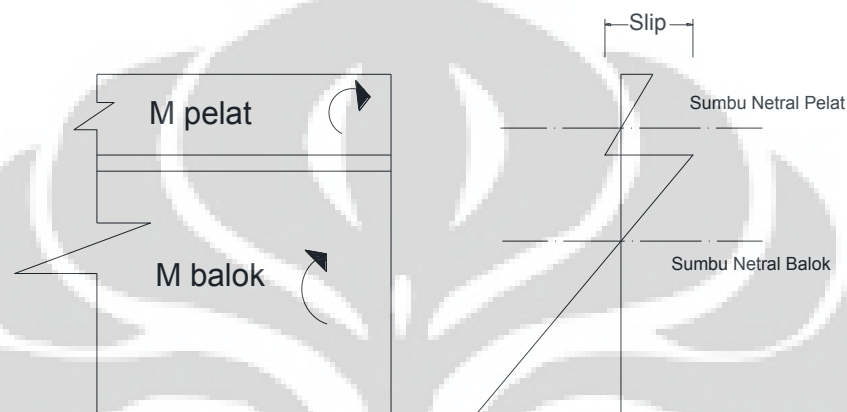
Gambar 2.3 Struktur balok komposit dengan derajat penyambungan sempurna
(Sumber: Sabnis, 1979)



Gambar 2.4 Diagram regangan pada struktur balok komposit dengan derajat penyambungan sempurna
(Sumber: Sabnis, 1979)

2. Interaksi sebagian (*partial interaction*)

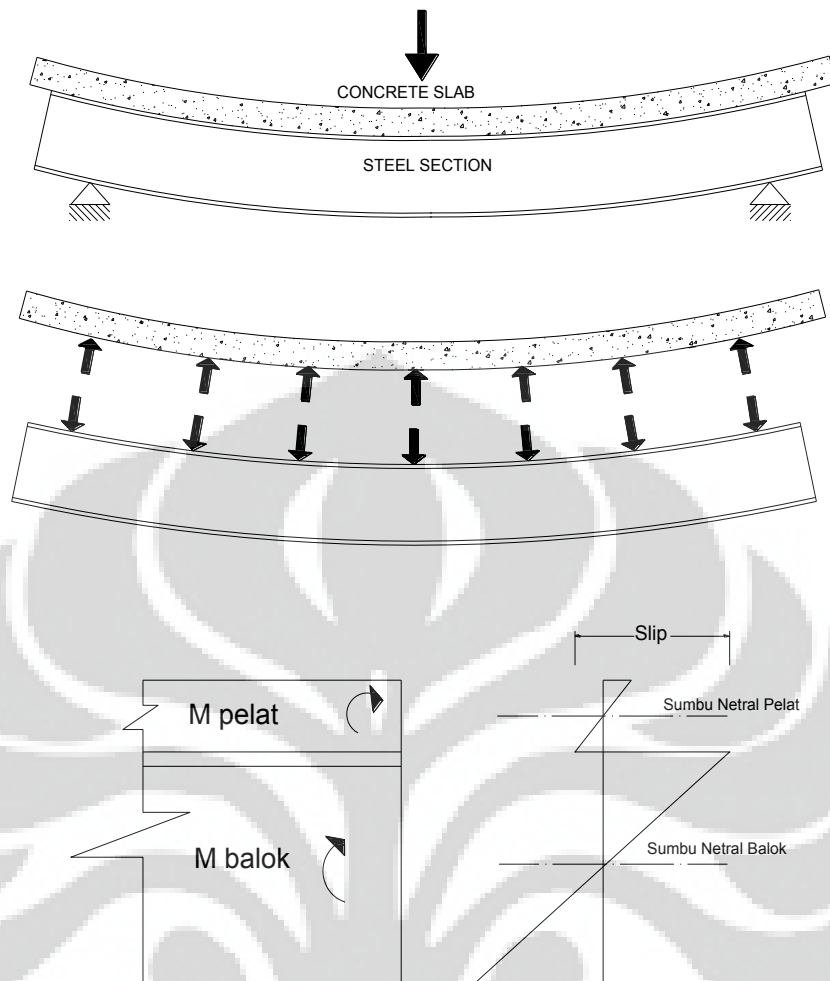
Kondisi antara derajat penyambungan nol (*non interaction*) dengan derajat penyambungan sempurna (*full interaction*) pada komposit disebut sebagai interaksi sebagian (*partial interaction*). Pada kondisi ini, garis netral pelat beton terletak lebih mendekati balok baja dan garis netral balok baja terletak lebih dekat dengan pelat beton jika dibandingkan dengan kondisi balok non komposit (*non interaction*).



Gambar 2.5 Diagram regangan balok komposit dengan derajat penyambungan sebagian
(Sumber: Sabnis, 1979)

3. Tidak ada interaksi (*no interaction*)

Kondisi ini biasa dikenal sebagai kondisi non-komposit karena memberikan derajat penyambungan yang bisa dianggap tidak ada sama sekali (*no interaction*). Pada kondisi ini, tidak terdapat penghubung geser diantara kedua komponen komposit. Sehingga, pada saat pembebanan diberikan pada balok, kedua komponen (balok baja dan pelat beton) tidak dapat bekerja sebagai satu kesatuan. Defleksi pada komponen material balok non-komposit memberikan respon yang berbeda terhadap pembebanan yang diberikan. R. P. Johnson (1975) mengungkapkan bahwa dalam kondisi tanpa penghubung geser, pelat beton akan mengalami defleksi tidak lebih dari balok yang ada di bagian bawahnya.



Gambar 2.6 Diagram regangan struktur balok nonkomposit
(Sumber: Sabnis, 1979)

2.2 Penghubung Geser

Penghubung geser adalah bagian terpenting dari balok komposit yang menjadi penghubung antara balok baja dengan pelat beton. Penghubung geser ini mentransfer gaya pada pelat beton menuju ke balok baja serta mencegah gaya angkat arah vertikal pada permukaan hubungan baja-beton. Penghubung geser ini memastikan bahwa kedua material dapat bekerja sebagai satu kesatuan pada suatu komponen struktur (Amit P, 2006, p.3). Tanpa adanya penghubung geser, slip akan terjadi meski pada kondisi tegangan yang rendah (A. Nethercot, 2004, hal. 13).

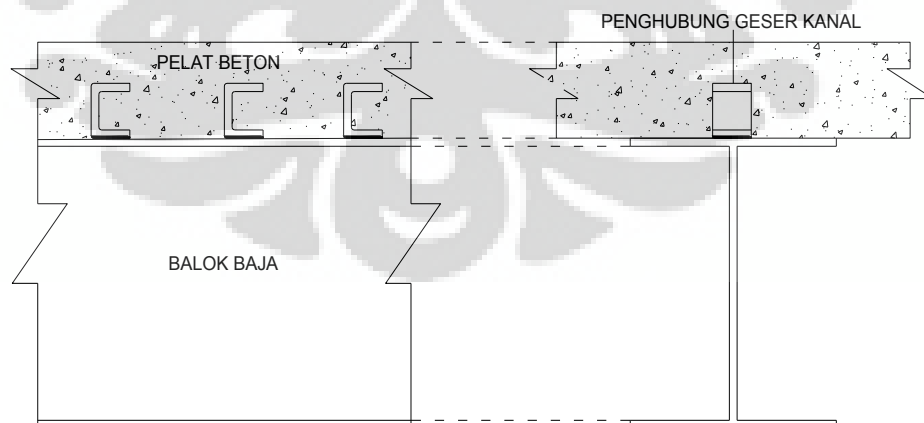
Pelat beton bertulang terhubung pada balok baja dengan menggunakan suatu jenis penghubung geser yang dilas pada bagian sayap dari balok baja. penghubung geser dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe sebagai berikut:

1. Penghubung geser lentur (*flexible shear connector*)

Penghubung geser lentur menahan gaya geser dengan kekuatan *bending* dan tegangan tarik atau geser pada bagian dasar penghubung geser. Penghubung geser tersebut akan mengalami deformasi plastis saat mencapai kekuatan ultimitnya. Kegagalan dari penghubung geser ini cenderung lebih daktail dan tidak terjadi tiba-tiba. Kekuatan geser dapat terus ditahan meskipun pada kondisi slip yang besar (Ranković & Drenić, 2001, hal. 252). Contoh penghubung geser lentur antara lain, penghubung geser paku berkepala (*headed stud*) dan penghubung geser kanal.



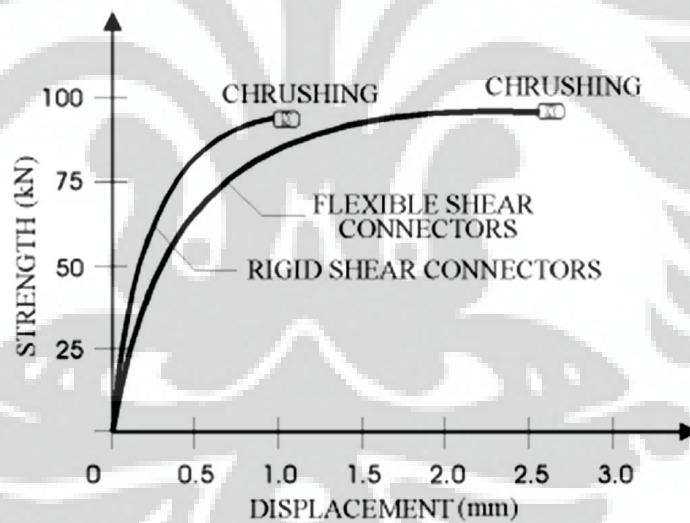
Gambar 2.7 Penghubung geser paku berkepala



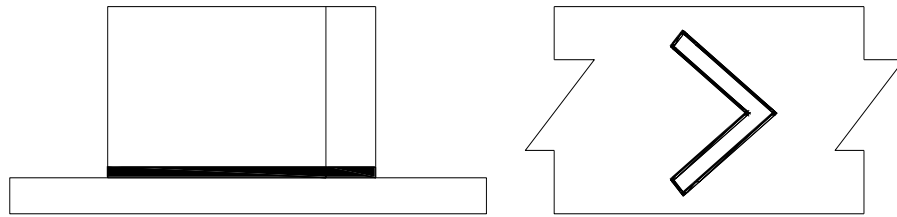
Gambar 2.8 Penghubung geser kanal

2. Penghubung geser kaku (*rigid shear connector*)

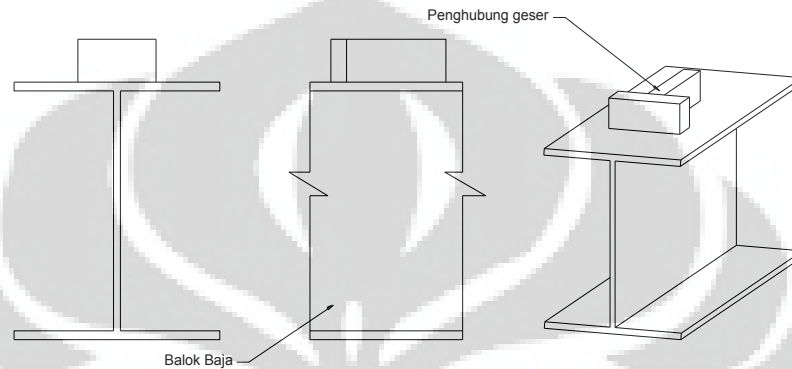
Widiarsa & Deskarta (2007) menyatakan bahwa sifat dari penghubung geser tipe ini kaku atau tidak fleksibel. Ranković & Drenić (2001) mengungkapkan penghubung geser kaku menahan kekuatan geser melalui sisi depan yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan di sekitar beton. Kondisi ini menyebabkan kegagalan dapat terjadi pada beton atau pada las. Penghubung geser tipe ini dapat memikul gaya geser yang ditimbulkan antara beton dan permukaan penghubung geser dengan baik. Perbandingan kekuatan dan slip antara penghubung geser kaku dan penghubung geser lentur dapat dilihat pada Gambar 2.9. Pada kondisi kegagalan, penghubung geser kaku memiliki nilai slip yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penghubung geser lentur. Contoh penghubung geser kaku yaitu penghubung geser yang terbuat dari potongan baja berbentuk T atau potongan baja siku.



Gambar 2.9 Grafik kekuatan dan slip pada penghubung geser lentur dan kaku
(Sumber: Ranković & Drenić, 2001)



(Sumber : Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi, 1969, dengan modifikasi)

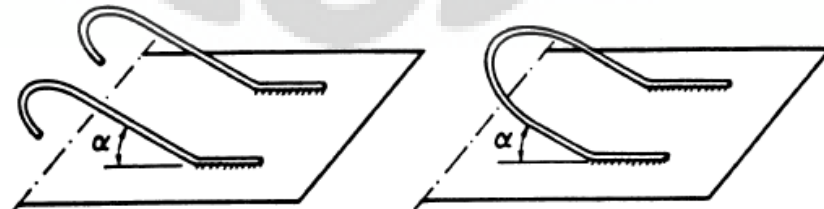


(Sumber: Widiarsa & Deskarta, 2007)

Gambar 2.10 Contoh penghubung geser kaku

3. Penghubung geser lekatan (*bond shear conector*)

Penghubung geser lekatan menahan gaya geser dengan mengandalkan kekuatan lekat beton di sekitar permukaan penghubung geser. Penghubung geser ini biasanya dibuat dari potongan baja tulangan yang dibentuk seemikian rupa sesuai desain perencanaan. Penghubung geser tersebut bekerja dengan mentransfer gaya horisontal yang terjadi antara balok baja dan pelat beton sebagai tarikan pada penghubung. Contoh penghubung geser tipe ini adalah penghubung geser berbentuk *anchor*, *hoop*, *loop* dan spiral.



Gambar 2.11 Penghubung geser *anchor* dan *hoop*

(Sumber: Eurocode 4, 1994)

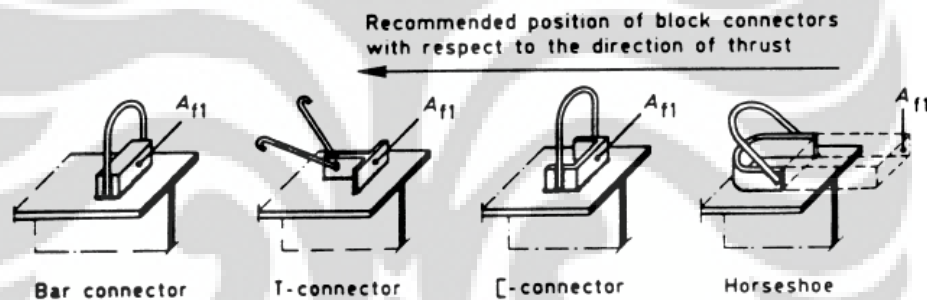


Gambar 2.12 Penghubung geser *anchor*, *hoop*, dan spiral

(Sumber: Al-Darzi & Chen, 2006)

4. Penghubung geser komposit (*composite shear connector*)

Penghubung geser komposit merupakan gabungan dari penghubung geser lentur dengan penghubung geser lekatan (Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi, 1969).



Gambar 2.13 Penghubung geser komposit

(Sumber: Eurocode 4, 1994)

Tipe penghubung geser yang dikhususkan dalam penelitian ini adalah penghubung geser spiral. Viest, Fountain, & Singleton (1958) membandingkan penggunaan penghubung geser spiral dengan penghubung geser paku pada penggunaan beton berkekuatan $f_c' = 3000$ psi (21 MPa) dengan menggunakan tabel. Tabel tersebut mengekivalensikan jumlah penghubung geser paku yang dapat digantikan dengan menggunakan satu putaran penghubung geser spiral dengan diameter baja pembentuk tertentu.

Table 2.1 Perbandingan penggunaan penghubung geser spiral dengan penghubung geser paku

Diameter penghubung geser paku, in.	Diameter baja pembentuk spiral		
	½ in.	5/8 in.	¾ in.
5/8	2,01	2,52	3,02
3/4	1,40	1,75	2,10
7/8	1,03	1,28	1,54

(Sumber: Viest, Fountain, & Singleton 1958)

Nawy (2003, p. 402) menyatakan kuat lekat antara baja tulangan (dalam kasus ini adalah penghubung geser) dan beton yang dipengaruhi oleh faktor:

1. Adhesi (*adhesion*) antara elemen beton dan tulangan baja.
2. Efek cengkram (*gripping*) akibat susut beton (*shrinkage*).
3. Tahanan lekat (*friction*) untuk geser.
4. Efek kualitas beton.
5. Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan.
6. Diameter, bentuk, dan jarak tulangan yang mempengaruhi pertumbuhan retak.

2.3 Kapasitas Penghubung Geser Spiral

Viest, Fountain, & Singleton (1958) mengungkapkan persamaan kapasitas kegunaan satu putaran spiral (Q_{uc}) berdasarkan spesifikasi jembatan jalan raya AASHO (1944) yang merupakan hasil dari uji penghubung geser secara eksperimental, yaitu:

$$Q_{uc} = 3840 \cdot d_{sp} \cdot \sqrt[4]{f_c} \quad (2.1)$$

Dimana:

Q_{uc} = Kapasitas guna (*useful capacity*) satu putaran dari penghubung geser spiral
(lb)

f_c = Kuat tekan beton silinder (6 x 12 in.) pada umur 28 hari (psi)

d_{sp} = Diameter baja tulangan pembentuk (in)

Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi (1969) menyatakan kapasitas ijin satu putaran penghubung geser spiral berdasarkan spesifikasi standar ASCE-ACI 1960 sebesar:

$$Q_a = 1900 \cdot d_{sp} \cdot \sqrt[4]{f_c} \quad (2.2)$$

Dimana:

Q_a = Kapasitas ijin satu putaran dari penghubung geser spiral (lb)

f'_c = Kuat tekan beton silinder pada umur 28 hari (psi)

d_{sp} = Diameter baja tulangan pembentuk (in)

Indian Code of Practice for Construction (IS 3935, 1966) menyatakan rumus kapasitas rencana dari satu putaran penghubung geser spiral adalah:

$$Q_a = 315 \cdot d \cdot \sqrt[4]{\sigma_{bk}} \quad (2.3)$$

Dimana:

Q_a = Kapasitas ijin satu putaran dari penghubung geser spiral. (kg)

σ_{bk} = Kuat tekan beton kubus pada umur 28 hari. (kg/cm²)

d = Diameter baja tulangan pembentuk. (in)

American Institute of Steel Construction (AISC) yang menjadi sponsor penelitian yang dilakukan Slutter dan Driscoll (1963) menyatakan kapasitas penghubung geser spiral dalam satu putaran sebesar:

$$Q_u = 8000 \cdot d_{sp} \cdot \sqrt[4]{f'_c} \quad (2.4)$$

Dimana:

Q_u = Kapasitas ultimit satu putaran dari penghubung geser spiral (lb)

f'_c = Kuat tekan beton silinder pada umur 28 hari (psi)

d_{sp} = Diameter baja tulangan pembentuk (in)

2.4 Uplift dan Efek Overriding

Selain mentransfer gaya geser horizontal, penghubung geser juga berfungsi untuk meneruskan gaya vertikal antara pelat dan balok. Gaya vertikal ini timbul akibat efek yang kompleks seperti kekakuan torsi pada pelat beton bertulang dan tegangan triaksial (*triaxial stress*) di sekitar penghubung geser (Johnson, 1975, hal. 24). Selain itu, besarnya gaya vertikal ini juga tergantung pada kemampuan memanjang dari penghubung geser (*extensibility*) dan *web* pada balok baja. *Extensibility* dari penghubung geser efektif pada kondisi dimana pelat berusaha untuk bergerak ke atas (Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi, 1969, hal. 27).

Saat slip terbentuk pada suatu struktur komposit, penghubung geser dan beton disekitarnya akan mengalami deformasi. Kemudian, peningkatan slip menyebabkan terjadinya konsentrasi beban pada bagian dasar penghubung geser yang mengakibatkan kerusakan pada beton di daerah sekitar penghubung geser. Pada kondisi ini, pelat akan mencoba bergerak keluar melalui bagian dari beton yang mengalami kerusakan tersebut atau yang biasa disebut sebagai *over riding effect*. *Over riding effect* ini lah yang menyebabkan terjadinya pergerakan keatas (*uplift*) pada balok komposit (Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi, 1969, hal. 27).

2.5 Push Out Test

Di awal tahun 1930, *push out test* digunakan sebagai alat untuk menentukan kapasitas penghubung geser spiral. Pada pengembangan selanjutnya, uji *push out* digunakan secara luas untuk mempelajari jenis penghubung geser lain. Meskipun kondisi tegangan yang terjadi tidak menunjukkan kondisi tegangan yang terjadi pada balok komposit sebenarnya, *push out test* digunakan untuk mengetahui karakteristik beban-slip pada kondisi pembebanan statis (Natalino & Giuriani, 2001, hal. 1162). Pengujian *push out* dilakukan dengan menggunakan spesimen berupa dua buah pelat beton yang dihubungkan pada tiap flens (sayap) pada balok baja IWF dengan menggunakan penghubung geser.

Desain dan perencanaan spesimen untuk menentukan kekuatan karakteristik penghubung geser (P_k) melalui *push out test* dibuat berdasarkan AS 2327, *Part 1*-1980. Standar pengujian ini tidak berlaku untuk tipe pembebanan dinamis, pengujian dengan menggunakan ketebalan balok baja kurang dari 3 mm, dan pengujian menggunakan balok baja yang memiliki kekuatan leleh lebih dari 450 MPa. Dalam persiapan spesimen harus dipastikan bahwa tidak terjadi lekatan antara permukaan antara sayap baja dan pelat beton dengan memberikan perlakuan tertentu.

Berdasarkan persyaratan tersebut, jumlah minimum spesimen *push out test* sebanyak tiga (3) buah.

2.6 Kuat Rencana Balok Komposit

Desain kuat rencana balok komposit berdasarkan SNI 03-1729-2002 terbagi menjadi dua jenis, balok komposit penuh dan balok komposit parsial. Balok komposit penuh terjadi kondisi dimana slip antara baja dan balok beton tidak terjadi, sehingga perlu digunakan penghubung geser dengan jumlah yang memadai hingga balok dapat mencapai kuat lentur maksimumnya. Sementara pada kondisi balok komposit parsial, kekuatan balok dalam memikul lentur dibatasi oleh kekuatan penghubung geser, sehingga perencanaan elastisnya harus memperhitungkan defleksi atau tegangan akibat beban serta slip antara baja dan beton.

Besarnya lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit dibatasi berdasarkan ketentuan sebagai berikut (Setiawan, 2008, hal. 284):

1. Untuk balok-balok interior:

$$b_E \leq \frac{L}{4} \quad (2.7.a)$$

$$b_E \leq b_o \quad (2.7.b)$$

2. Untuk balok-balok eksterior:

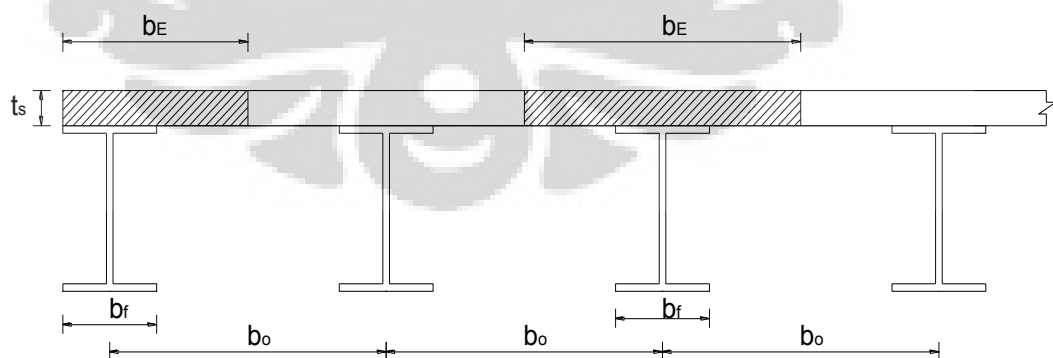
$$b_E \leq \frac{L}{8} + \text{jarak pusat balok ke tepi pelat} \quad (2.8.a)$$

$$b_E \leq \frac{1}{2} b_o + \text{jarak pusat balok ke tepi pelat} \quad (2.8.b)$$

Dimana:

b_E = Lebar efektif pelat beton

L = Panjang balok komposit



Gambar 2.14 Lebar efektif balok komposit

(Sumber: Setiawan, 2008)

Setiawan (2008) menyatakan kuat lentur nominal pada struktur komposit (untuk momen positif) berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 12.4.2.1 ditentukan sebagai:

$$a. \text{ Untuk } \frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_{yf}}} \quad (2.9.a)$$

M_n (kuat momen nominal) dihitung berdasarkan superposisi tegangan plastis pada penampang komposit, dengan $\phi_b = 0,85$.

$$b. \text{ Untuk } \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_E} \quad (2.9.b)$$

Kuat momen nominal dihitung berdasarkan superposisi tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh perancah sementara, dengan $\phi_b = 0,85$.

Dimana:

t_w = Tebal badan (web) penampang profil baja

h = Tinggi profil baja

f_{yf} = Tegangan leleh flens profil baja

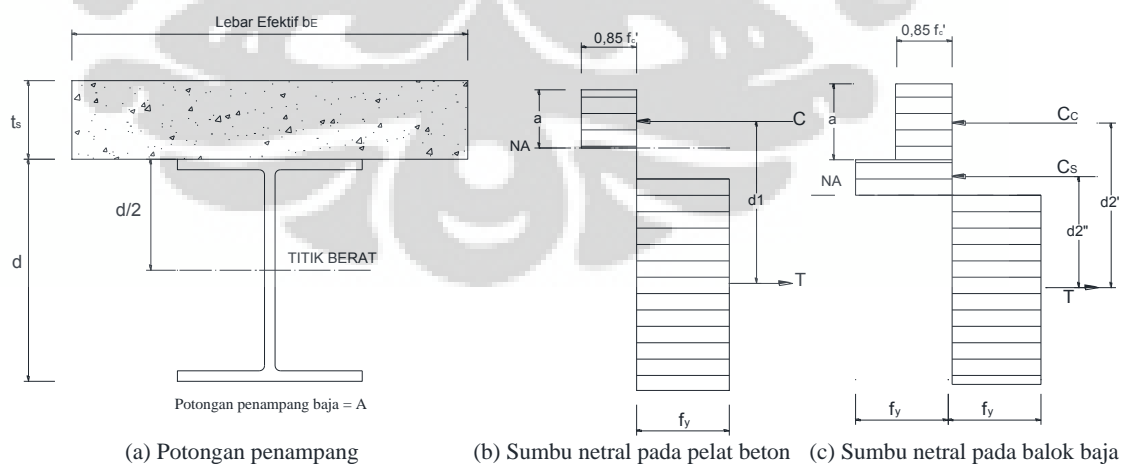
A_s = Luas penampang profil baja

f_y = Tegangan leleh profil baja

f_c' = Kuat tekan beton pada umur 28 hari

b_E = Lebar efektif pelat beton

Perhitungan kuat lentur nominal dengan perhitungan distribusi tegangan plastis, dapat dibagi menjadi dua kasus, antara lain:



Gambar 2.15 Kuat lentur nominal berdasarkan distribusi tegangan plastis

(Sumber: Setiawan, 2008)

1. Sumbu netral plastis jatuh pada bagian pelat beton

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \quad (2.10)$$

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.11)$$

Dengan keseimbangan gaya $C=T$, diperoleh:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_E} \quad (2.12)$$

Kuat lentur nominal (M_n) dinyatakan sebagai:

$$M_n = C \cdot d_1 \quad (2.13)$$

$$\text{Atau } M_n = T \cdot d_1 = A_s \cdot f_y \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right) \quad (2.14)$$

Jika hasil perhitungan 2.12 ternyata $a > t_s$, sehingga asumsi harus diubah karena menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat mengimbangi gaya tarik dari profil baja.

2. Sumbu netral plastis jatuh pada bagian profil baja

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s \quad (2.10)$$

$$T' = C_c + C_s \quad (2.11)$$

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s \quad (2.12)$$

Sehingga, dengan menggabungkan persamaan 2.11 dan 2.12:

$$C_s = \frac{A_s f_y - C_c}{2} \quad (2.13)$$

Sehingga, dengan menggabungkan persamaan 2.10 dan 2.13:

$$C_s = \frac{A_s f_y - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} \quad (2.14)$$

Kuat lentur nominal (M_n) dinyatakan sebagai:

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \quad (2.15)$$

Agar tidak terjadi slip pada kondisi masa layannya, gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus ditahan oleh sejumlah penghubung. Besar gaya geser horizontal (V_h) yang harus dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.2. yang menyatakan bahwa beton yang mengalami gaya tekan akibat lentur dengan gaya geser horizontal total bekerja pada daerah yang dibatasi oleh momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan, diambil nilai terbesar dari nilai yang diperoleh dari : $A_s \cdot f_y$, $0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$ atau ΣQ_n (Setiawan, 2008, hal. 295-296)

Pada kondisi aksi komposit penuh, jumlah penghubung geser yang diperlukan antara titik momen nol dan momen maksimum adalah:

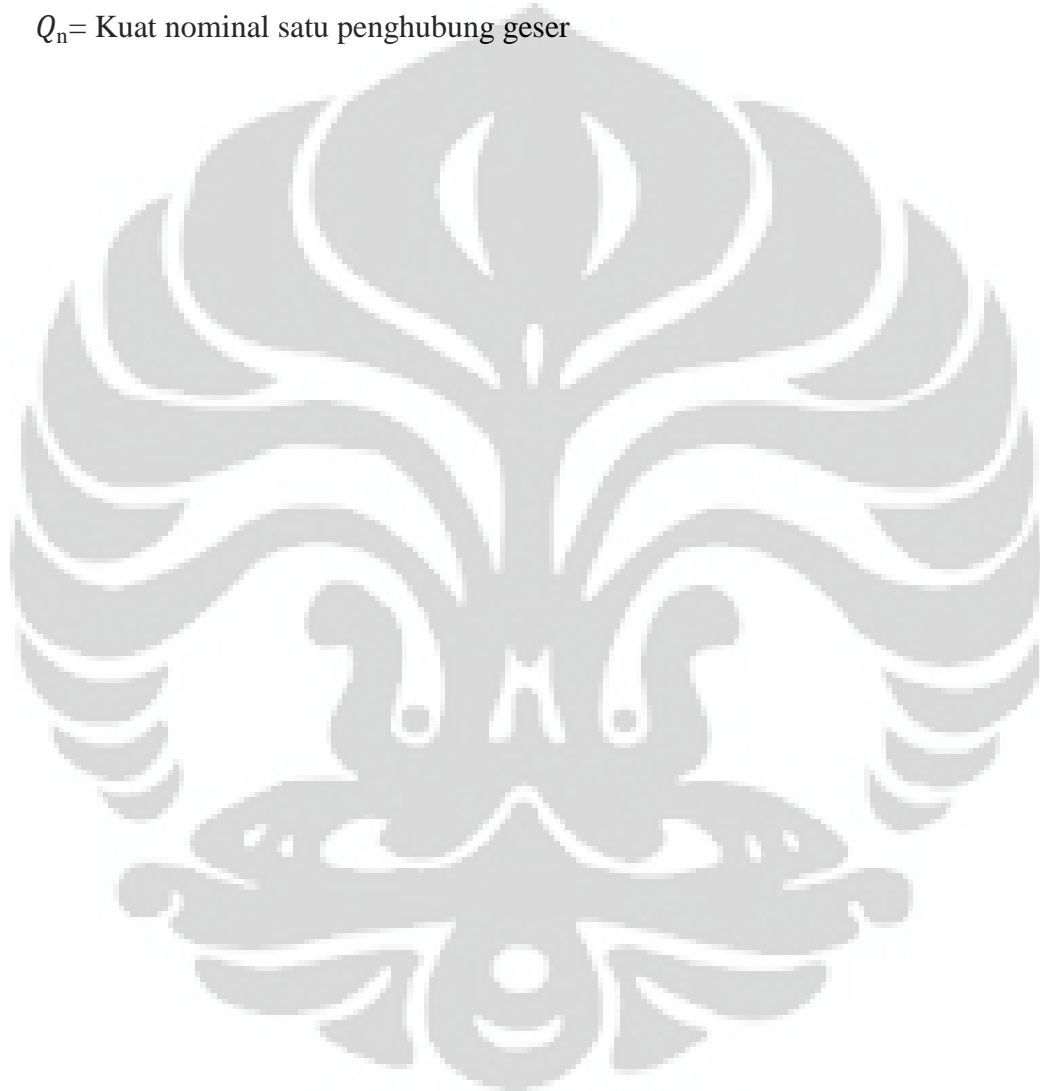
$$N_1 = \frac{V_h}{Q_n} \quad (2.15)$$

Dimana:

N_1 = Jumlah penghubung geser

V_h = Gaya geser horizontal

Q_n = Kuat nominal satu penghubung geser



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

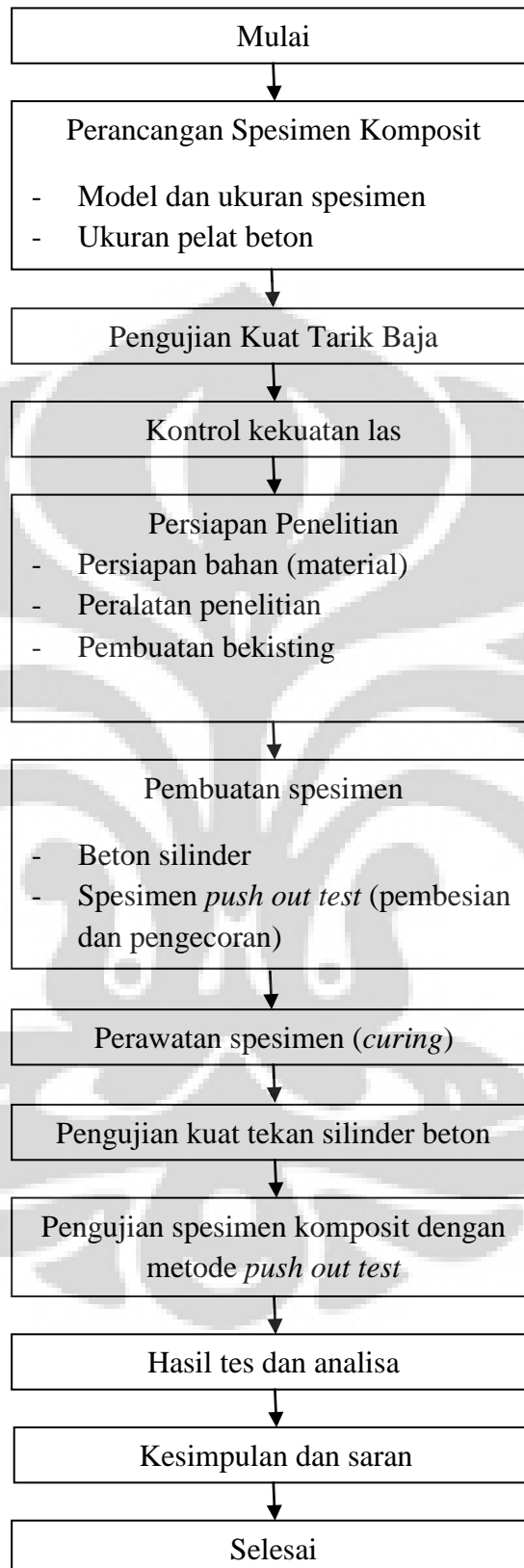
Secara umum, penelitian ini merupakan studi eksperimental dari tipe penghubung geser spiral dengan menggunakan 12 spesimen yang akan diuji kekuatannya menggunakan metode *push out test*. Spesimen *push out test* terdiri dari empat (4) buah parameter diameter spiral yang berbeda. Tiga (3) buah spesimen pada masing-masing variasi diameter spiral sebesar 2,5; 3,0; 3,5 dan 4,0 inci. Sebelum mencapai tahap pengujian *push out*, dilaksanakan pengujian tarik baja tulangan sebagai material dasar spiral serta pengujian kuat tekan beton silinder pada 28 hari.

Pengujian tarik baja tulangan pembentuk spiral bertujuan untuk mengetahui besar kekuatan tarik baja tulangan yang dipergunakan. Sementara pengujian kuat tekan beton silinder pada umur 28 hari bertujuan untuk mengetahui kekuatan pelat beton yang digunakan pada spesimen komposit serta memperkirakan kekuatan penghubung geser berdasarkan perumusan yang ada. Dan pengujian yang terakhir adalah pengujian spesimen *push out* yang bertujuan untuk mengetahui besar kekuatan yang dapat ditahan oleh penghubung geser dan gambaran slip yang terjadi pada setiap spesimen.

3.2 Lokasi Penelitian

Tahap pembentukan spiral dilakukan di bengkel baja, sementara pemotongan baja WF dan proses pengelasan dilakukan di BLKI, Serpong. Tahap pengecoran spesimen hingga perawatan beton selama 7 hari dilakukan di PT Adhimix Precast, Lenteng Agung. Selanjutnya, perawatan beton hingga berumur 28 hari dan pengetesan spesimen dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

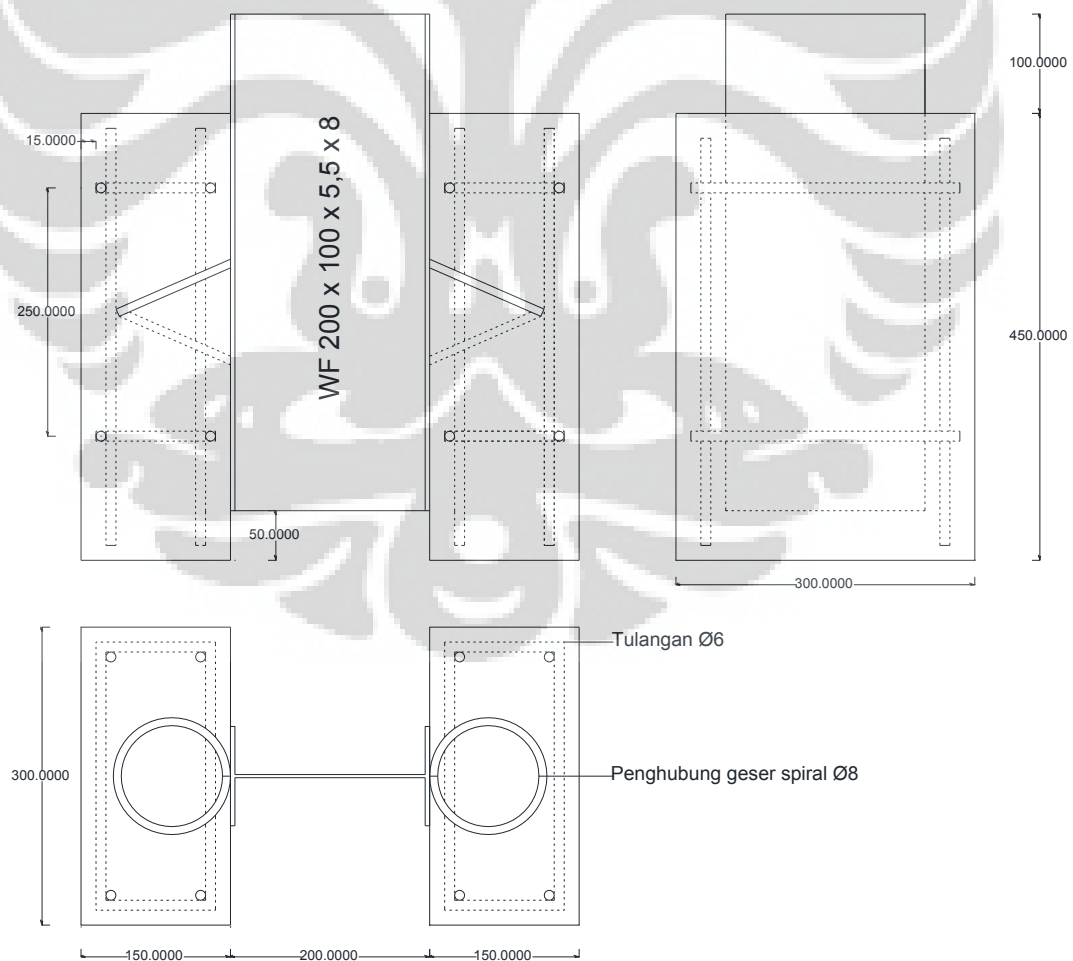
3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Perancangan Spesimen Komposit

Pengujian *push out* dilakukan untuk mempelajari slip dalam pembebanan yang dilakukan hingga mencapai kondisi kegagalan spesimen atau sebatas kapasitas ijin dari alat uji. Perancangan spesimen pengujian *push out test* dibuat mengikuti desain pengujian yang diberikan pada AS 2327 Part 1-1980. Spesimen komposit tersebut terdiri atas dari komponen, yaitu balok baja, pelat beton bertulang dan penghubung geser spiral seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.

Perancangan dimensi spesimen ini didasari oleh kapasitas alat uji, serta penelitian lain yang pernah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan Standar AS 2327 Part 1-1980, Tebal dan ukuran dari balok baja merupakan suatu *prototype*. Sehingga berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wu & Hosain (1999, Androustos 1994) yang juga diikuti oleh Pashan (2006), penelitian ini menggunakan tebal pelat beton sebesar 150 mm dan balok baja profil WF 200 x 100 x 5,5 x 8.



Gambar 3.1 Rancangan spesimen komposit

3.4.1 Balok baja

Balok baja spesimen direncanakan menggunakan baja profil WF 200 x 100 x 5,5 x 8. Berdasarkan data spesifikasi produk *hot rolled* yang diperoleh, diketahui profil baja tersebut memiliki berat 21,33 Kg/m dengan kuat tarik minimum sebesar 400 MPa.

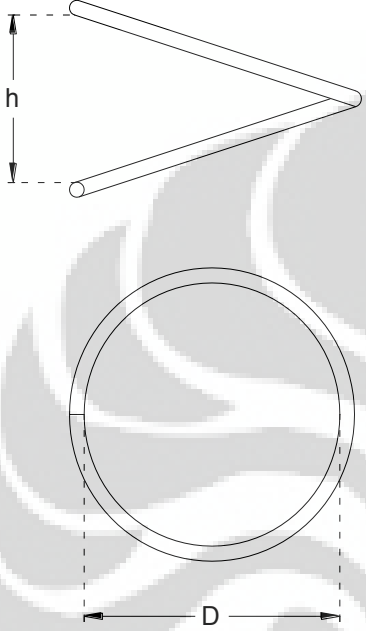
3.4.2 Pelat beton bertulang

Pelat yang digunakan dalam pengujian menggunakan kuat tekan beton rencana f_c' 22,82 MPa dengan tulangan BJTP 24 berdiameter 6 mm. Tulangan tersebut dibuat untuk menjahit beton untuk menjahit beton dan mencegah terjadinya keruntuhan getas pada saat pengujian. Beton menggunakan *ready mix* agar campuran yang didapat dapat dibuat sekali aduk sehingga kekuatan beton di setiap spesimen mendekati seragam (homogen).

3.4.3 Penghubung geser spiral

Komponen ketiga dalam spesimen ini adalah penghubung geser spiral. Penghubung geser spiral yang diuji pada penelitian ini menggunakan 4 buah variasi diameter spiral dengan parameter *pitch spiral* yang tetap. Penghubung geser spiral dibuat menggunakan baja tulangan BJTP 24 dengan diameter 8 mm yang terdiri dari satu putaran spiral dengan dua titik (2) las di setiap ujungnya. Dimensi dari penghubung geser spiral yang akan diuji dapat dilihat dalam tabel berikut. Baja tulangan yang akan digunakan pada pengujian ini terlebih dahulu dilakukan tes tarik. Penghubung geser dilas tumpul dengan penetrasi penuh menggunakan elektroda E 60.

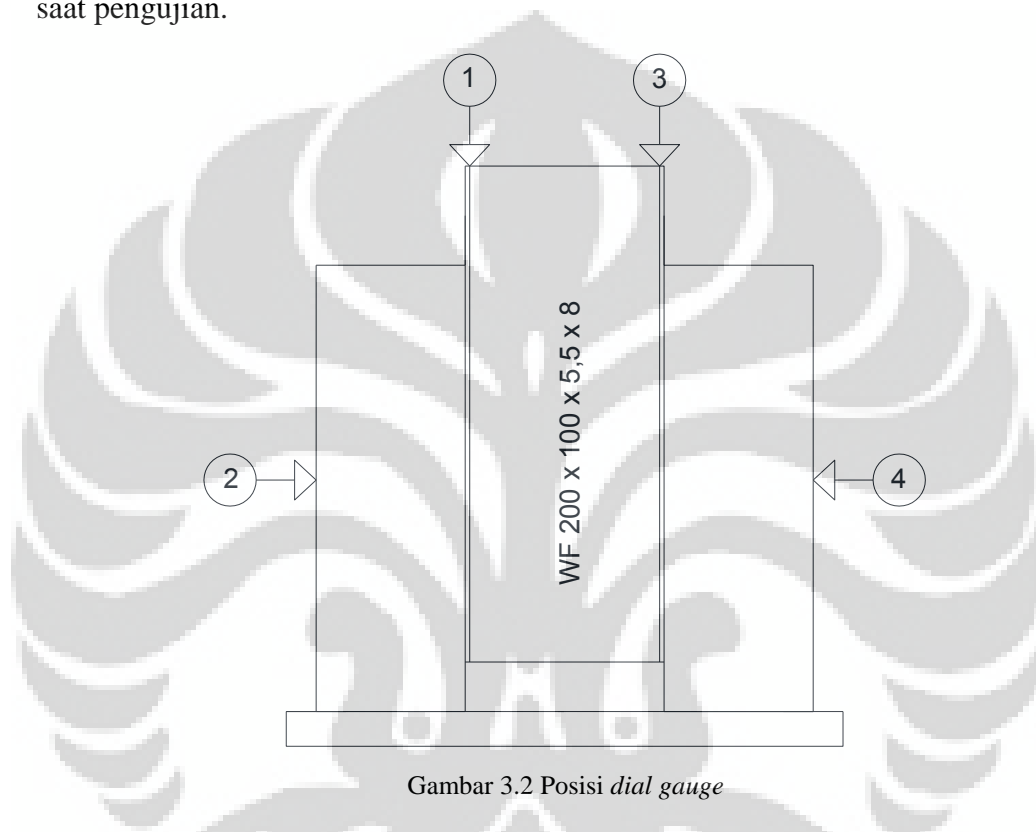
Tabel 3.1 Rancangan dimensi penghubung geser spiral

Gambar Penghubung Geser Spiral	Kode Spesimen	Diameter (D) (in.)	<i>Pitch Spiral</i> (h)-(in.)
	I-1 I-2 I-3	2,5	3,5
	II-1 II-2 II-3	3,0	3,5
	III-1 III-2 III-3	3,5	3,5
	IV-1 IV-2 IV-3 IV-4	4,0	3,5

Ukuran dimensi penghubung geser tersebut menggunakan dimensi bagian dalam spiral dalam ukuran inci, karena dalam proses pembuatannya penghubung geser tersebut akan dibentuk sedemikian rupa menggunakan bantuan pipa baja dengan diameter bersesuaian dan dimensi sesuai dengan rancangan spesimen.

3.4.4 Lokasi *dial gauge*

Hasil dari penelitian ini berupa grafik karakteristik pembebanan dan slip dari setiap spesimen. Untuk itu, akan dipasang 4 buah *dial gauge* saat pengujian spesimen. Dua (2) buah dial dipasang untuk mengetahui slip vertikal yang terjadi pada setiap sisi sayap baja dan dua (2) buah dial yang lain dipasang untuk mengetahui slip horizontal yang terjadi antara pelat beton dengan balok baja pada saat pengujian.



Gambar 3.2 Posisi *dial gauge*

3.5 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Sebelum dilakukan perencanaan spesimen komposit, diperlukan pengujian kuat tarik baja tulangan pembentuk spiral. Pengujian kuat tarik baja tulangan dilakukan pada 3 sampel BJTP 24 diameter 8 mm dengan menggunakan *Universal Tensile Strength Test Machine, Avery Denison*. Besarnya kuat tarik baja diperoleh dengan membagi beban (P) dengan luasan sisi yang mengalami tarik (A).

Pengujian kuat tarik baja tulangan menggunakan sampel tulangan baja yang digunakan sebagai pembentuk spiral. Masing-masing spesimen yang digunakan pada pengujian ini memiliki panjang 350 mm.

Langkah-langkah pengujian tarik baja tulangan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen baja tulangan yang akan diuji menggunakan *Universal Tensile Strength Test Machine*.
2. Mengukur dimensi baja tulangan sebelum dilakukan pengetesan.
3. Meletakkan spesimen baja tulangan pada alat uji tarik
4. Mengoperasikan alat uji tarik dengan memberikan pembebanan berangsur hingga putus.



Gambar 3.3 Pengujian kuat tarik baja tulangan

3.6 Persiapan Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, tahap awal yang harus dilakukan adalah persiapan bahan dan peralatan. Tahap persiapan ini penting untuk dilakukan agar penelitian dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan prosedur yang telah direncanakan.

3.6.1 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Baja Profil

Baja profil yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah baja WF 200 x 100 x 5,5 x 8. Berdasarkan data spesifikasi produk *hot rolled* yang diperoleh, diketahui profil baja tersebut memiliki berat 21,33 Kg/m dengan kuat tarik minimum sebesar 400 MPa.



Gambar 3.4 Baja WF yang telah dipotong dan dilas

2. Beton

Beton yang akan digunakan dalam penelitian ini direncanakan menggunakan *ready mix* produksi PT Adhimix Precast dengan mutu beton rencana $f_c' 22,82$ MPa (K-275). Campuran beton ini terdiri dari *Ordinary Portland Cement* (OPC), agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), air dan bahan tambahan berupa *additive* atau *mixture* tertentu sesuai dengan syarat.

Pelat beton pada setiap spesimen memiliki ukuran 150 x 300 x 450 mm yang berada pada kedua sisi sayap balok baja. Dan jumlah spesimen pengujian kuat tekan beton berukuran 150 x 300 mm adalah 6 buah.

3. Air

Air yang digunakan sebagai campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organis atau bahan lain yang dapat merusak beton atau besi beton. Atau setidaknya memenuhi persyaratan air bersih yang dapat dikonsumsi.

4. Baja Tulangan

Baja tulangan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah BJTP 24 dengan tegangan leleh minimum 24 kN/cm^2 . Baja tulangan ini memiliki diameter 6 mm dan 8 mm. Baja tulangan berdiameter 6 mm dipergunakan sebagai penulangan spesimen pada bagian pelat beton. Dan baja tulangan berdiameter 8 mm dipergunakan sebagai pembentuk penghubung geser spiral. Tulangan dengan diameter 8 mm dibentuk menyerupai spiral dengan diameter bagian dalam *pitch circle* berukuran 2,5; 3,0; 3,5; dan 4,0 inch serta memiliki *pitch spiral* tetap sebesar 3,5 inch.



Gambar 3.5 Baja tulangan berbentuk spiral

5. Beton tahu

Beton tahu dipergunakan untuk menahan tulangan pada pelat beton agar sesuai dengan posisinya. Beton tahu ini akan menjaga jarak selimut pada pelat beton bertulang.

6. Pelumas

Pelumas ini dipergunakan untuk menghilangkan lekatan antara sayap baja IWF dengan pelat beton bertulang agar permukaan diantaranya tetap licin (*frictionless*). Perlakuan ini didasari atas standar peraturan AS 2327 *Part 1*. Pelumas juga dioleskan pada sisi permukaan bekisting spesimen yang menempel langsung pada beton bertulang agar bekisting mudah untuk dilepas setelah beton mulai mengeras serta pada bekisting silinder.

7. Cat tembok berwarna putih

Cat ini dipergunakan agar retak dan kegagalan yang terjadi dapat terlihat dengan jelas di permukaan beton.

3.6.2 Peralatan penelitian

Peralatan penelitian yang dibutuhkan dalam pembuatan spesimen *push out test* ini antara lain:

1. Truk pengaduk beton

Truk ini dipergunakan untuk mengaduk bahan-bahan penyusun beton yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta bahan tambahan lain seperti *additive* atau *admixture*.

2. Bekisting

Bekisting ini dipergunakan untuk mencetak beton segar yang telah siap. Ukuran bagian dalam dari bekisting ini adalah 150 x 300 x 450 mm. Masing-masing spesimen menggunakan satu buah bekisting, sehingga diperlukan bekisting dengan jumlah 12 buah untuk keseluruhan spesimen uji.



Gambar 3.6 Bekisting spesimen *push out test*

3. Bekisting silinder

Bekisting silinder dipergunakan untuk mencetak spesimen uji silinder beton dengan dimensi 150 x 300 mm (diameter x tinggi). Digunakan 6 buah bekisting silinder untuk pengujian kuat tekan beton.

4. Kerucut abrams

Kerucut Abrams dipergunakan untuk menentukan nilai slump pada beton. Nilai slump ini menentukan kelecakan dari beton segar. Kerucut Abrams berlubang pada kedua ujungnya dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm, serta tinggi 30 cm. alat ini juga dilengkapi dengan tongkat baja berdiameter 1,6 cm, panjang 60 cm dengan bagian ujung tongkat yang membulat berfungsi sebagai alat penumbuk.

5. Sekop

Sekop yang dipergunakan adalah sekop yang berukuran kecil dan dipergunakan untuk memasukkan adukan beton segar ke dalam bekisting.

6. Mistar, mikrometer sekrup dan kaliper

Mistar dipergunakan untuk mengukur penurunan beton segar pada pengujian slump, micrometer sekrup digunakan untuk mengukur dimensi baja tulangan, sedangkan kaliper digunakan untuk mengukur dimensi benda uji.

7. Alat bantu lain

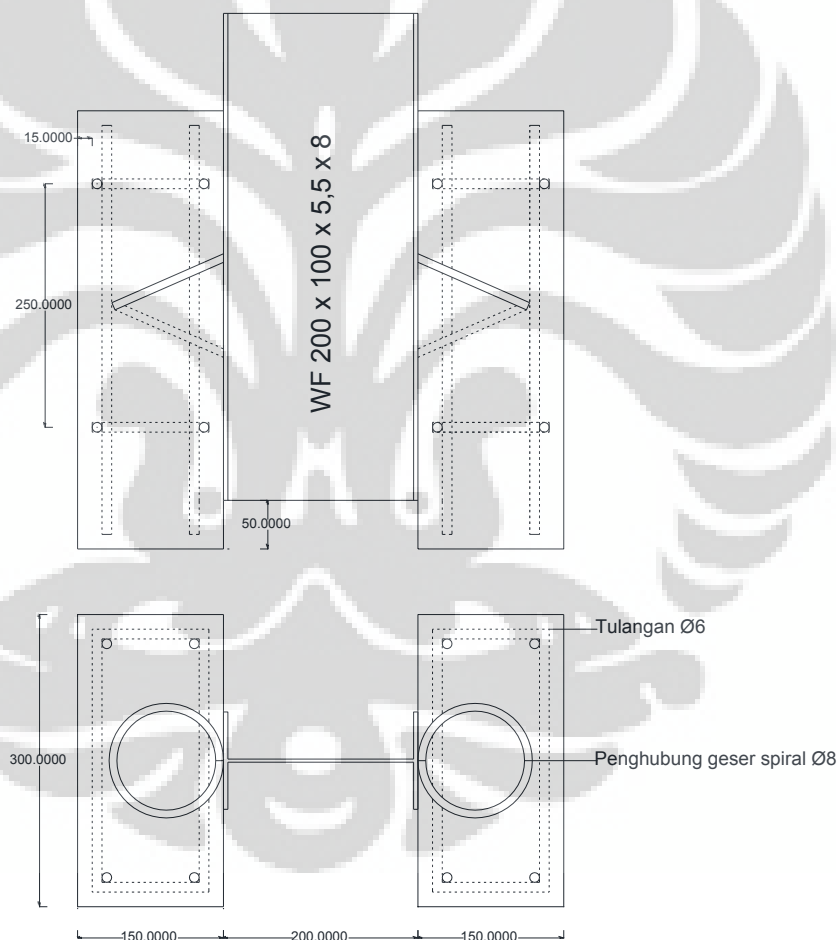
Alat bantu lain yang dipergunakan adalah palu, gergaji, tang, gunting, kuas, ember, selang, terpal, karung goni, dan sebagainya yang dibutuhkan selama pembuatan dan perawatan spesimen.

3.7 Pembuatan Spesimen *Push Out Test*

Langkah-langkah pembuatan spesimen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tulangan baja polos berdiameter 8 mm dibentuk menyerupai spiral dengan bantuan pipa baja yang bersesuaian. Ukuran spiral sesuai dengan spesifikasi sampel pengujian.
2. Penghubung geser berbentuk spiral dilas pada kedua sayap profil baja seperti pada Gambar 3.4.
3. Memasang bekisting pelat beton pada kedua sayap baja yang terbuat dari *plywood*.
4. Memasang tulangan beton bertulang dengan bantuan beton tahu.
5. Membuat adukan beton dengan kuat tekan rencana $f_c' 22,82$ MPa (K-275).

6. Campuran dimasukkan ke dalam alat aduk dan diaduk sampai merata.
7. Campuran beton tersebut dituang pada bekisting pelat beton yang berada pada permukaan sayap profil baja dan bekisting silinder hingga merata pada masing-masing pelat beton tersebut.
8. Beton segar digetarkan dengan alat vibrator.
9. Benda-benda uji tersebut disimpan mengikuti standar perawatan beton (*curing*) dengan menyiram dengan air setiap hari selama 27 hari atau menutup beton dengan goni basah, setelah itu benda uji diangin-anginkan sampai benda uji berumur 28 hari.



Gambar 3.7 Potongan memanjang dan melintang spesimen *push out test*



Gambar 3.8 Spesimen yang telah dicor

3.8 Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan beton dilakukan untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu berada dalam kondisi lembab sejak adukan beton dipadatkan sampai beton berumur 27 hari. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari timbulnya retak pada beton saat mengalami proses hidrasi.

Perawatan beton dilakukan dengan merendam spesimen di dalam air atau membungkusnya dengan menggunakan karung goni basah. Perawatan dilakukan hingga satu hari sebelum dilakukan pengujian, selanjutnya karung goni tersebut dilepas dan beton diangin-anginkan sehingga didapat benda uji dalam keadaan kering.



Gambar 3.9 Spesimen dibungkus seluruh permukaannya dengan karung goni



Gambar 3.10 Spesimen dibungkus dengan plastik di bagian luar karung goni

3.9 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian dilakukan dengan *Compressing Testing Machine* terhadap benda uji yang berumur 28 hari dengan memberikan tekanan terhadap benda uji hingga runtuh. Kuat desak beton diperoleh dari hasil pembagian tekanan maksimum (P) terhadap benda uji dan luas sisi terdesak (A).

Langkah-langah dalam pengujian ini adalah :

1. Menyiapkan dan mengukur dimensi silinder yang akan diuji,
2. Meletakkan spesimen silinder beton pada alat uji tekan,
3. Menghidupkan mesin uji.

Memberikan pembebanan secara berangsur-angsur sehingga benda uji tersebut hancur pada beban maksimal.



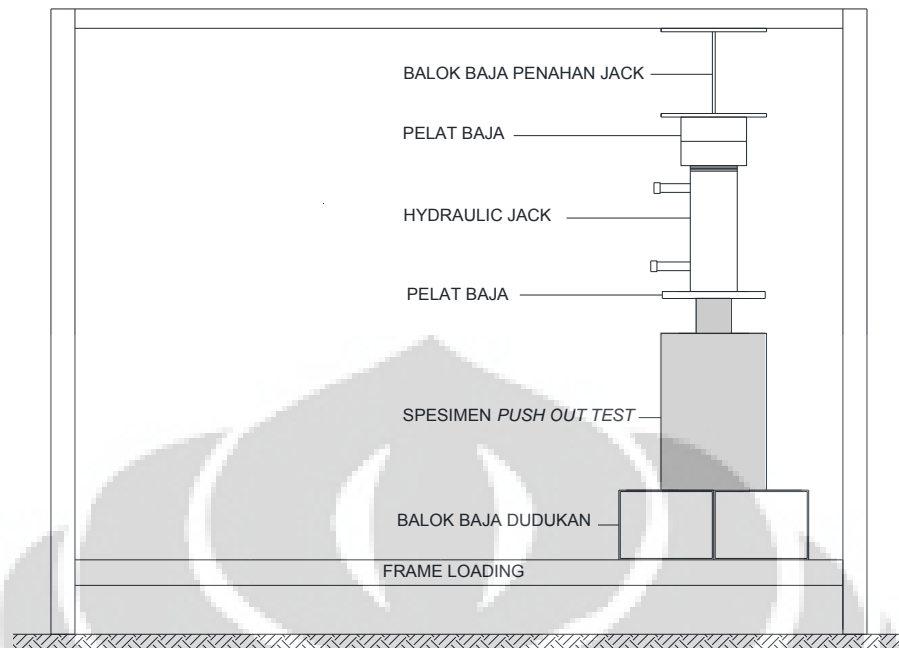
Gambar 3.11 Pengujian kuat tekan beton

3.10 Pengujian *push out*

Push out test dilakukan dengan menggunakan *Hi Tech-Loading Frame* dan *hydraulic jack* Enerpac serta *digital pressure gauge* Enerpac terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari dengan cara menekan bagian atas dari balok baja. Untuk memastikan beban merata tersalurkan pada balok baja, makas dipasang pelat baja di bagian atas dari sampel *push out*. Pengujian dilakukan dengan mencatat pembebanan dan slip yang terjadi.

Langkah-langkah pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Meletakkan benda uji pada mesin.
2. Memberikan pembebanan merata pada setiap benda uji hingga mengalami kegagalan.
3. Mencatat setiap penurunan baja relatif terhadap beton .



Gambar 3.12 Skema pembebanan *push out test*



Gambar 3.13 Pengujian spesimen *push out*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja pembentuk spiral dilakukan untuk mengetahui kekuatan yang mampu ditahan serta menguji kesesuaian kekuatan dan dimensinya berdasarkan peraturan yang berlaku sehingga baja tersebut dapat digunakan secara layak. Hasil pengujian kekuatan tarik dari tiga (3) buah benda uji BJTP-24 berdiameter 8 mm yang digunakan sebagai pembentuk spiral dapat dilihat berdasarkan tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil pengujian kuat tarik baja pembentuk spiral

Spesimen	Leleh (N/mm ²)	Maksimum (N/mm ²)	Putus (N/mm ²)
1	288,468	437,676	159,155
2	298,416	447,623	169,102
3	298,416	457,570	179,049
Rata-rata	295,100	447,623	169,102

Hasil pengujian sampel kuat tarik baja menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh dari setiap spesimen pengujian dan menghasilkan kekuatan rata-rata leleh sebesar 295,100 N/mm², kekuatan maksimum rata-rata sebesar 447,623 N/mm² dan kekuatan pada saat putus sebesar 169,102 N/mm².

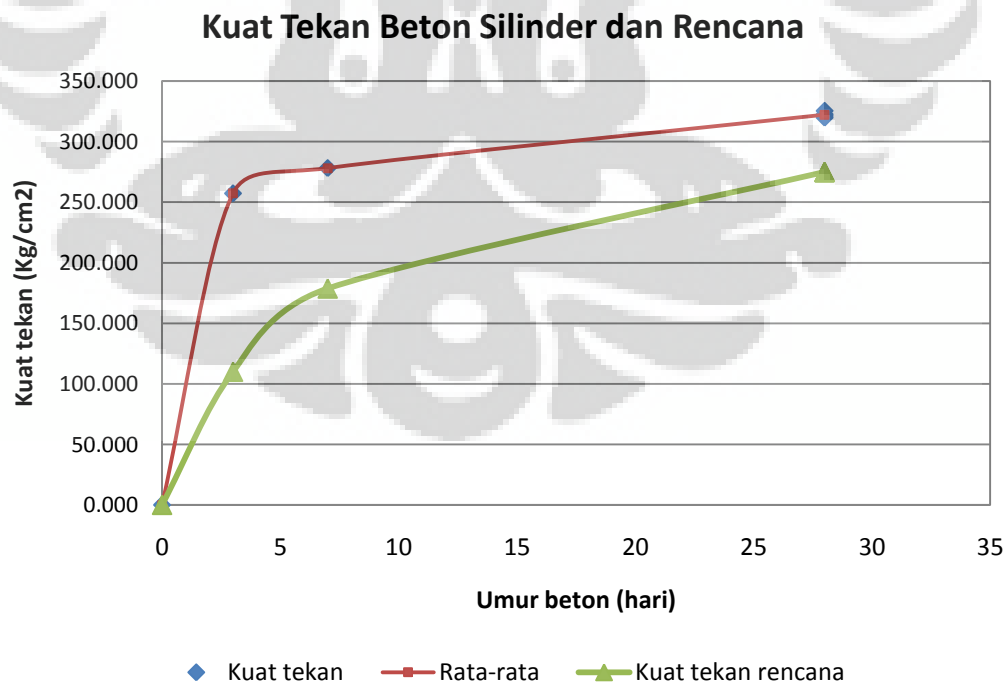
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pengujian kuat tekan pada beton silinder berukuran 15 x 30 cm dilakukan pada 6 buah spesimen. Dua (2) diantaranya diuji pada usia beton 3 hari dan 7 hari sebagai kontrol kekuatan dari silinder beton. Hasil dari pengujian tersebut disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan silinder beton

Spesimen	Usia (hari)	Berat (Kg)	Kuat tekan (Kg/cm ²)
1	3	12,60	257,24
2	7	12,65	278,10
3	28	12,424	321,139
4	28	12,258	322,554
5	28	12,265	319,724
6	28	12,343	325,383

Pengujian sampel silinder pada usia 3 hari, dengan faktor pengali sebesar 0,45 memiliki kuat tekan beton sebesar 571,64 Kg/cm². Dan hasil pengujian pada usia 7 hari yang dikoreksi dengan faktor sebesar 0,7 berdasarkan umur beton diasumsikan akan memiliki kuat tekan sebesar 397,28 Kg/cm² di usia 28 hari. Sementara hasil dari pengujian sampel silinder berumur 28 hari memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah dari hasil yang digambarkan dalam pengujian 3 hari dan 7 hari. Dari hasil tersebut maka secara karakteristik beton tersebut memiliki kuat tekan awal yang tinggi.



Grafik 4.1 Grafik kuat tekan beton silinder

Dari tabel tersebut terlihat adanya variasi kuat tekan silinder beton pada usia 28 hari antara $319,724 \text{ Kg/cm}^2$ hingga 325 Kg/cm^2 . Hasil rata-rata dari pengujian 4 buah silinder beton yang diuji pada usia 28 hari adalah $322,198 \text{ Kg/cm}^2$ atau sebesar $31,608 \text{ Mpa}$ (gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$). Sementara rencana kuat tekan beton awal sebesar $22,82 \text{ MPa}$, maka besarnya peningkatan kuat tekan beton dari kuat rencana sebesar 39% . Peningkatan kuat beton ini mungkin terjadi karena adanya bahan tambahan seperti *additive* maupun *admixture* pada campuran beton.

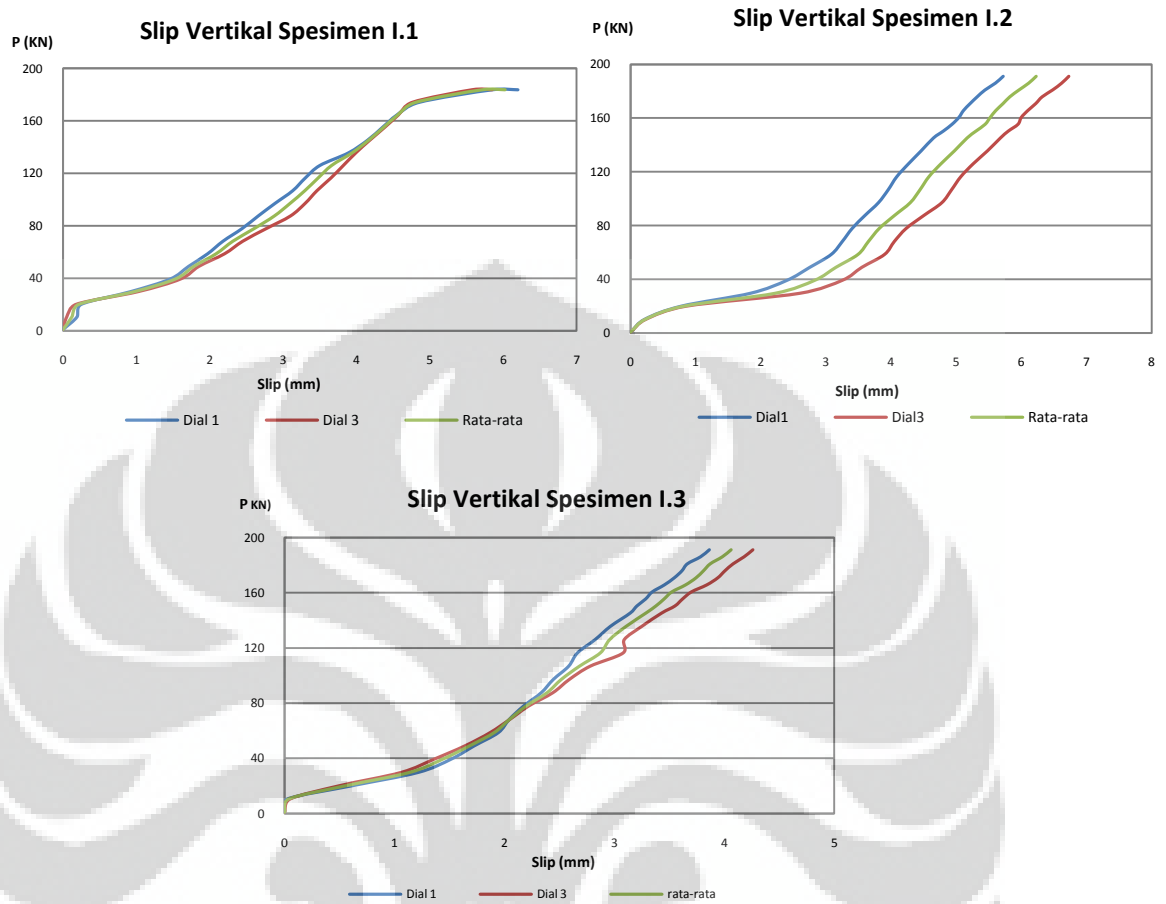


Gambar 4.1 Pengujian spesimen silinder beton

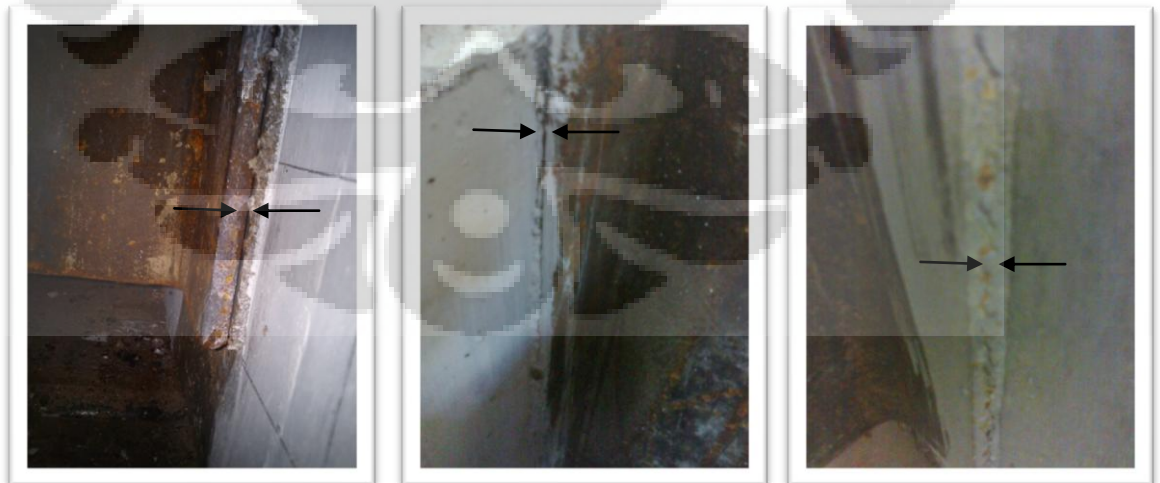
4.3 Hasil Pengujian *Push Out Test*

Untuk mengetahui kapasitas kekuatan yang dapat ditahan oleh penghubung geser spiral, dilakukan pengujian *push out test* pada 12 buah spesimen pengujian yang terdiri dari 4 buah variasi terhadap tinggi spiral. Pengujian spesimen ini dilakukan terbatas pada kekuatan maksimum alat yang diizinkan yaitu sebesar 19 Ton.

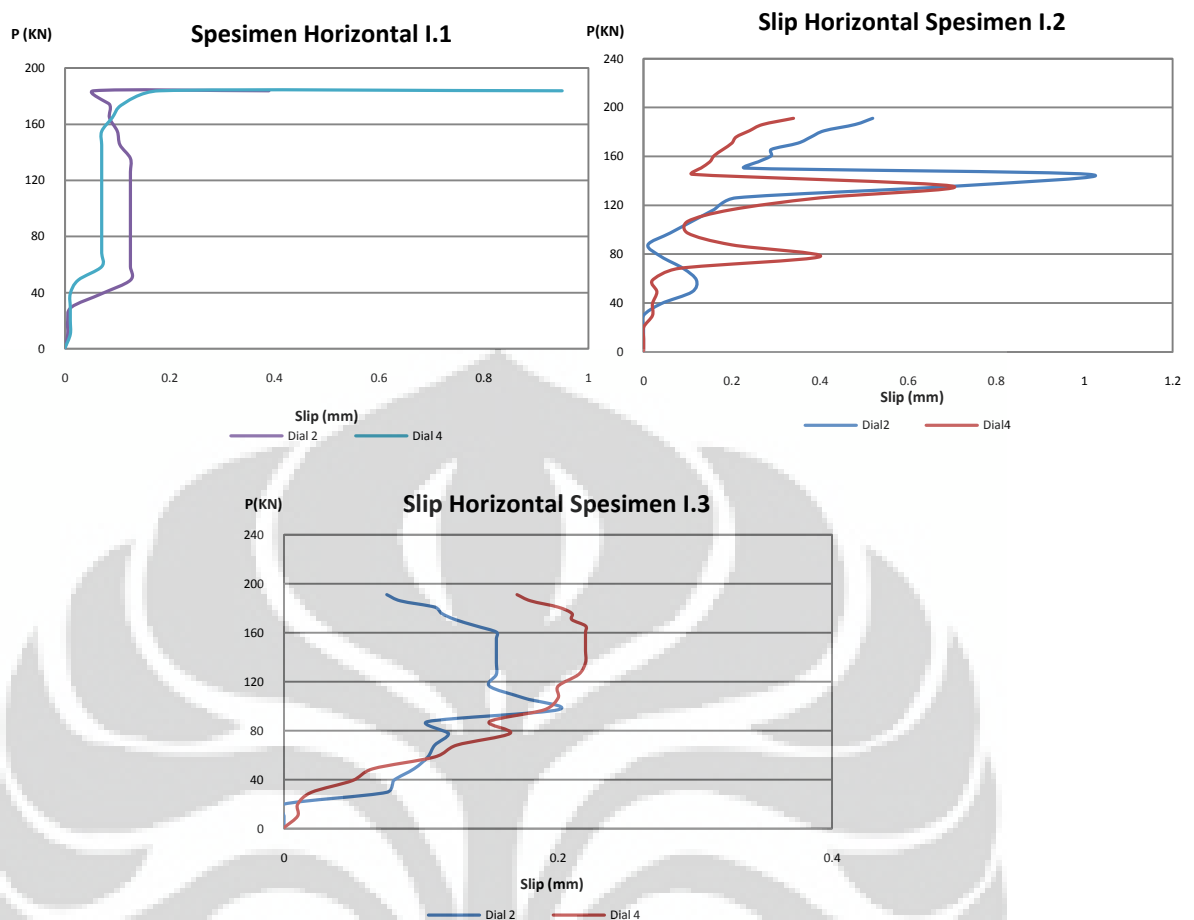
4.3.1 Pengujian spesimen I dengan diameter bagian dalam spiral 2,5 inci



Grafik 4.2 Slip vertikal spesimen I dengan diameter dalam spiral 2,5 inci



Gambar 4.2 Slip pada spesimen I.1, I.2, I.3 (dari kiri ke kanan)

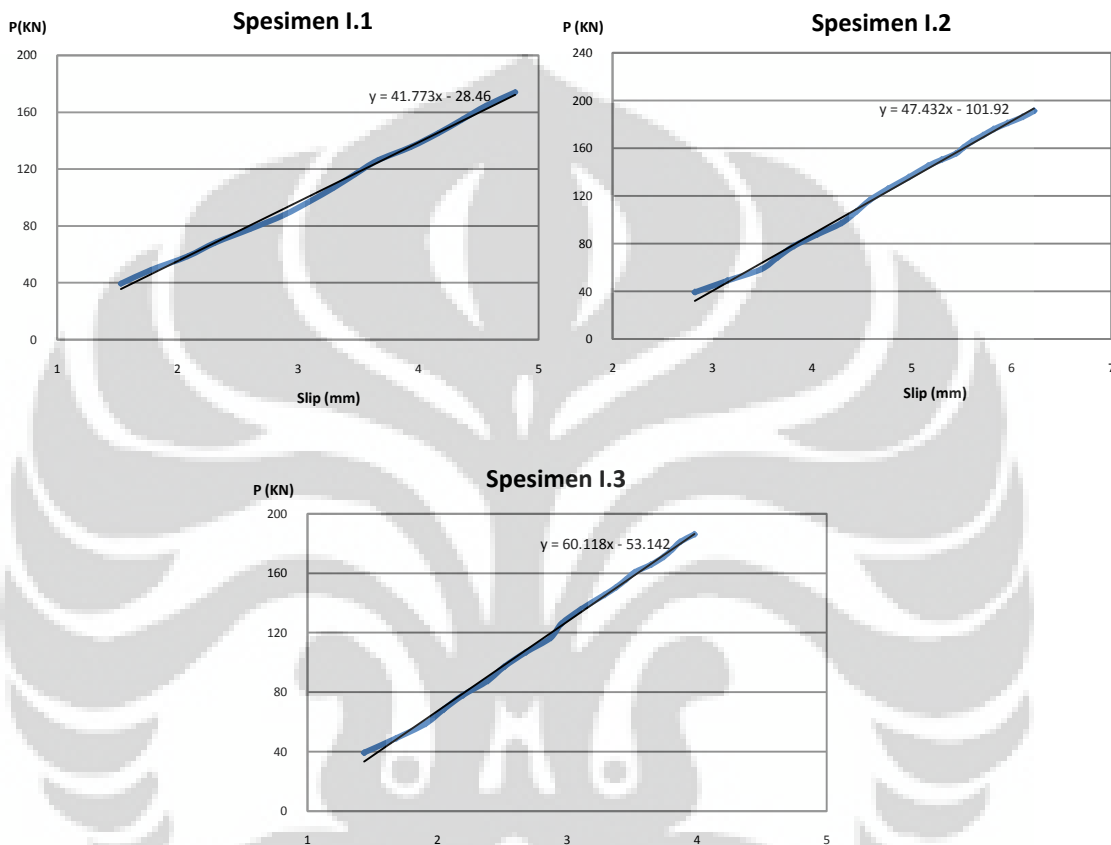


Grafik 4.3 Slip horizontal spesimen I dengan diameter dalam spiral 2,5 inci

Pengujian spesimen I.1 dilakukan pada tanggal 9 April 2012. Setelah diuji, spesimen ini mengalami kegagalan pada saat akan menerima pembebanan sebesar 183,81 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 6,025 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,67 mm dan 0,39 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit. Kegagalan spesimen ini diindikasikan dengan dial yang terus berputar dengan pembebanan yang tetap. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) dan adalah 0,37 %.

Pengujian spesimen I.2 dilakukan pada tanggal 23 April 2012. Setelah diuji hingga batas ijin alat yaitu 191,18 KN, spesimen ini masih belum mengalami kegagalan atau dalam arti kata masih belum mencapai batas maksimalnya. Rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 6,25 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,52 mm dan 0,34 mm.

Pengujian spesimen I.3 dilakukan pada tanggal 8 Mei 2012. Setelah diuji hingga batas ijin alat yaitu 191,18 KN, spesimen ini masih belum mengalami kegagalan atau dalam arti kata masih belum mencapai batas maksimalnya. Rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 4,06 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,075 mm dan 0,17 mm.



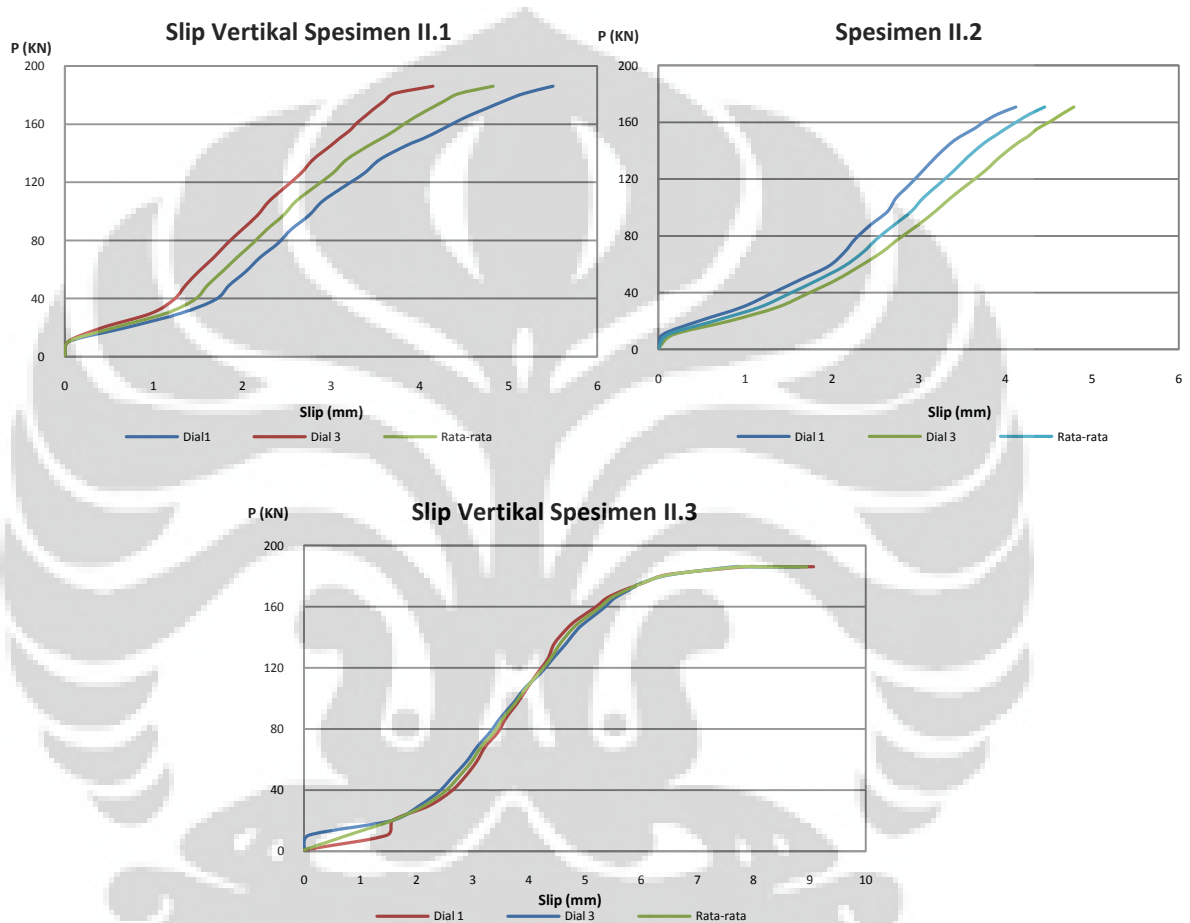
Grafik 4.4 Kekakuan penghubung geser spiral pada spesimen I

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen I.1 dimulai dari pembebanan sebesar 39,34 KN dengan rata-rata slip sebesar 1,53 mm hingga pembebanan sebesar 174,18 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,805 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 41,77.

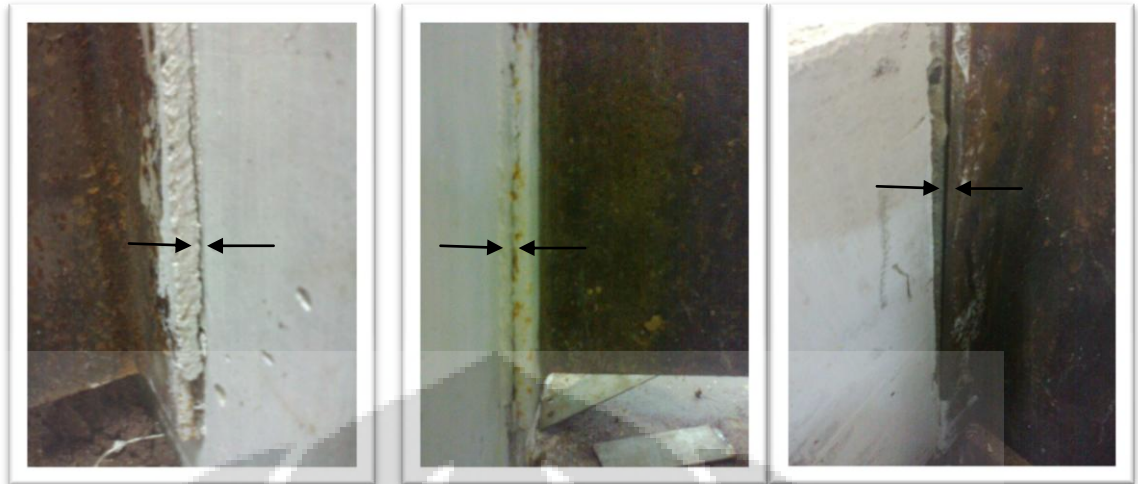
Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen I.2 dimulai dari pembebanan sebesar 39,34 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,825 mm hingga pembebanan sebesar 191,18 KN dengan rata-rata slip sebesar 6,225 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 47,43.

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen I.3 dimulai dari pembebanan sebesar 39,34 KN dengan rata-rata slip sebesar 1,4375 mm hingga pembebanan sebesar 186,08 KN dengan rata-rata slip sebesar 3,9825 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 48,34.

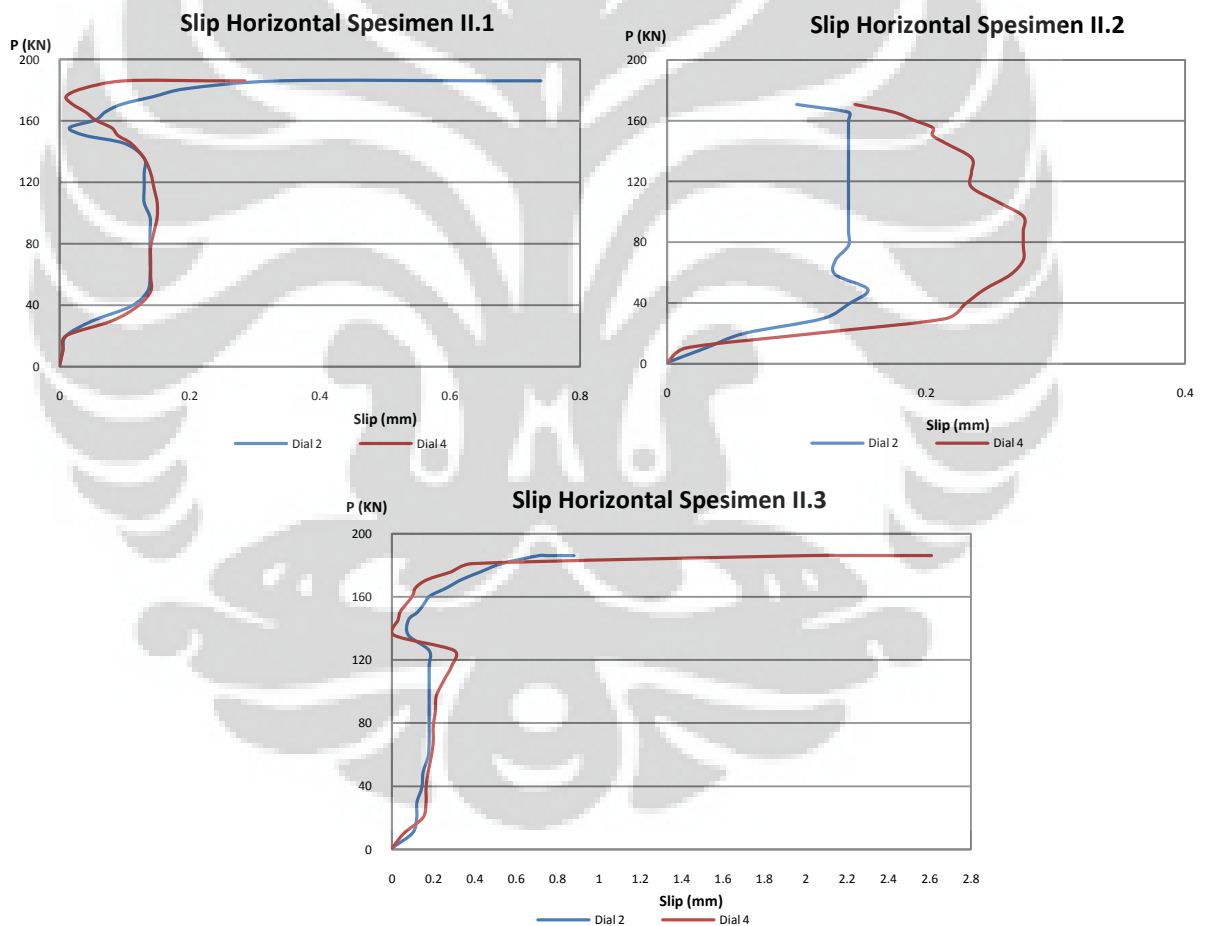
4.3.2 Pengujian spesimen II dengan diameter bagian dalam spiral 3,0 inci



Grafik 4.5 Slip vertikal Spesimen II dengan diameter dalam spiral 3,0 inci



Gambar 4.3 Slip horizontal spesimen II.1, II.2, II.3 (dari kiri ke kanan)



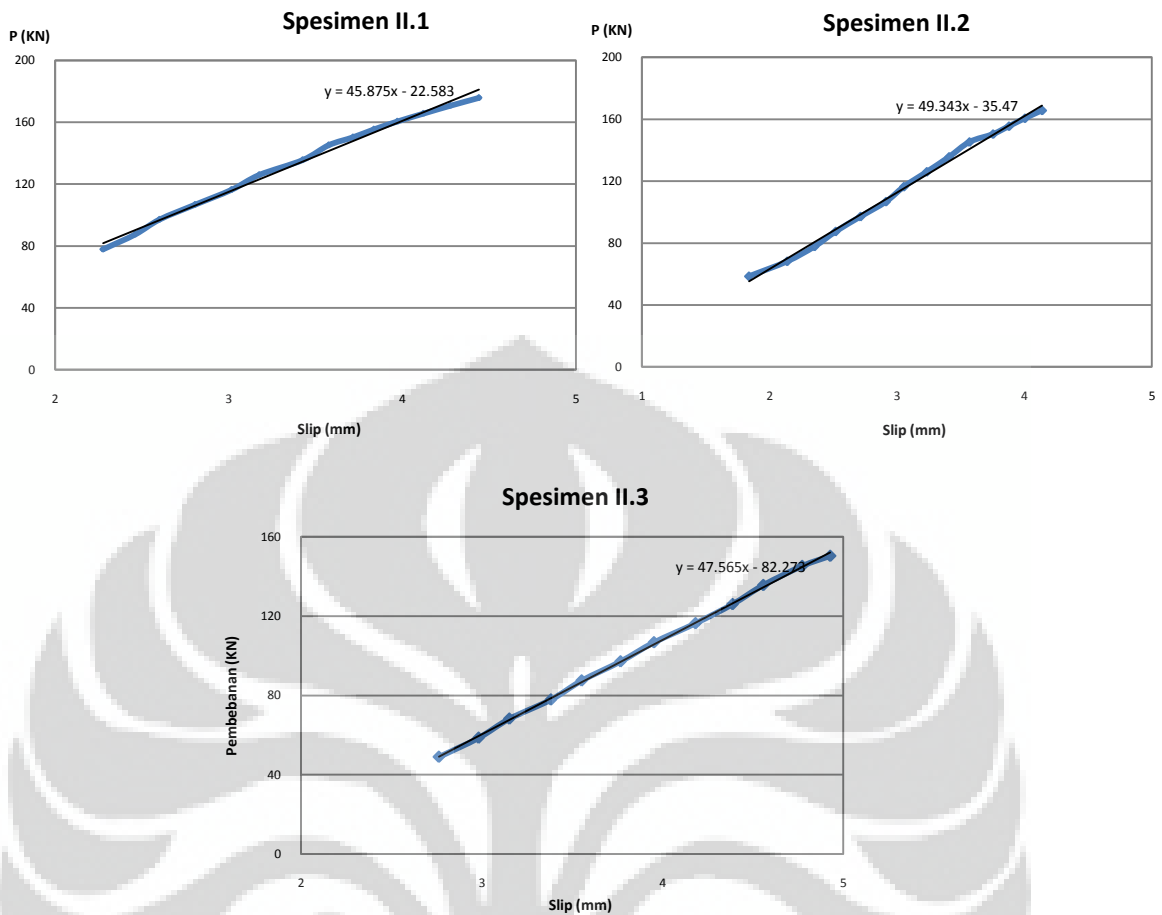
Grafik 4.6 Slip horizontal spesimen II dengan diameter dalam spiral 3,0 inci

Pengujian spesimen II.1 dilakukan pada tanggal 23 April 2012. Setelah diuji, spesimen ini mengalami kegagalan pada saat akan menerima pembebanan

sebesar 186,08 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 5,3 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,74 mm dan 0,285 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit. Indikasi pencapaian kegagalan adalah slip yang terbaca pada dial terus bertambah dengan pembebanan yang tetap. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 0,86 %.

Pengujian spesimen II.2 dilakukan pada tanggal 2 Mei 2012. Setelah diuji, spesimen ini mengalami kegagalan pada saat akan menerima pembebanan sebesar 170,78 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 4,55 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,1 mm dan 0,145 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit. Indikasi terjadinya kegagalan terjadi saat pompa tidak lagi dapat memberikan tekanan pada spesimen. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 4,67 %.

Pengujian spesimen II.3 dilakukan pada tanggal 14 April 2012. Setelah diuji, spesimen ini mengalami kegagalan pada saat akan menerima pembebanan sebesar 186,08 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 8,95 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,88 mm dan 2,61 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit. Indikasi terjadinya kegagalan terjadi saat dial terus berputar dengan pembebanan yang tetap. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 0,84 %.



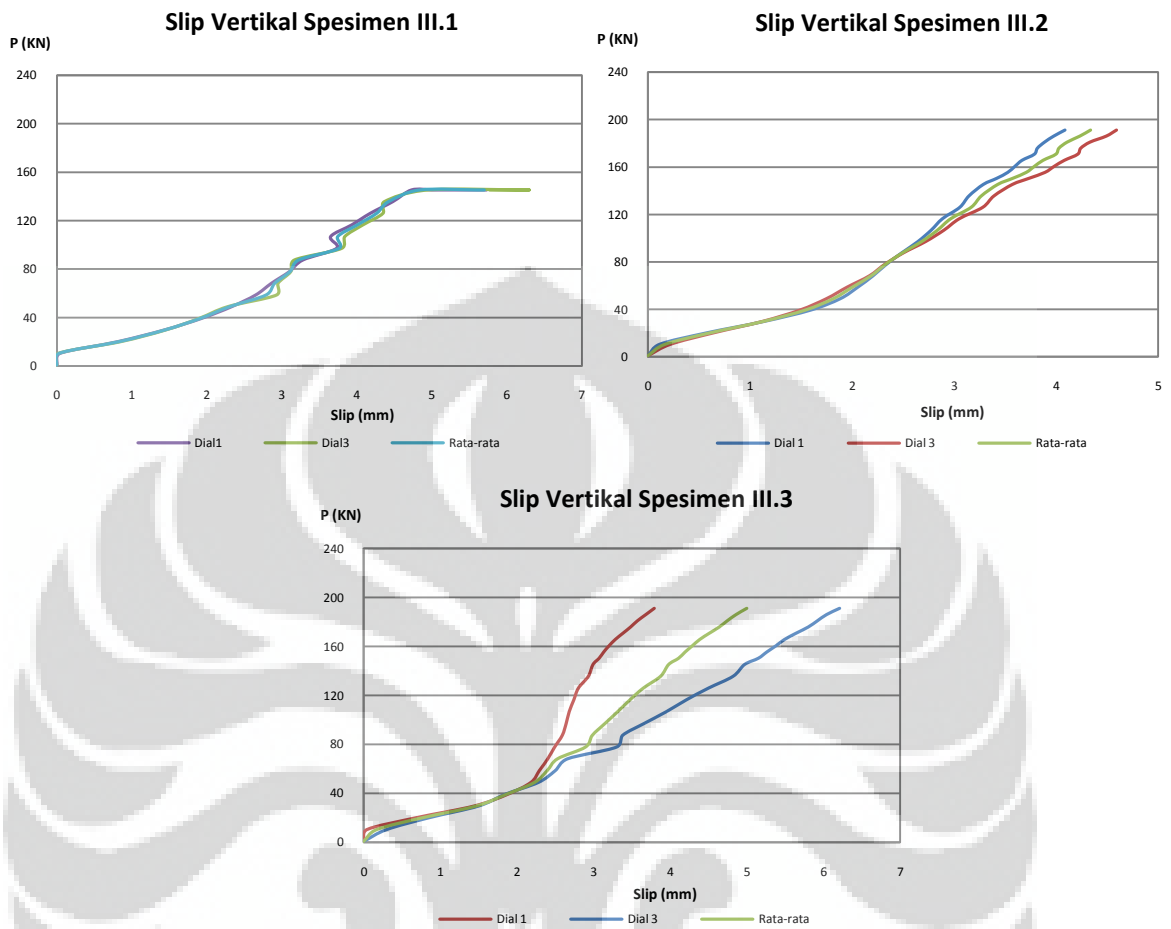
Grafik 4.7 Kekakuan penghubung geser spiral pada spesimen II

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen II.1 dimulai dari pembebanan sebesar 87,5 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,275 mm hingga pembebanan sebesar 180,89 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,44 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 45,87.

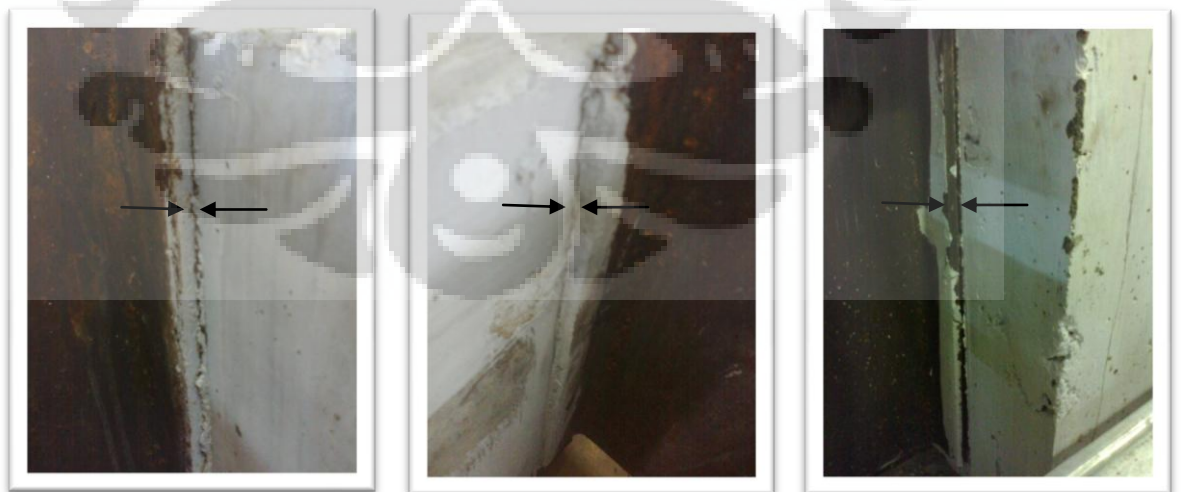
Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen II.2 dimulai dari pembebanan sebesar 58,60 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,14 mm hingga pembebanan sebesar 165,68 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,28 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 49,34.

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen II.3 dimulai dari pembebanan sebesar 48,97 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,7625 mm hingga pembebanan sebesar 150,38 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,9275 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 47,56.

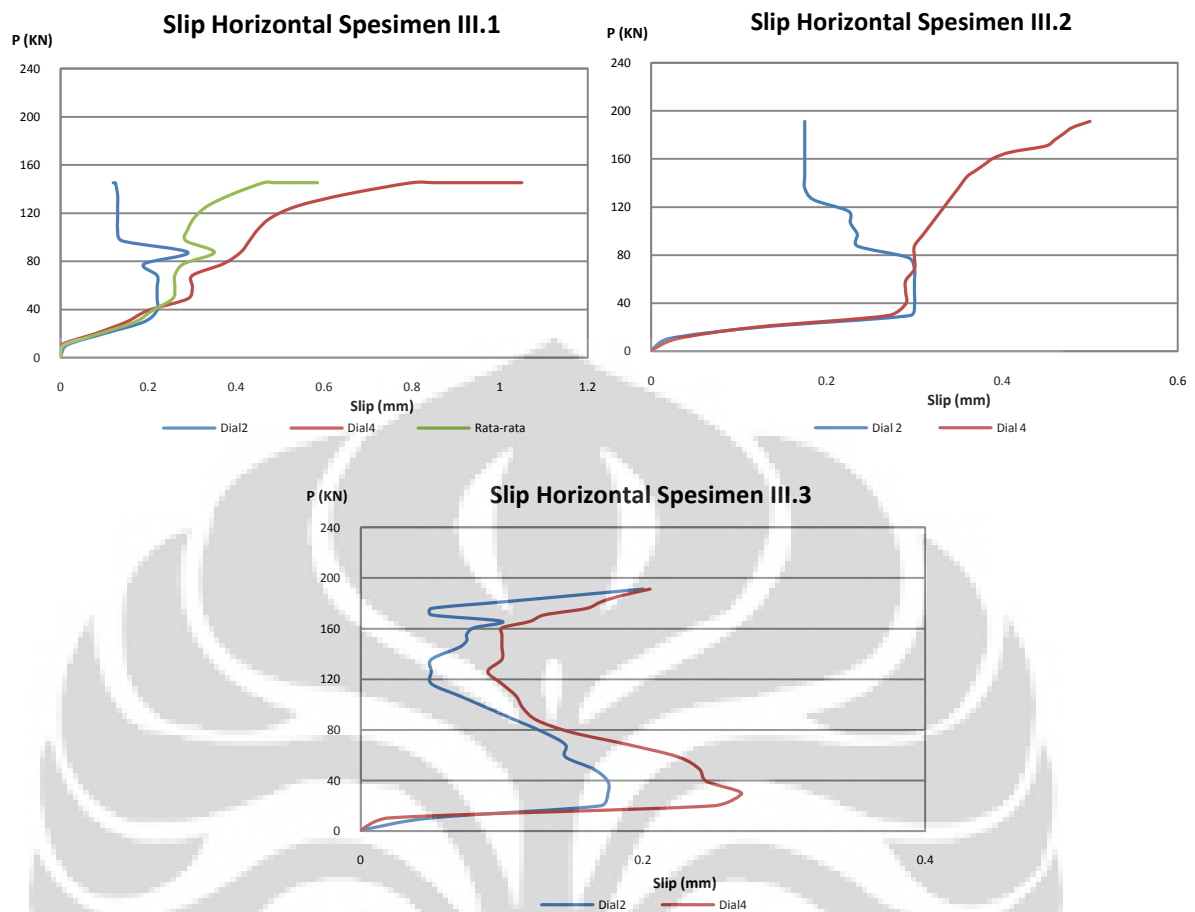
4.3.3 Pengujian spesimen III dengan diameter bagian dalam spiral 3,5 inci



Grafik 4.8 Slip vertikal spesimen III dengan diameter dalam spiral 3,5 inci



Gambar 4.4 Slip horizontal spesimen III.1, III.2, III.3 (dari kiri ke kanan)



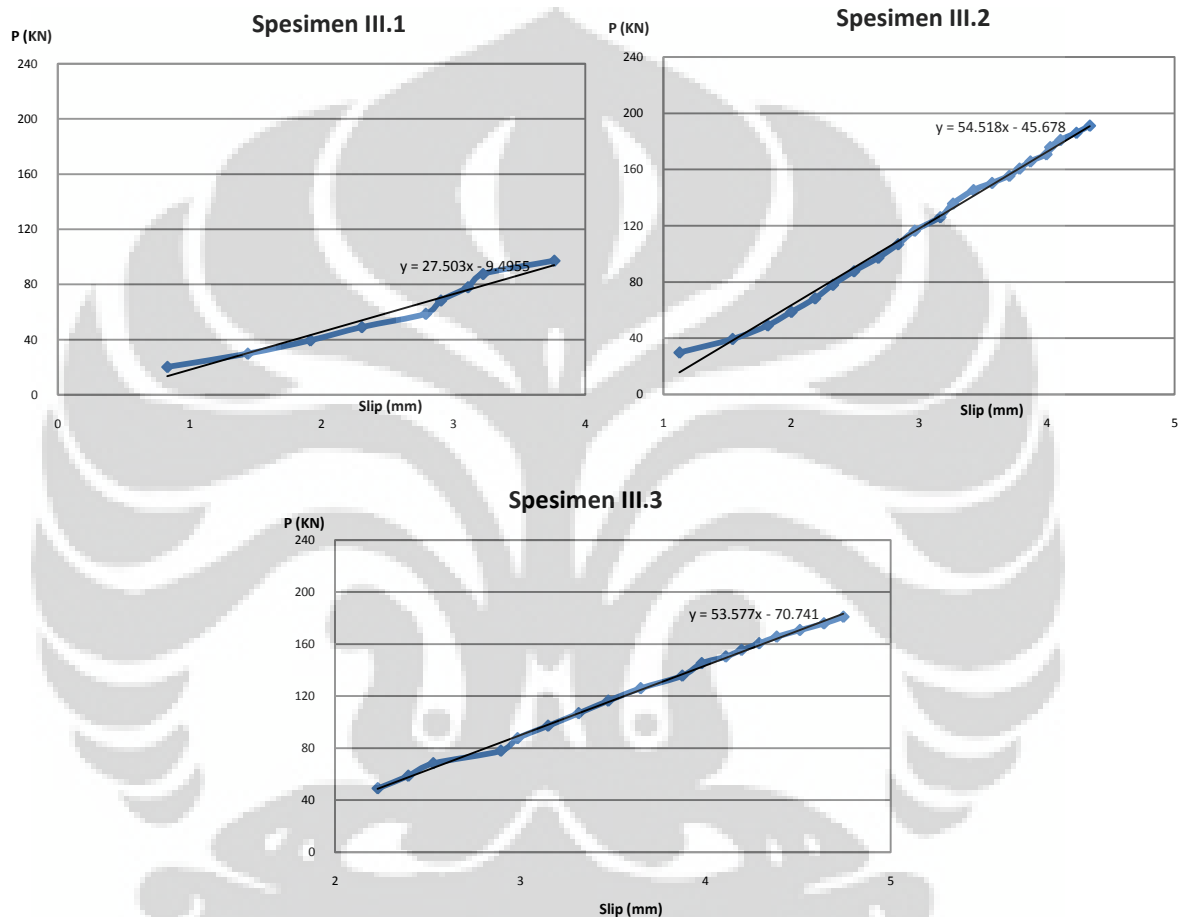
Grafik 4.9 Slip horizontal spesimen III dengan diameter dalam spiral 3,5 inci

Pengujian spesimen III.1 dilakukan pada tanggal 13 April 2012. Setelah diuji, spesimen ini mengalami kegagalan pada saat akan menerima pembebanan sebesar 145,29 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 5,75 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,12 mm dan 1,05 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit pada saat akan diberi pembebanan sebesar 145,29 KN. Indikasi terjadinya kegagalan terjadi saat tekanan pompa tidak dapat naik lagi ke tahap pembebanan berikutnya. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 21,26 %.

Pengujian spesimen III.2 dilakukan pada tanggal 8 Mei 2012. Setelah diuji, spesimen ini belum mencapai kondisi ultimit hingga menerima pembebanan maksimum sebesar 191,18 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang

terjadi sebesar 4,34 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,175 mm dan 0,50 mm.

Pengujian spesimen III.3 dilakukan pada tanggal 14 April 2012. Setelah diuji, spesimen ini belum mencapai kegagalan hingga kapasitas beban maksimal yaitu 191,18 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 5,0 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,2 mm dan 0,205 mm.



Grafik 4.10 Kekakuan penghubung geser spiral spesimen III

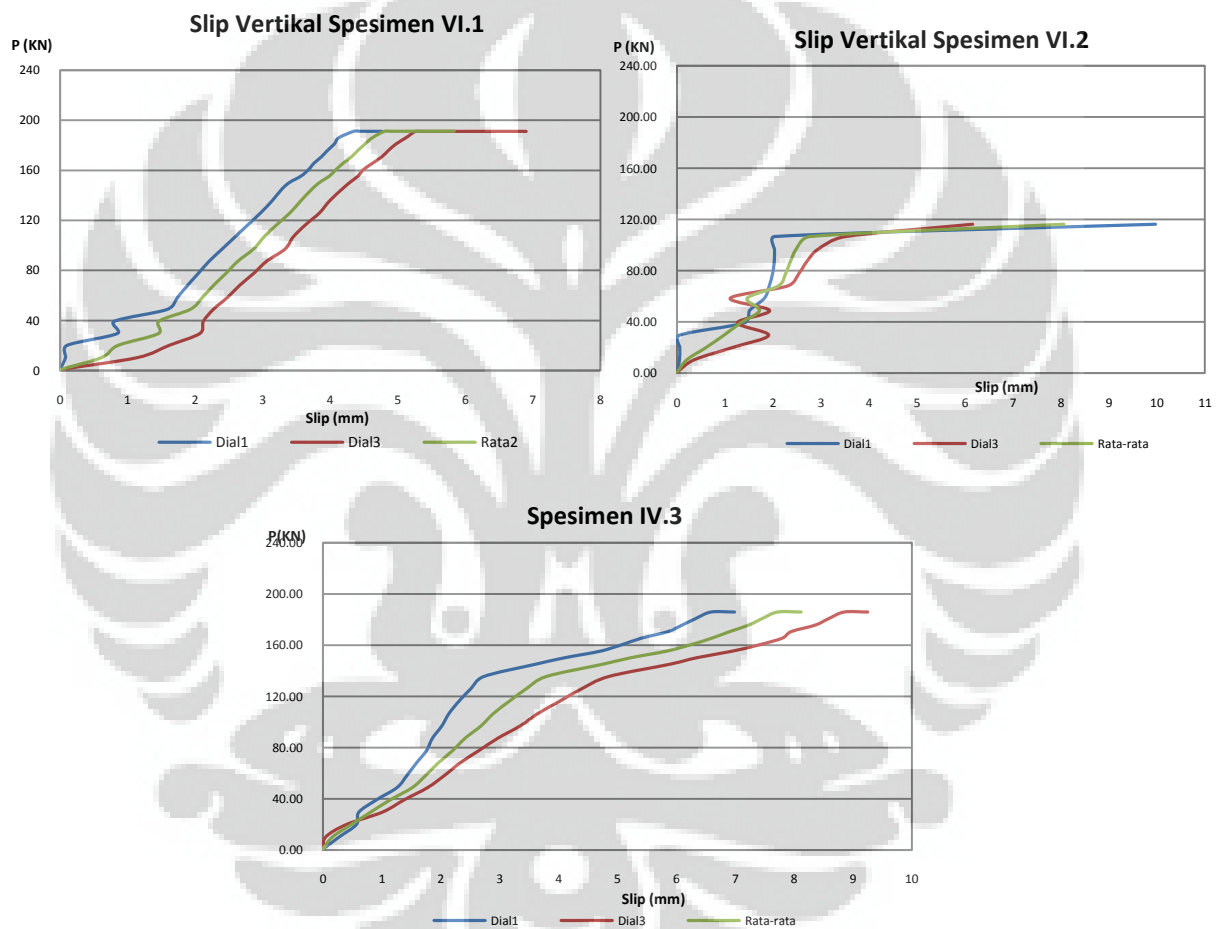
Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen III.1 dimulai dari pembebanan sebesar 20,08 KN dengan rata-rata slip sebesar 0,83 mm hingga pembebanan sebesar 97,13 KN dengan rata-rata slip sebesar 3,765 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 27,5.

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen III.2 dimulai dari pembebanan sebesar 29,71 KN dengan rata-rata slip sebesar 1,13 mm hingga

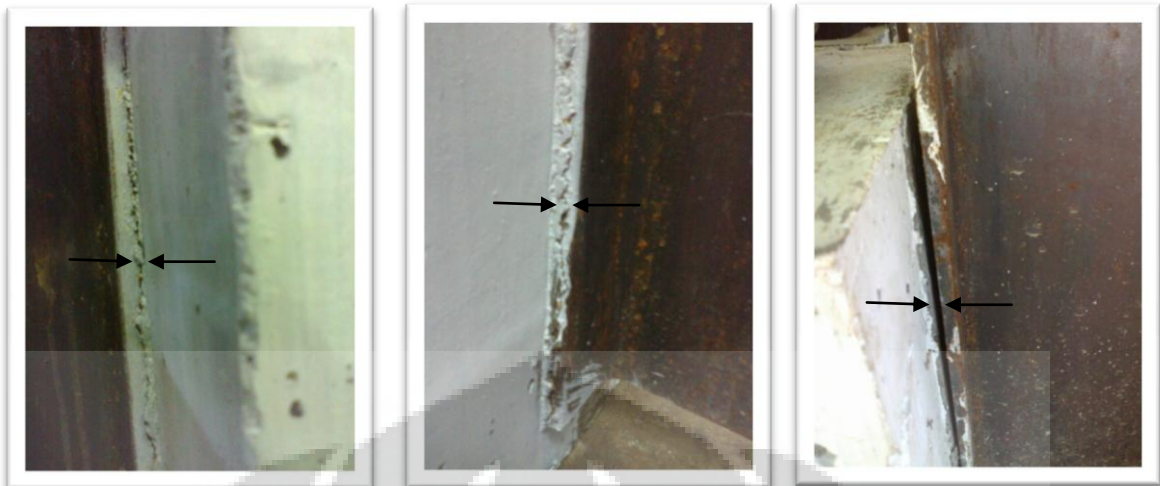
pembebanan sebesar 191,18 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,34 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 54,51.

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen III.3 dimulai dari pembebanan sebesar 48,97 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,23 mm hingga pembebanan sebesar 180,98 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,745 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 53,57.

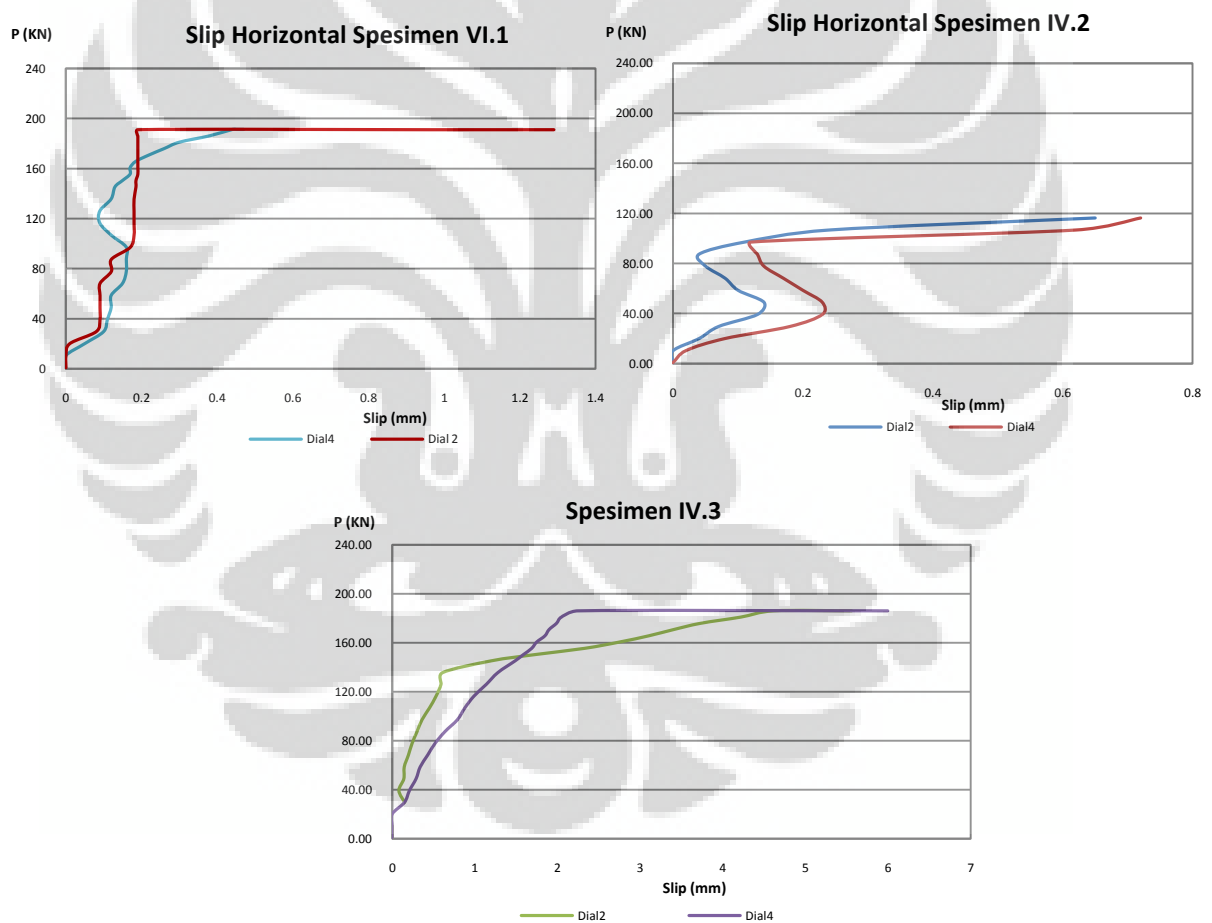
4.3.4 Pengujian spesimen IV dengan diameter bagian dalam spiral 4,0 inci



Grafik 4.11 Slip vertikal spesimen IV dengan diameter dalam spiral 4,0 inci



Gambar 4.5 Slip horizontal spesimen IV.1, IV.2, IV.3 (dari kiri ke kanan)



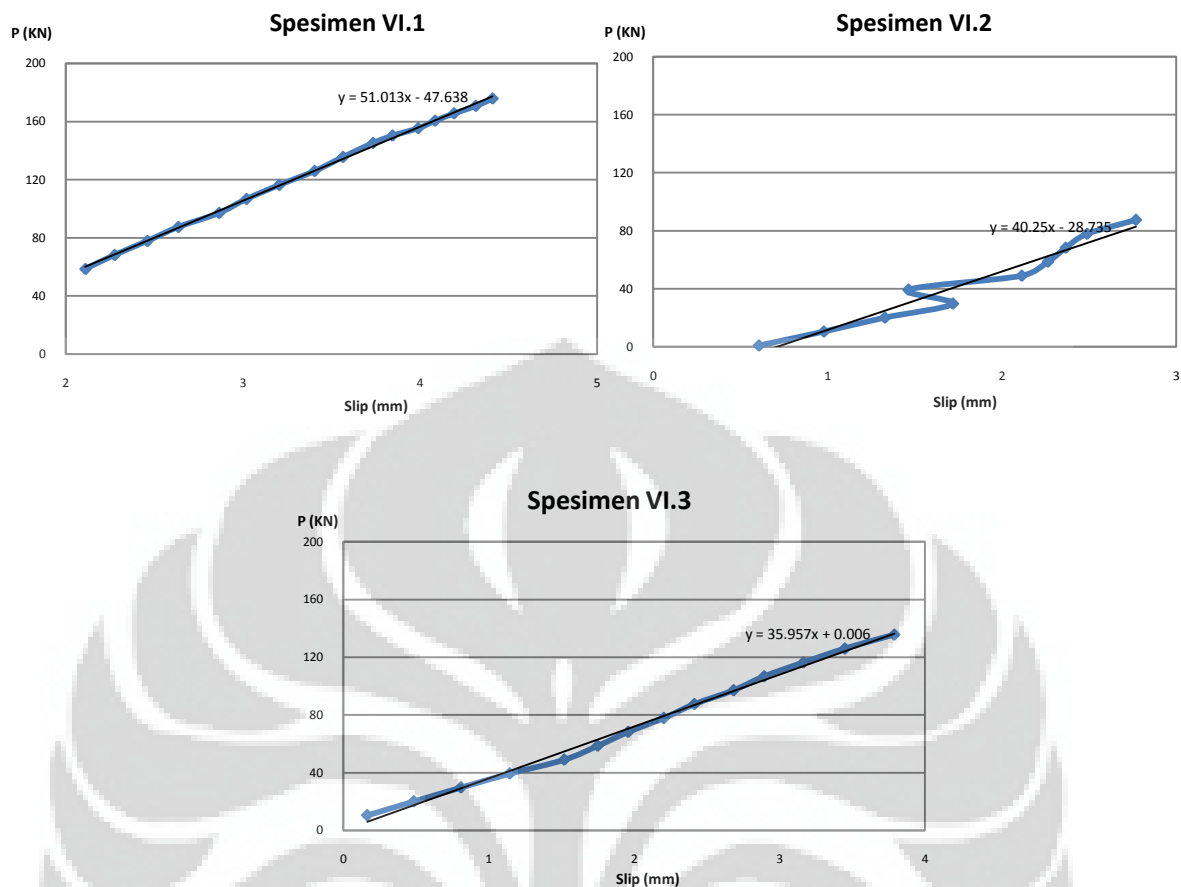
Grafik 4.12 Slip horizontal spesimen IV dengan diameter dalam spiral 4,0 inci

Spesimen IV.1 diuji pada tanggal 11 April 2012 dan mengalami kegagalan pada saat akan menerima pembebanan sebesar 191,18 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 5,835 mm dan pemisahan spesimen arah

horizontal sebesar 1,29 mm dan 0,47 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit pada saat akan diberi pembebanan sebesar 191,18 KN. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 3,6 %.

Spesimen IV.2 diuji pada 14 April 2012 dan gagal pada saat akan menerima pembebanan sebesar 116,39 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 8,065 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 0,65 mm dan 0,72 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit pada saat akan diberi pembebanan sebesar 116,39 KN. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 36,92 %.

Spesimen IV.3 diuji pada 14 April 2012 dan gagal pada saat akan menerima pembebanan sebesar 186,08 KN dengan rata-rata slip vertikal maksimum yang terjadi sebesar 8,12 mm dan pemisahan spesimen arah horizontal sebesar 5,65 mm dan 6 mm. Kegagalan spesimen terjadi dengan pemisahan antara baja dan beton yang menunjukkan telah terjadi kegagalan aksi komposit. Besarnya perbedaan terhadap kekuatan ultimit rencana yang berasal dari rumus Slutter dan Driscoll (1963) adalah 0,84 %.



Grafik 4.13 Kekakuan penghubung geser spiral spesimen VI

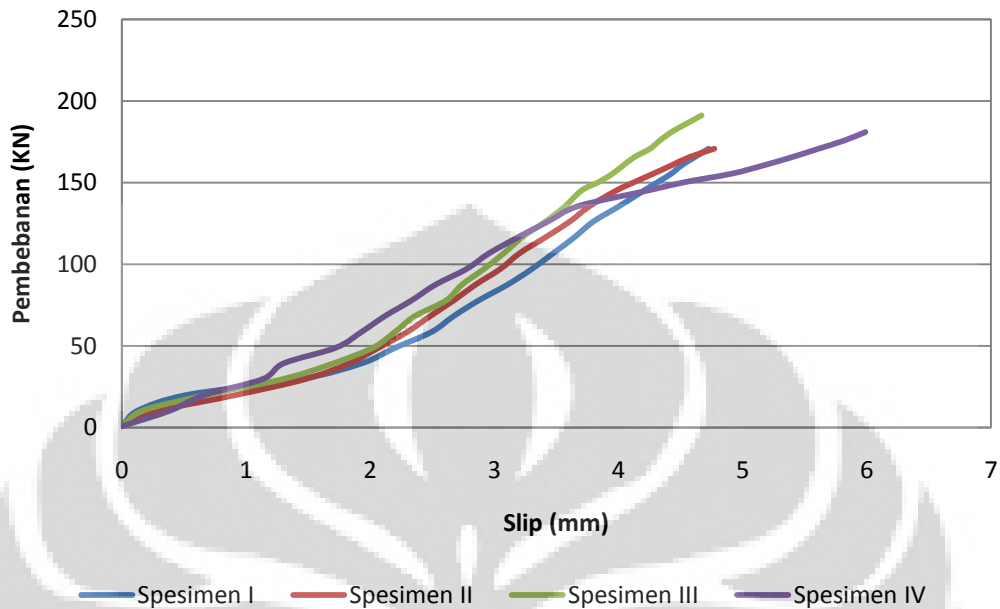
Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen IV.1 dimulai dari pembebanan sebesar 58,60 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,11 mm hingga pembebanan sebesar 175,88 KN dengan rata-rata slip sebesar 4,41 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 51,01.

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen IV.2 dimulai dari pembebanan sebesar 20,08 KN dengan rata-rata slip sebesar 0,6065 mm hingga pembebanan sebesar 106,76 KN dengan rata-rata slip sebesar 2,77 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 40,25.

Kekakuan dari penghubung geser spiral pada spesimen IV.3 dimulai dari pembebanan sebesar 10,45 KN dengan rata-rata slip sebesar 0,165 mm hingga pembebanan sebesar 135,65 KN dengan rata-rata slip sebesar 3,79 mm. Dari hasil *linear trendline* diperoleh besarnya kelandaian adalah 35,95.

4.4 Perbandingan Keempat Penghubung Geser Spiral

Grafik Slip Rata-Rata Spesimen

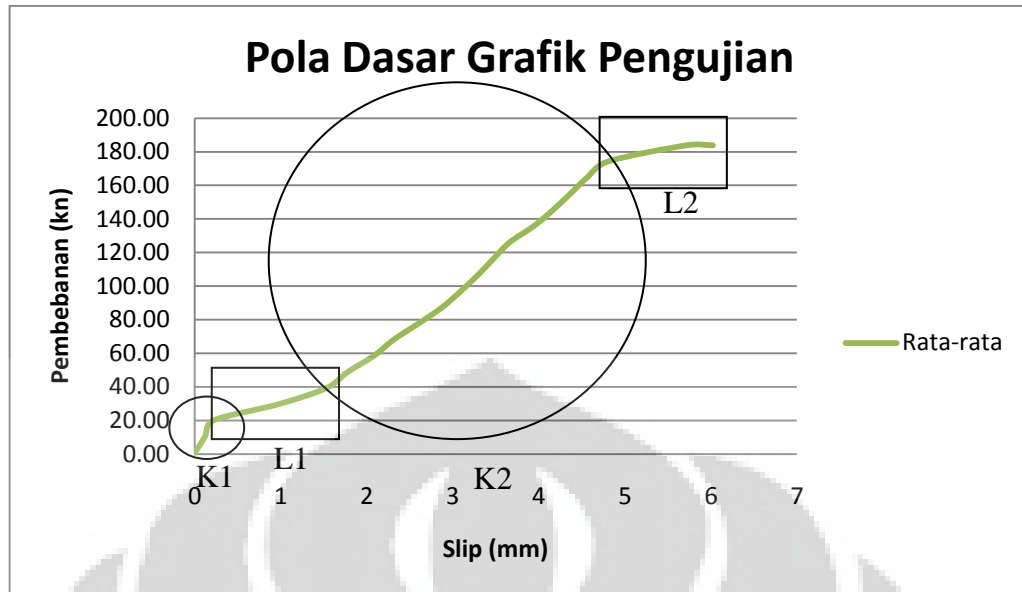


Grafik 4.14 Rata-rata slip seluruh spesimen

Dari Grafik 4.26 diketahui bahwa pada slip-slip awal, spesimen IV memiliki slip yang paling besar diantara spesimen yang lainnya. Kemudian dilanjutkan dengan ketahanan penghubung geser dalam menahan gaya yang bekerja. Pada kondisi ini, spesimen IV, III, II dan I secara berurutan membentuk pola yang terlihat dimana semakin kecil diameter spiral, dengan slip yang sama pencapaian pembebanan yang terjadi semakin kecil. Pembahasan ini akan disampaikan lebih lanjut pada sub-bab berikutnya pada bab ini.

4.4.1 Grafik pembebanan (P) VS slip vertikal rata-rata

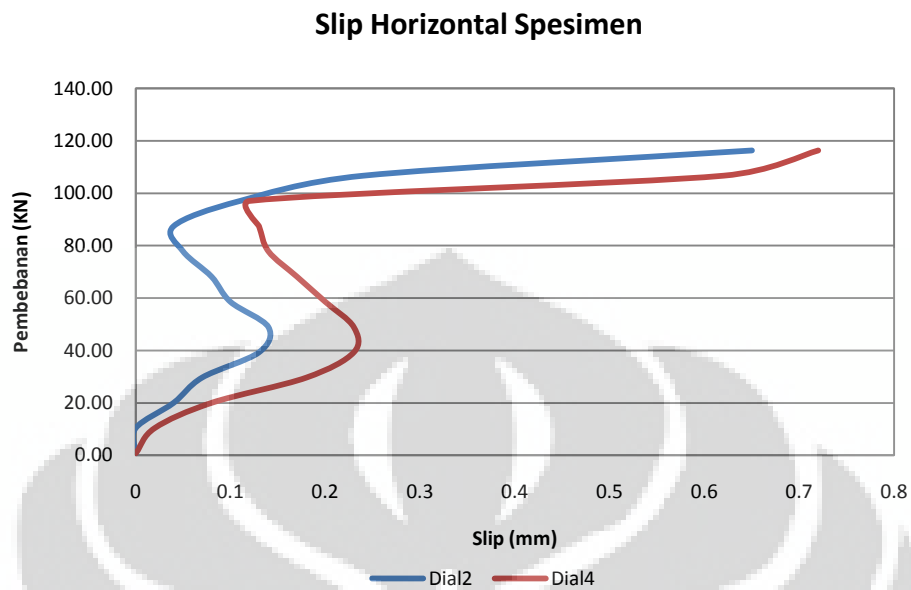
Grafik yang terlihat dari hasil pengujian tersebut secara garis besar memiliki pola yang sama pada setiap pengujian seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut.



Grafik 4.15 Pola dasar grafik pengujian spesimen *push out*

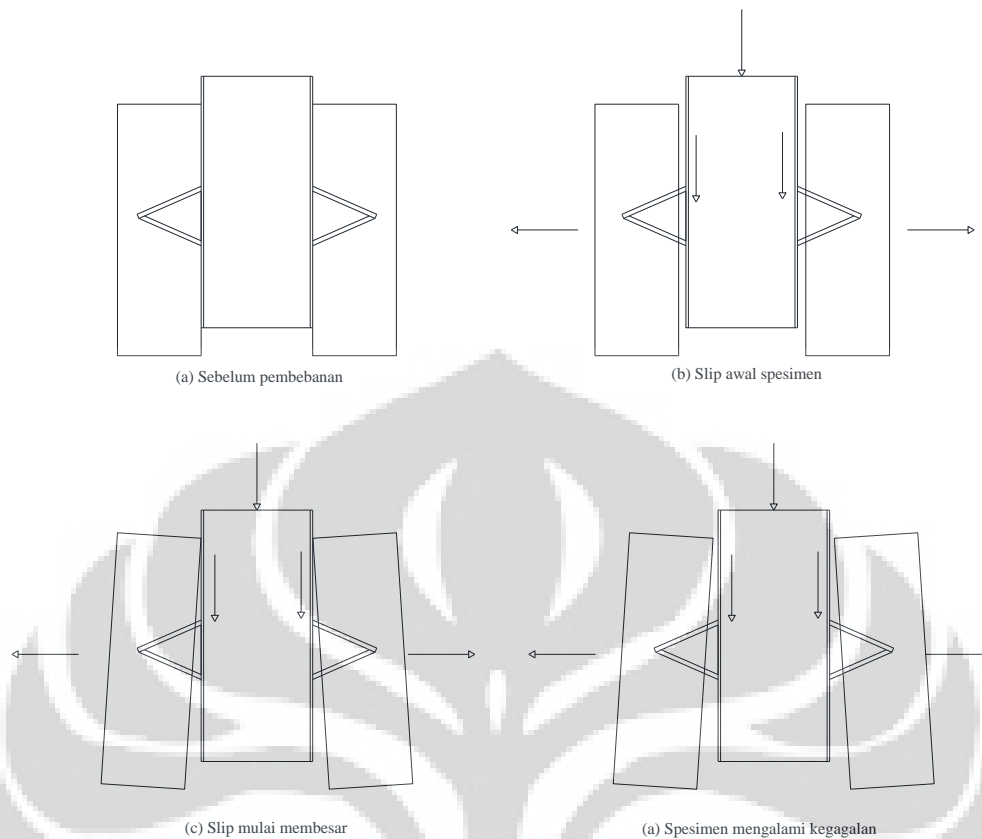
Grafik tersebut memiliki 2 (dua) buah kelandaian yaitu K1 dan K2. Kelandaian K1 mengindikasikan adanya proses pelepasan lekatan antara komposit baja dan beton yang kemudian dilanjutkan dengan tahanan geser dari penghubung geser spiral yang diidentifikasi pada kelandaian K2. Kelandaian K2 yang selanjutnya disebut sebagai kekakuan dari penghubung geser spiral selanjutnya akan dianalisa untuk memperoleh hubungan antara kekakuan penghubung geser spiral dengan besarnya variasi diameter spiral yang dipergunakan. Kelandaian L1 mengindikasikan adanya peningkatan slip pasca lepasnya lekatan antara sisi komposit baja dan beton yang kemudian ditahan oleh perilaku adanya penghubung geser spiral. Dan kelandaian L2 merupakan peningkatan slip yang mengindikasikan bahwa penghubung geser spiral akan mengalami kegagalan dan telah melewati kapasitasnya.

4.4.2 Grafik pembebanan (P) VS slip horizontal rata-rata



Grafik 4.16 Slip horizontal spesimen *push out test*

Sebagai contoh, grafik diatas adalah salah satu bentuk slip horizontal spesimen *push out test* yang akan dianalisa perilakunya. Slip horizontal tersebut diperoleh berdasarkan pengukuran *dial* gauge yang dipasang pada setengah tinggi beton pada sisi luarnya. Jika diperhatikan, slip pertama hingga pembebanan sekitar 40 KN balok baja dan pelat beton memisah sejarak slip yang terjadi pada masing-masing sisi (Gambar 4.15.a), lalu kemudian spesimen tersebut kembali merapat hingga bagian ujung atasnya bersentuhan (Gambar 4.15.b) dan kemudian merenggang kembali (Gambar 4.15.c) . Perilaku tersebut dapat diasumsikan dan digambarkan seperti pada gambar 4.15.



Gambar 4.6 Asumsi pergerakan slip horizontal spesimen akibat pembebanan

4.5 Analisa Terhadap Grafik Kekakuan

Setelah diperoleh kekakuan dari masing-masing spesimen *push out*, selanjutnya kelandaian tersebut diplot dalam tabel berikut dan dirata-ratakan hasilnya. Dari tabel rata-rata tersebut maka diperoleh suatu hubungan bahwa semakin besar diameter yang digunakan pada penghubung geser spiral, semakin kecil kekakuan yang terjadi atau dalam kata lain kekakuan penghubung geser berbanding terbalik terhadap besarnya diameter yang dipergunakan.

Sebagai perbandingan, digunakan rata-rata dari kekakuan terbesar yaitu spesimen I untuk mengetahui rasio pengurangan kekakuan akibat bertambahnya diameter penghubung geser spiral.

Tabel 4.3 Rata-rata kekakuan penghubung geser spiral

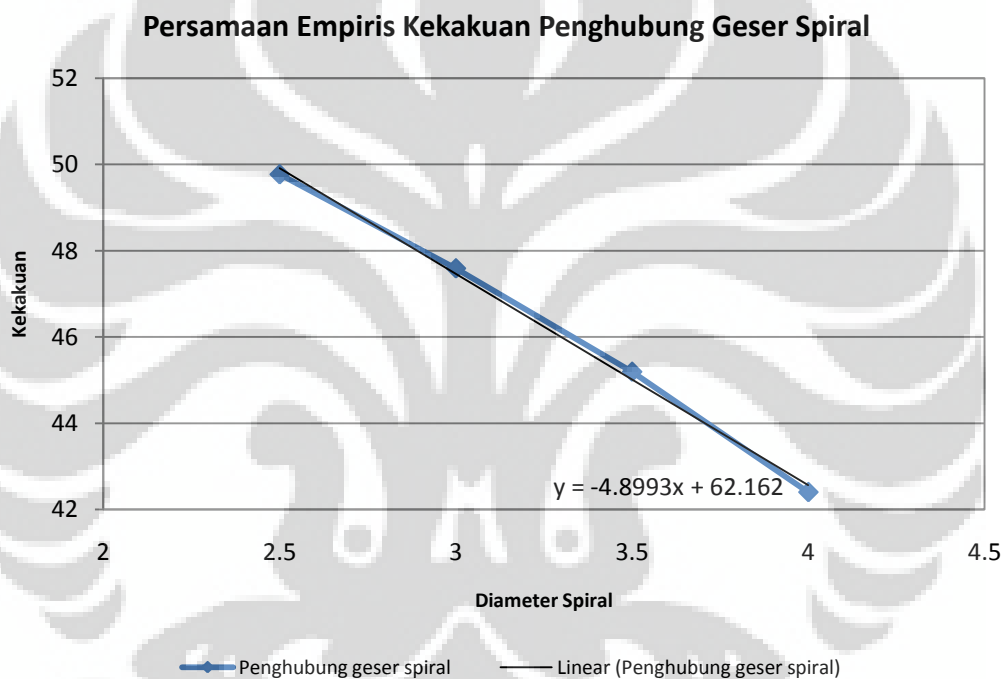
Spesimen	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata-rata	Rasio terhadap spesimen I
I	41,77	47,43	60,11	49,77	1,00
II	45,87	49,34	47,56	47,59	0,96

III	27,5	54,51	53,57	45,19333	0,91
IV	51,01	40,25	35,95	42,40333	0,85

Selanjutnya, jika besarnya kekakuan tersebut diplot menjadi suatu grafik dengan *linear trendline* maka diperoleh persamaan pertambahan kekakuan dari penghubung geser berdasarkan penelitian ini adalah sebesar:

$$y = -4,8993x + 62,162 \quad (4.1)$$

dengan y adalah besarnya kekakuan penghubung geser spiral berdasarkan data pengujian dan x adalah diameter spiral yang digunakan.



Grafik 4.17 Persamaan empiris kekakuan penghubung geser spiral

4.6 Kekuatan Penghubung Geser Spiral Berdasarkan Hasil Penelitian

Berikut ini adalah tabel pembebanan maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen pengujian *push out*. Beberapa spesimen belum mencapai kondisi ultimit hingga batas kapasitas ijin alat tercapai, seperti spesimen I.2, I.3, III.2, dan III.3. Besarnya P_{max} merupakan kapasitas pembebanan maksimum pada pengujian penghubung geser dimana slip yang didapatkan masih tercatat dengan baik. Karena keterbatasan alat yang tidak mampu menerapkan pola pengujian dengan *displacement control* dan memperhitungkan slip yang terjadi setelah

kondisi ultimit tercapai. Sehingga besarnya P ultimit diidentifikasi sebagai pembebanan yang tercapai saat spesimen komposit telah dianggap mencapai kegagalan. Selanjutnya, besarnya P ultimit hasil pengujian dibandingkan dengan perhitungan P ultimit rencana yang berasal dari persamaan 2.4 yaitu sebesar 184,5261 KN.

Tabel 4.4 Hasil pengujian penghubung geser spiral

Spesimen		P max	P ultimit	Rasio terhadap P ultimit rencana
I	1	174,18	183,81	0,996
	2	191,18	-	-
	3	191,18	-	-
II	1	175,88	186,08	1,008
	2	170,78	175,88	0,953
	3	180,98	186,08	1,008
III	1	135,65	145,29	0,787
	2	191,18	-	-
	3	191,18	-	-
IV	1	186,08	191,18	1,036
	2	106,76	116,39	0,631
	3	180,98	186,08	1,008

Karena besarnya P ultimit tidak dapat tercapai pada seluruh spesimen, maka besarnya P akan diidentifikasi berdasarkan nilai slip tertentu. Besarnya slip ini dipilih sebesar 3,0 mm dengan asumsi bahwa pada slip tersebut berada pada daerah tahanan geser yang diakibatkan oleh penghubung geser spiral dan nilai slip tersebut tercapai di seluruh spesimen.

Berikut ini adalah besarnya pembebanan (P) yang dicapai oleh masing-masing spesimen dengan slip sebesar 3,0 mm. Pembebanan tersebut diperoleh dengan menerapkan prinsip interpolasi diantara dua nilai yang telah diketahui, kemudian nilai pembebanan tersebut disajikan dalam tabel dibawah ini.

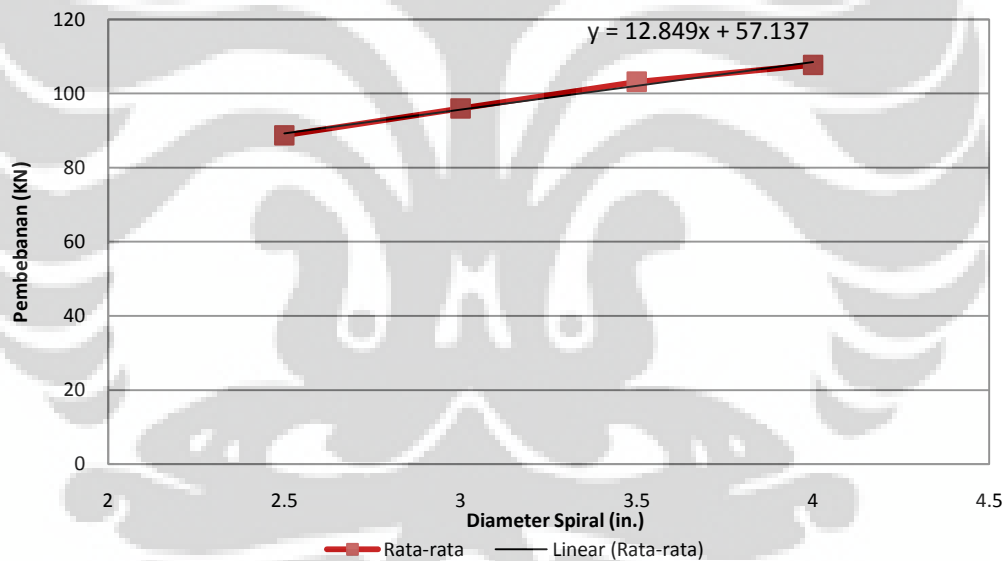
Tabel 4.5 Besarnya pembebanan pada slip 3,0 mm

SPESIMEN		P (KN)	P rata-rata (KN)
I	1	92,87	88,72
	2	44,53	
	3	128,75	

II	1	125,34	95,97
	2	102,98	
	3	59,60	
III	1	72,70	103,16
	2	117,96	
	3	88,37	
IV	1	105,52	107,73
	2	107,18	
	3	110,51	

Hasil dari interpolasi besarnya pembebanan dari masing-masing spesimen, kemudian dirata-rata dan diperoleh hubungan bahwa dengan bertambahnya diameter penghubung geser spiral besarnya pembebanan yang tercapai semakin besar.

Rata-Rata Pembebanan pada Slip Sebesar 3 mm



Grafik 4.18 Pembebanan setiap spesimen pada slip sebesar 3 mm

Kemudian dengan bantuan persamaan *linear trendline* dapat diperoleh sebagai berikut:

$$y = 12,849x + 57,137 \quad (4.2)$$

dimana x adalah besarnya diameter penghubung geser spiral dan y adalah besarnya pembebanan pada slip sebesar 3,0 mm.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil batasan masalah, penelitian dan analisa yang telah dilakukan mengantarkan pada kesimpulan sebagai berikut:

1. Akibat dari pembebanan yang diberikan, penghubung geser spiral mengalami slip yang besarnya semakin kecil seiring dengan bertambahnya diameter spiral.
2. Karena keterbatasan alat, hubungan antara pencapaian kekuatan penghubung geser spiral dan besarnya diameter spiral diperoleh dengan menentukan suatu batasan slip tertentu (3 mm) dimana masih berada dalam batas grafik kekakuan seluruh spesimen. Hasil menunjukkan bahwa berdasarkan pengujian *push out* pada penghubung geser spiral dengan baja tulangan pembentuk 8 mm yang memiliki *pitch spiral* sebesar 3,5 inci dan diameter spiral bervariasi antara 2,5 – 4,0 inci serta f_c' 31,608 MPa, besarnya kapasitas penghubung geser spiral semakin meningkat seiring dengan bertambahnya diameter penghubung geser spiral yang dinyatakan sebagai persamaan empiris sebagai berikut:

$$P = 12,849D + 57,137$$

dimana D adalah besarnya diameter penghubung geser spiral dan P adalah besarnya pembebanan pada slip sebesar 3,0 mm.

3. Kekakuan penghubung geser spiral yang diperoleh dari kelandaian tertentu dari setiap grafik slip vertikal spesimen menunjukkan bahwa besarnya kekakuan penghubung geser spiral semakin kecil dengan bertambahnya diameter penghubung geser spiral, atau dengan kata lain kekakuan penghubung geser spiral berbanding terbalik dengan besarnya diameter spiral. Besarnya kekakuan penghubung geser spiral hasil penelitian dengan baja tulangan pembentuk 8 mm yang memiliki *pitch spiral* sebesar 3,5 inci dan diameter spiral bervariasi antara 2,5 – 4,0 inci serta f_c' 31,608 MPa dapat dinyatakan sebagai:

$$K = -4,8993D + 62,162$$

dimana D adalah besarnya diameter penghubung geser spiral dan K adalah besarnya kekakuan penghubung geser spiral.

4. Besarnya kapasitas penghubung geser spiral berdasarkan persamaan dari Slutter dan Driscoll (1963) menunjukkan hasil pendekatan yang mendekati dengan rasio 0,631-1,036

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penghubung geser spiral dengan variasi lain seperti jumlah putaran atau variasi *pitch spiral* sebagai parameteranya.
2. Perlu dilakukan penghubung geser spiral dengan tipe penghubung geser lekatan yang lain agar dapat diperoleh perbandingan kekuatannya dan efektifitasnya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penelitian berikut hingga diperoleh nilai kapasitas ultimitnya dengan menggunakan gabungan metode *load control* dan *displacement control* agar diperoleh hasil yang lebih akurat.
4. Perlu adanya penelitian yang menguji perilaku penghubung geser spiral terhadap pembebanan siklik.
5. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan suatu model balok yang menggunakan penghubung geser spiral untuk mengetahui karakteristik dari penghubung geser spiral terhadap pembebanan lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Nethercot, D. (2004). Fundamentals. Dalam D. A. Nethercot, & D. A. Nethercot (Penyunt.), *Composite Construction*. London and New York: Spon Press.
- Abd-Rabou, Eldeen M., S., & Dabon, M. A. (1995). Comparison Between Theoretical and Experimental Investigation of Composite Beams with Spiral Shear Connectors. *Mansoura Engineering Journal (MEG)*, 20 (1).
- Al-Darzi, S. Y., & Chen, A. (2006). Conceptual Design and Analysis of Steel-Concrete Composite Bridges: State of the Art. *Steel Structure*, VI, 393-407.
- Bresler, B., Lin, T., & Scalzi, J. B. (1968). *Design of Steel Structure* (2nd Edition ed.). New York: John Wiley & Son, Inc.
- Collings, D. (2005). *Steel-Concrete Composite Bridges*. Dipetik Desember 26, 2011, dari <http://books.google.co.id>.
- Council of Scientific and Industrial Research Govt. of India New Delhi. (1969). Dipetik Oktober 6, 2011, dari <http://www.wpi.edu>.
- European Code 4. (1994). Design of Composite Steel and Concrete Structures. Brussels, Belgium.
- J. Suardian, A. (2011). *Pengujian Kekuatan Penghubung Geser yang Terbuat dari BJTP 24 Berbentuk Spiral*. Skripsi, Universitas Udayana, Denpasar.
- Johnson, R. (1975). *Composite Structures of Steel and Concrete* (Vol. I). London: Crosby Lockwood Staples.
- Natalino, G., & Giuriani, E. (2001). *International Symposium on on Connection Between Steel and Concrete - A Test Proposal for Fatigue Experimental Studies on Stud Shear Connector*. (R. Eligehausen, Penyunt.) Dipetik November 28, 2011, dari Google books: <http://books.google.co.id>.
- Nawy, E. G. (2003). *Reinforced Concrete (A Fundamental Approach)* (5th Edition ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Pashan, A. (2006). *Behaviour of Channel Shear Connector: Push-Out Test*. Universitas Saskatchewan, Kanada.
- Ranković, S., & Drenić, D. (2001). Static Strength of the Shear Connectors in Steel-Concrete Composite Beams- Regulations and Research Analysis-UDC 624.072.2(045). *Facta Universitatis-Architecture and Civil Engineering*, II (4), 251-259.

Sabnis, M. G. (Penyunt.). (1979). *Handbook of Composite Construction Engineering*. New York: George Godwin Limited.

Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Semarang: Erlangga.

Slutter, R., & Driscoll, G. (1963). *The Flexural Strength of Steel and Concrete Composite Beams*. Lehigh University, Department of Civil Engineering, Bethlehem.

Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. (2007). *Strengthening Existing Non-Composite Steel Bridge Girders Using Post-Installed Shear Connector*. Texas.

V. Galambos, T. (1998). *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*. New York: John Wiley & Sons.

Viest, I. M., Fountain, R., & Singleton, R. (1958). *Composite Construction in Steel and Concrete*.

Widiarsa, I. B., & Deskarta, P. (2007). Kuat Geser Baja Komposit dengan Variasi Tinggi Penghubung Geser Tipe-T Ditinjau dari Uji Geser Murni. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, XI, 74-89.

LAMPIRAN 1

RANCANGAN AWAL SPESIMEN *PUSH OUT TEST*

1. Kapasitas Ultimit Penghubung Geser Spiral

Berdasarkan perumusan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Slutter dan Driscoll (1963), kapasitas satu putaran dari penghubung geser spiral sebesar:

$$Q_{uc} = 8000 \cdot d_{sp} \cdot \sqrt[4]{f_c'}$$

Dengan spesifikasi perencanaan spiral, sebagai berikut:

$$d_{sp} = 8 \text{ mm} = 0,315 \text{ inch}$$

$$f_c' = 22,82 \text{ MPa} = 3308,634 \text{ Psi}$$

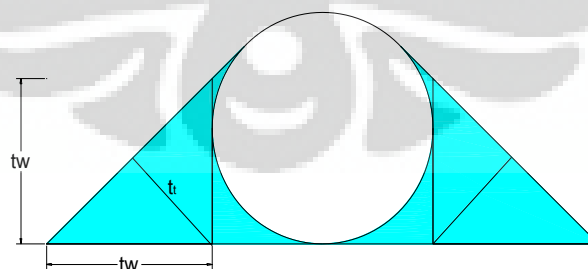
Maka:

$$Q_{uc} = 8000 \cdot 0,315 \cdot \sqrt[4]{3308,634} = 38219,72 \text{ lb} = 170,067 \text{ KN}$$

2. Gaya yang dapat ditahan oleh las

Pengelasan dilakukan pada ujung tepi penghubung geser spiral pada bagian muka sayap balok baja WF dengan panjang 4 cm. Las yang digunakan adalah las tumpul penetrasi penuh dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Elektroda : E 60
- Kuat leleh (f_{yf}) : 330 MPa
- Kuat tarik minimum (F_{uw}): 415 MPa
- Tebal efektif : $t_t = 0,707 t_w$, $t_w = 8 \text{ mm}$, $t_t = 5,656 \text{ mm}$



5.2.1 Kekuatan las tumpul dengan pembebanan gaya tarik atau tekan aksial berdasarkan SNI-1729-2002

- Kuat bahan dasar

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot t_t \cdot l \cdot f_y$$

Lampiran 1. Rancangan Awal Spesimen *Push Out Test* (lanjutan)

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot 5,656 \cdot (4 \times 40) \cdot 240 = 195,471 \text{ KN}$$

2. Kuat bahan las

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot t_t \cdot l \cdot f_{yw}$$

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot 5,656 \cdot (4 \times 40) \cdot 330 = 268,773 \text{ KN}$$

5.2.2 Kekuatan las tumpul dengan pembebanan berupa gaya geser untuk satu penghubung geser berdasarkan SNI-1729-2002

1. Kuat bahan dasar

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot t_t \cdot l \cdot (0,6 \cdot f_y)$$

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot 5,656 \cdot (4 \times 40) \cdot (0,6 \cdot 240) = 117,283 \text{ KN}$$

2. Kuat bahan las

$$\phi_y R_{mw} = 0,8 \cdot t_t \cdot l \cdot (0,6 \cdot f_{yw})$$

$$\phi_y R_{mw} = 0,9 \cdot 5,656 \cdot (4 \times 40) \cdot (0,6 \cdot 330) = 180,268 \text{ KN}$$

Kekuatan las yang digunakan adalah nilai terkecil dari kuat bahan dasar dan kuat las. Sehingga kuat las tumpul dengan pembebanan tarik sebesar 195,471 KN, dan kekuatan untuk beban gaya geser sebesar 117,283 KN. Besarnya kekuatan las ini telah melampaui kapasitas ultimit dari penghubung geser spiral, sehingga spesifikasi las dan panjang las dapat diterima.



LAMPIRAN 2
SERTIFIKAT KOMPETENSI PENGELAS, *MIX DESIGN* DAN HASIL
PENGUJIAN MATERIAL DI LABORATORIUM



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

No. Surat

: 0000253

/HLAB./FTUI/BSI/2012.

Kegiatan Penelitian

: RR. EVA WISNA AGUSTIN

: SKRIPSI - STUDI EKSPERIMENTAL PENGHUBUNG GESER SPIRAL DENGAN VARIASI

: DIAMETER SPIRAL MENGGUNAKAN METODE PUSH OUT TEST

HASIL PENGUJIAN TARIK / TEKUK BESI (ASTM A.370-03a)

Benda uji : EX. BJKU

NO.	TANGGAL TEST	DATA BESI					TEGANGAN (N/mm ²)			PENGKATEGORIAN	TEST TEKUK DINGIN 180°	KETERANGAN
		DIAMETER (MM)	PANJANG (MM)	JENIS	LELEH	MAXIMUM	PUTUS					
1	19-Jan-12	8	350	POLOS	288.468	437.676	159.155	Bj TP.24				
2	19-Jan-12	8	350	POLOS	298.416	447.623	169.102	Bj TP.24				
3	19-Jan-12	8	350	POLOS	298.416	457.570	179.049	Bj TP.24				

Ditest oleh
Diperiksa oleh

: BAS
:

Depok, 19 Januari 2012.
Kepala Laboratorium



Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA



**BADAN NASIONAL
SERTIFIKASI PROFESI**
*INDONESIAN PROFESSIONAL
CERTIFICATION AUTHORITY*

SERTIFIKAT KOMPETENSI
CERTIFICATE OF COMPETENCE

No. 28126 7212 0015183 2011

Dengan ini menyatakan bahwa,
This is to certify that,

MUHAYAT, S.Pd

No. Reg. LOG 004 015183 2011

Telah kompeten pada bidang :
Is competent in the area of :

01. LOG.OO.01.002.01	04. LOG.OO.05.016.01
02. LOG.OO.01.003.01	05. LOG.OO.09.001.01
03. LOG.OO.02.005.01	06. LOG.OO.18.002.01

dengan Kualifikasi/Kompetensi :
with Qualification/Competency :

Pabrikasi
Fabrication

Sertifikat ini berlaku untuk: 3 (Tiga) Tahun
This certificate is valid for: 3 (Three) Year

Jakarta, 25 November 2011

Atas Nama (On Behalf of)
Badan Nasional Sertifikasi Profesi
Lembaga Sertifikasi Profesi Logam dan Mesin Indonesia
Indonesian Professionals Certification Body Metalworks and Machinery

Bambang Nurcahyono
Ketua Pelaksana (Executive Director)

Ir. Setiawan Mulyadi
Ketua Pengarah (Chairperson)

CONCRETE MIX DESIGN DATA

No. Ref. : 0023 - C0301 / QC / II / 12

PROJECT	Tugas Akhir
CONTRACTOR	RR. EVA WISNA AGUSTIN
SPECIFICATION	CLASS OF CONCRETE : K 275 FA Minimum Characteristic Compression strength of 28 days using $\varnothing 15 \times 30$ cm cylinder samples 228 kg/cm ² when tested at age Slump on site : 12 \pm 2 cm Maximum size of coarse aggregate : 25 mm,

MATERIAL

FINE AGGREGATE	Natural sand ex. Bangka	SP.GRAVITY	SSD	2.59
	Crushed Dust ex. Rumpin		SSD	2.58
COARSE AGGREGATE	Crushed Stone ex. Rumpin		SSD	2.60
CEMENT	Tigaroda Brand Indocement			3.10
FLYASH	PLTU Suralaya	Portland Cement Type I, Conform to ASTM C.150.		2.10
WATER	Potable and not contain more than 0.1 % of chloride ions.			1.00
ADMIXTURES - 1	Plastiment Vz			1.18

DESIGN CALCULATION

Water cement ratio				0.59			
Free water required			183	kg/m ³ dm ³			
Cement			263	kg/m ³ dm ³			
Fly Ash			46	kg/m ³ dm ³			
Admixtures Plastiment Vz			0.56	l/m ³ dm ³			
PASTE VOLUME				290 dm ³			
AGGREGATE VOLUME				710 dm ³			
Fine aggregate Natural sand	0.29	x	710	x	2.59	526	kg
Fine aggregate Crushed Dust	0.12	x	710	x	2.58	225	kg
Coarse aggregate	0.59	x	710	x	2.60	1092	kg

Mengetahui,

Jakarta , 17 Februari 2012
Prepared by,


Suwondo
 Kepala Plant


Eri Bayu Prasetyo
 Quality Control Dept.

Note : Conversion of Cylinder sample = 0.83 Cube sample



LAPORAN HASIL TEST KUAT TEKAN BENDA UJI



Nama Proyek : PENELITIAN MAHASISWI FAK. TEKNIK SIPIL UI
 Nama Kontraktor : EVA WISNA AGUSTIN

No.	Tanggal		Umur Test	Mutu	Slump	Kode Berita Uji	Berat (Kg)	Benda Uji	Ukuran (cm)	Luas Penampang	Beban (KN)	Kuat Tekan (Kgf/Cm ²)	Keterangan
	Cor	Test											
1	19/02/2012	22/02/2012	3	K 275	13	EVA PENELITIAN K 275 AD LA 1	12,60	Cylinder	Ø 15 x 30	176,71	370,00	257,24	
2	19/02/2012	26/02/2012	7	K 275	13	EVA PENELITIAN K 275 AD LA 2	12,65	Cylinder	Ø 15 x 30	176,71	400,00	278,10	

Catatan :

- Hasil test sudah di konversikan dalam bentuk Kubus 15 x 15 x 15 cm
- Angka konversi silinder = 0,83 kubus
- 1 KN = 101,971 Kg

Kontraktor

Konsultan

Jakarta, 27 Februari 2012
 Laboratorium Material Beton



Eri Bayu Prasebjo
 Chief Laboratorium

Halaman : 1

LAMPIRAN 3**TABEL HASIL PENGUJIAN *PUSH OUT***

Tanggal: 9 April 2012

Sampel: I.1

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	0.19	0.05	0.120	0.005	0.010	0.0075
3	20.08	0.25	0.18	0.215	0.005	0.010	0.0075
4	29.71	0.92	1.02	0.970	0.012	0.010	0.0110
5	39.34	1.46	1.6	1.530	0.070	0.010	0.0400
6	48.97	1.71	1.85	1.780	0.125	0.025	0.0750
7	58.60	1.97	2.2	2.085	0.125	0.070	0.0975
8	68.24	2.18	2.45	2.315	0.125	0.070	0.0975
9	77.87	2.44	2.77	2.605	0.125	0.070	0.0975
10	87.50	2.66	3.10	2.880	0.125	0.070	0.0975
11	97.13	2.89	3.30	3.095	0.125	0.070	0.0975
12	106.76	3.13	3.46	3.295	0.125	0.070	0.0975
13	116.39	3.30	3.65	3.475	0.125	0.070	0.0975
14	126.02	3.50	3.82	3.660	0.125	0.070	0.0975
15	135.65	3.89	3.99	3.940	0.125	0.070	0.0975
16	145.29	4.15	4.18	4.165	0.105	0.070	0.0875
17	154.92	4.35	4.38	4.365	0.100	0.070	0.085
18	164.55	4.55	4.57	4.560	0.085	0.090	0.0875
19	174.18	4.85	4.76	4.805	0.085	0.110	0.0975
20	183.81	5.85	5.58	5.715	0.055	0.180	0.1175
21	183.81	6.20	5.85	6.025	0.390	0.950	0.6700

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 23 April 2012

Sampel: I.2

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.000	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.000
2	10.45	0.220	0.24	0.2300	0.00	0.00	0.000
3	20.08	0.775	0.85	0.8125	0.00	0.00	0.000
4	29.71	1.840	2.60	2.2200	0.00	0.02	0.010
5	39.34	2.400	3.25	2.8250	0.04	0.02	0.030
6	48.97	2.750	3.55	3.1500	0.11	0.03	0.070
7	58.60	3.080	3.90	3.4900	0.12	0.02	0.070
8	68.24	3.250	4.05	3.6500	0.09	0.08	0.085
9	77.87	3.400	4.23	3.8150	0.04	0.40	0.220
10	87.50	3.595	4.50	4.0475	0.01	0.20	0.105
11	97.13	3.805	4.78	4.2925	0.06	0.10	0.080
12	106.76	3.955	4.93	4.4425	0.11	0.10	0.105
13	116.39	4.085	5.07	4.5775	0.16	0.20	0.180
14	126.02	4.265	5.26	4.7625	0.21	0.40	0.305
15	135.65	4.460	5.48	4.9700	0.71	0.70	0.705
16	145.29	4.650	5.68	5.1650	1.01	0.11	0.560
17	150.38	4.800	5.80	5.3000	0.23	0.13	0.180
18	155.48	4.935	5.95	5.4425	0.26	0.15	0.205
19	160.58	5.040	6.00	5.5200	0.29	0.16	0.225
20	165.68	5.110	6.10	5.6050	0.29	0.18	0.235
21	170.78	5.210	6.22	5.7150	0.35	0.20	0.275
22	175.88	5.320	6.32	5.8200	0.38	0.21	0.295
23	180.98	5.440	6.48	5.9600	0.41	0.24	0.325
24	186.08	5.600	6.62	6.1100	0.48	0.27	0.375
25	191.18	5.720	6.73	6.2250	0.52	0.34	0.430

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 08 Mei 2012
Sampel: I.3

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	0.025	0.050	0.0375	0.000	0.010	0.0050
3	20.08	0.615	0.500	0.5575	0.000	0.010	0.0050
4	29.71	1.215	1.060	1.1375	0.075	0.020	0.0475
5	39.34	1.515	1.360	1.4375	0.080	0.050	0.0650
6	48.97	1.725	1.640	1.6825	0.095	0.065	0.0800
7	58.60	1.945	1.870	1.9075	0.105	0.110	0.1075
8	68.24	2.045	2.050	2.0475	0.110	0.126	0.1180
9	77.87	2.175	2.220	2.1975	0.120	0.165	0.1425
10	87.50	2.335	2.440	2.3875	0.105	0.150	0.1275
11	97.13	2.445	2.590	2.5175	0.200	0.190	0.1950
12	106.76	2.585	2.780	2.6825	0.175	0.200	0.1875
13	116.39	2.665	3.080	2.8725	0.150	0.200	0.1750
14	126.02	2.825	3.090	2.9575	0.155	0.215	0.1850
15	135.65	2.965	3.250	3.1075	0.155	0.220	0.1875
16	145.29	3.145	3.430	3.2875	0.155	0.220	0.1875
17	150.38	3.205	3.550	3.3775	0.155	0.220	0.1875
18	155.48	3.285	3.620	3.4525	0.155	0.220	0.1875
19	160.58	3.345	3.700	3.5225	0.155	0.220	0.1875
20	165.68	3.455	3.840	3.6475	0.140	0.220	0.1800
21	170.78	3.545	3.940	3.7425	0.125	0.210	0.1675
22	175.88	3.615	4.005	3.8100	0.115	0.210	0.1625
23	180.98	3.665	4.080	3.8725	0.110	0.200	0.1550
24	186.08	3.785	4.180	3.9825	0.085	0.180	0.1325
25	191.18	3.865	4.260	4.0625	0.075	0.170	0.1225

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 23 April 2012

Sampel: II.1

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	0.05	0.04	0.045	0.005	0.005	0.0050
3	20.08	0.70	0.43	0.565	0.010	0.010	0.0100
4	29.71	1.30	0.97	1.135	0.050	0.080	0.0650
5	39.34	1.70	1.23	1.465	0.110	0.120	0.1150
6	48.97	1.85	1.36	1.605	0.135	0.140	0.1375
7	58.60	2.04	1.51	1.775	0.139	0.140	0.1395
8	68.24	2.20	1.68	1.940	0.139	0.140	0.1395
9	77.87	2.40	1.83	2.115	0.139	0.140	0.1395
10	87.50	2.55	2.00	2.275	0.139	0.145	0.1420
11	97.13	2.75	2.17	2.460	0.139	0.150	0.1445
12	106.76	2.90	2.30	2.60	0.130	0.150	0.1400
13	116.39	3.13	2.48	2.805	0.130	0.145	0.1375
14	126.02	3.37	2.66	3.015	0.130	0.140	0.1350
15	135.65	3.55	2.80	3.175	0.130	0.130	0.1300
16	145.29	3.85	3.00	3.425	0.100	0.110	0.1050
17	150.38	4.05	3.10	3.575	0.040	0.090	0.0650
18	155.48	4.22	3.21	3.715	0.015	0.080	0.0475
19	160.58	4.38	3.29	3.835	0.055	0.055	0.0550
20	165.68	4.55	3.39	3.970	0.070	0.040	0.0550
21	170.78	4.75	3.49	4.120	0.095	0.020	0.0575
22	175.88	4.95	3.60	4.275	0.145	0.010	0.0775
23	180.98	5.17	3.71	4.440	0.195	0.035	0.1150
24	186.08	5.50	4.15	4.825	0.340	0.100	0.2200
25	186.08	6.20	4.15	5.175	0.660	0.230	0.4450
26	186.08	6.35	4.15	5.250	0.70	0.260	0.4800
27	186.08	6.45	4.15	5.300	0.740	0.285	0.5125

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 2 Mei 2012
Sampel: II.2

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	0.05	0.17	0.110	0.030	0.015	0.0225
3	20.08	0.47	0.82	0.645	0.060	0.115	0.0875
4	29.71	0.96	1.37	1.165	0.120	0.215	0.1675
5	39.34	1.30	1.72	1.510	0.140	0.230	0.1850
6	48.97	1.63	2.05	1.840	0.155	0.245	0.2000
7	58.60	1.96	2.32	2.140	0.130	0.265	0.1975
8	68.24	2.14	2.57	2.355	0.130	0.275	0.2025
9	77.87	2.27	2.77	2.520	0.140	0.275	0.2075
10	87.50	2.44	2.99	2.715	0.140	0.275	0.2075
11	97.13	2.64	3.19	2.915	0.140	0.275	0.2075
12	106.76	2.74	3.37	3.055	0.140	0.255	0.1975
13	116.39	2.90	3.57	3.235	0.140	0.235	0.1875
14	126.02	3.05	3.77	3.410	0.140	0.235	0.1875
15	135.65	3.20	3.94	3.570	0.140	0.235	0.1875
16	145.29	3.37	4.14	3.755	0.140	0.215	0.1775
17	150.38	3.49	4.27	3.880	0.140	0.205	0.1725
18	155.48	3.64	4.37	4.005	0.140	0.205	0.1725
19	160.58	3.76	4.52	4.140	0.140	0.190	0.1650
20	165.68	3.91	4.65	4.280	0.140	0.175	0.1575
21	170.78	4.12	4.79	4.455	0.100	0.145	0.1225

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 14 April 2012

Sampel: II.3

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	1.475	0.080	0.7775	0.100	0.060	0.0800
3	20.08	1.575	1.560	1.5675	0.120	0.150	0.1350
4	29.71	2.225	2.047	2.1360	0.121	0.165	0.1430
5	39.34	2.625	2.410	2.5175	0.145	0.165	0.1550
6	48.97	2.875	2.650	2.7625	0.151	0.175	0.1630
7	58.60	3.075	2.890	2.9825	0.175	0.190	0.1825
8	68.24	3.225	3.080	3.1525	0.180	0.200	0.1900
9	77.87	3.455	3.310	3.3825	0.180	0.200	0.1900
10	87.50	3.605	3.500	3.5525	0.180	0.210	0.1950
11	97.13	3.805	3.730	3.7675	0.180	0.215	0.1975
12	106.76	3.975	3.930	3.9525	0.180	0.250	0.2150
13	116.39	4.155	4.210	4.1825	0.180	0.290	0.2350
14	126.02	4.345	4.430	4.3875	0.180	0.300	0.2400
15	135.65	4.455	4.660	4.5575	0.080	0.010	0.0450
16	145.29	4.675	4.870	4.7725	0.080	0.030	0.0550
17	150.38	4.825	5.030	4.9275	0.125	0.040	0.0825
18	155.48	5.025	5.210	5.1175	0.155	0.070	0.1125
19	160.58	5.225	5.380	5.3025	0.185	0.100	0.1425
20	165.68	5.395	5.530	5.4625	0.265	0.115	0.1900
21	170.78	5.695	5.780	5.7375	0.335	0.170	0.2525
22	175.88	6.075	6.030	6.0525	0.430	0.290	0.3600
23	180.98	6.475	6.530	6.5025	0.530	0.390	0.460
24	186.08	7.875	7.63	7.7525	0.710	2.020	1.3650
25	186.08	8.175	7.95	8.0625	0.750	2.160	1.4550
26	186.08	9.075	8.83	8.9525	0.880	2.610	1.7450

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 13 April 2012

Sampel: III.1

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0000
2	10.45	0.040	0.02	0.030	0.015	0.00	0.0075
3	20.08	0.810	0.85	0.830	0.100	0.08	0.0900
4	29.71	1.430	1.45	1.440	0.190	0.15	0.1700
5	39.34	1.930	1.90	1.915	0.220	0.20	0.2100
6	48.97	2.330	2.28	2.305	0.220	0.29	0.2550
7	58.60	2.650	2.93	2.790	0.220	0.30	0.2600
8	68.24	2.860	2.95	2.905	0.220	0.30	0.2600
9	77.87	3.100	3.12	3.110	0.190	0.37	0.2800
10	87.50	3.280	3.17	3.225	0.290	0.41	0.3500
11	97.13	3.730	3.80	3.765	0.140	0.43	0.2850
12	106.76	3.650	3.84	3.745	0.130	0.45	0.2900
13	116.39	3.930	4.08	4.005	0.130	0.48	0.3050
14	126.02	4.180	4.35	4.265	0.130	0.54	0.3350
15	135.65	4.480	4.37	4.425	0.130	0.65	0.3900
16	145.29	4.730	4.95	4.840	0.125	0.80	0.4625
17	145.29	5.00	6.20	5.600	0.125	0.85	0.4875
18	145.29	5.100	6.30	5.700	0.120	0.93	0.5250
19	145.29	5.730	5.77	5.750	0.120	1.05	0.5850

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 8 Mei 2012

Sampel: III.2

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0	0	0.00	0	0	0
2	10.45	0.115	0.22	0.17	0.02	0.03	0.025
3	20.08	0.575	0.64	0.61	0.125	0.12	0.1225
4	29.71	1.135	1.12	1.13	0.295	0.27	0.2825
5	39.34	1.595	1.49	1.54	0.3	0.29	0.295
6	48.97	1.885	1.75	1.82	0.3	0.29	0.295
7	58.60	2.055	1.95	2.00	0.3	0.29	0.295
8	68.24	2.205	2.17	2.19	0.3	0.3	0.3
9	77.87	2.335	2.32	2.33	0.293	0.3	0.2965
10	87.50	2.485	2.5	2.49	0.235	0.3	0.2675
11	97.13	2.645	2.72	2.68	0.235	0.31	0.2725
12	106.76	2.775	2.9	2.84	0.227	0.32	0.2735
13	116.39	2.885	3.05	2.97	0.225	0.33	0.2775
14	126.02	3.055	3.28	3.17	0.185	0.34	0.2625
15	135.65	3.145	3.39	3.27	0.175	0.35	0.2625
16	145.29	3.285	3.57	3.43	0.175	0.36	0.2675
17	150.38	3.415	3.73	3.57	0.175	0.37	0.2725
18	155.48	3.525	3.89	3.71	0.175	0.38	0.2775
19	160.58	3.595	3.98	3.79	0.175	0.39	0.2825
20	165.68	3.665	4.08	3.87	0.175	0.41	0.2925
21	170.78	3.785	4.21	4.00	0.175	0.45	0.3125
22	175.88	3.815	4.24	4.03	0.175	0.46	0.3175
23	180.98	3.885	4.33	4.11	0.175	0.47	0.3225
24	186.08	3.975	4.49	4.23	0.175	0.48	0.3275
25	191.18	4.085	4.59	4.34	0.175	0.5	0.3375

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 14 April 2012

Sampel: III.3

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	0.04	0.30	0.170	0.050	0.020	0.0350
3	20.08	0.68	0.85	0.765	0.170	0.250	0.2100
4	29.71	1.44	1.50	1.470	0.175	0.270	0.2225
5	39.34	1.88	1.85	1.865	0.175	0.245	0.2100
6	48.97	2.18	2.28	2.230	0.165	0.240	0.2025
7	58.60	2.29	2.50	2.395	0.145	0.225	0.1850
8	68.24	2.40	2.66	2.530	0.145	0.190	0.1675
9	77.87	2.49	3.30	2.895	0.130	0.150	0.1400
10	87.50	2.59	3.38	2.985	0.110	0.125	0.1175
11	97.13	2.64	3.66	3.150	0.090	0.115	0.1025
12	106.76	2.68	3.95	3.315	0.070	0.110	0.0900
13	116.39	2.74	4.21	3.475	0.050	0.100	0.0750
14	126.02	2.80	4.50	3.650	0.050	0.090	0.0700
15	135.65	2.93	4.82	3.875	0.050	0.100	0.0750
16	145.29	2.99	4.97	3.980	0.070	0.100	0.0850
17	150.38	3.07	5.15	4.110	0.075	0.100	0.0875
18	155.48	3.13	5.26	4.195	0.075	0.100	0.0875
19	160.58	3.20	5.38	4.290	0.080	0.100	0.0900
20	165.68	3.28	5.49	4.385	0.100	0.120	0.1100
21	170.78	3.38	5.64	4.510	0.050	0.130	0.0900
22	175.88	3.48	5.8	4.640	0.050	0.160	0.1050
23	180.98	3.57	5.92	4.745	0.100	0.170	0.1350
24	186.08	3.68	6.04	4.860	0.150	0.185	0.1675
25	191.18	3.79	6.21	5.000	0.200	0.205	0.2025

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

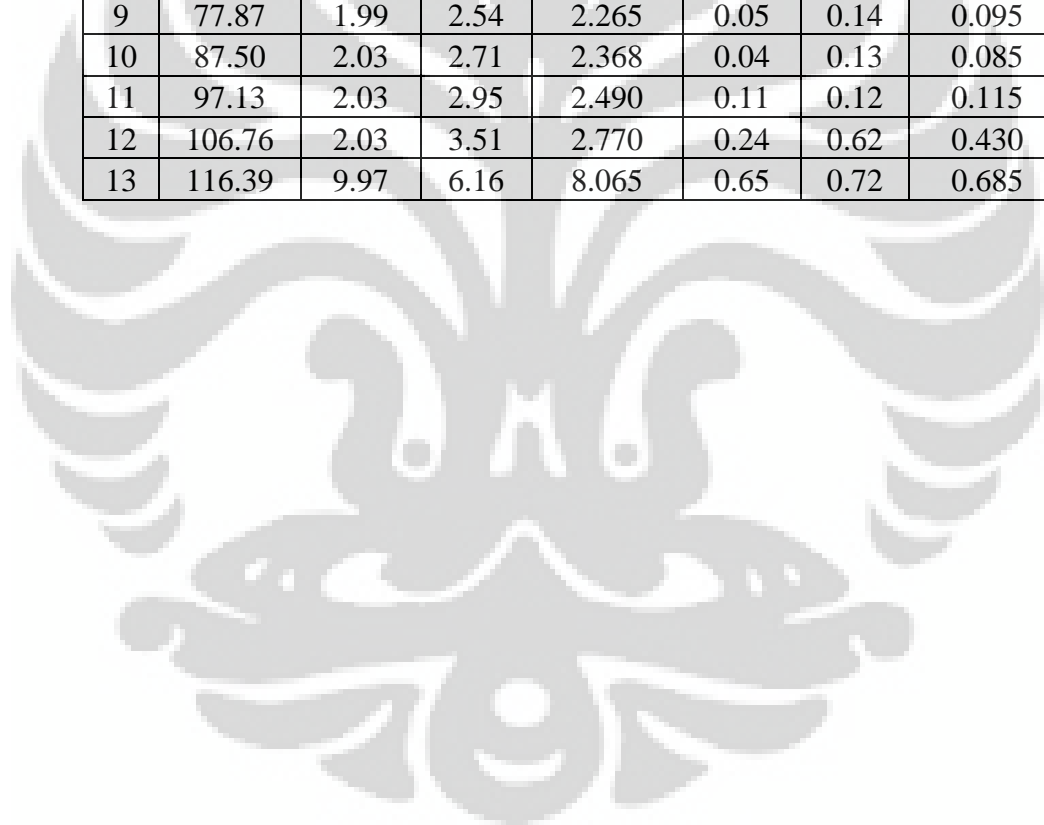
Tanggal: 11 April 2012
Sampel: IV.1

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	10.45	0.08	1.15	0.615	0.000	0.000	0.0000
3	20.08	0.10	1.61	0.855	0.010	0.050	0.0300
4	29.71	0.85	2.07	1.460	0.080	0.100	0.0900
5	39.34	0.80	2.12	1.460	0.090	0.110	0.1000
6	48.97	1.59	2.27	1.930	0.090	0.120	0.1050
7	58.60	1.74	2.48	2.110	0.090	0.120	0.1050
8	68.24	1.89	2.66	2.275	0.090	0.150	0.1200
9	77.87	2.05	2.87	2.460	0.120	0.160	0.1400
10	87.50	2.21	3.06	2.635	0.120	0.160	0.1400
11	97.13	2.40	3.33	2.865	0.170	0.160	0.1650
12	106.76	2.59	3.45	3.020	0.180	0.120	0.1500
13	116.39	2.78	3.63	3.205	0.180	0.090	0.1350
14	126.02	2.97	3.84	3.405	0.180	0.090	0.1350
15	135.65	3.14	3.99	3.565	0.180	0.120	0.1500
16	145.29	3.29	4.18	3.735	0.185	0.130	0.1575
17	150.38	3.40	4.29	3.845	0.185	0.150	0.1675
18	155.48	3.57	4.41	3.990	0.190	0.170	0.1800
19	160.58	3.68	4.49	4.085	0.190	0.170	0.1800
20	165.68	3.76	4.63	4.193	0.190	0.185	0.1875
21	170.78	3.87	4.76	4.315	0.190	0.220	0.2050
22	175.88	3.96	4.86	4.410	0.190	0.260	0.2250
23	180.98	4.06	4.97	4.515	0.190	0.300	0.2450
24	186.08	4.13	5.12	4.625	0.190	0.380	0.2850
25	191.18	4.35	5.26	4.805	0.190	0.440	0.3150
26	191.18	4.44	5.36	4.900	0.960	0.450	0.7050
27	191.18	4.46	6.36	5.410	1.170	0.460	0.8150
28	191.18	4.77	6.90	5.835	1.290	0.470	0.8800

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 14 April 2012
 Sampel: IV.2

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
2	10.45	0.05	0.36	0.205	0.00	0.02	0.010
3	20.08	0.05	1.16	0.607	0.04	0.08	0.060
4	29.71	0.05	1.91	0.980	0.07	0.18	0.125
5	39.34	1.40	1.26	1.330	0.13	0.23	0.180
6	48.97	1.51	1.93	1.720	0.14	0.23	0.185
7	58.60	1.82	1.11	1.465	0.10	0.20	0.150
8	68.24	1.92	2.31	2.115	0.08	0.17	0.125
9	77.87	1.99	2.54	2.265	0.05	0.14	0.095
10	87.50	2.03	2.71	2.368	0.04	0.13	0.085
11	97.13	2.03	2.95	2.490	0.11	0.12	0.115
12	106.76	2.03	3.51	2.770	0.24	0.62	0.430
13	116.39	9.97	6.16	8.065	0.65	0.72	0.685



Lampiran 3. Tabel Hasil Pengujian *Push Out* (lanjutan)

Tanggal: 14 April 2012
 Sampel: IV.3

No.	Beban (KN)	Slip Vertikal			Horizontal		
		Dial 1 (mm)	Dial 3 (mm)	Rata-rata (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 4 (mm)	Rata-rata (mm)
1	0.82	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
2	10.45	0.28	0.05	0.165	0.00	0.00	0.000
3	20.08	0.57	0.40	0.485	0.00	0.00	0.000
4	29.71	0.61	1.01	0.810	0.15	0.15	0.150
5	39.34	0.91	1.38	1.145	0.08	0.21	0.145
6	48.97	1.26	1.78	1.520	0.14	0.29	0.215
7	58.60	1.43	2.07	1.750	0.15	0.34	0.243
8	68.24	1.59	2.33	1.960	0.20	0.43	0.313
9	77.87	1.76	2.65	2.205	0.24	0.52	0.380
10	87.50	1.86	2.97	2.415	0.30	0.64	0.470
11	97.13	2.02	3.35	2.685	0.36	0.79	0.575
12	106.76	2.14	3.65	2.895	0.45	0.88	0.665
13	116.39	2.31	4.02	3.165	0.53	0.99	0.760
14	126.02	2.51	4.39	3.450	0.59	1.14	0.865
15	135.65	2.73	4.85	3.790	0.61	1.28	0.945
16	145.29	3.61	5.89	4.750	1.20	1.49	1.345
17	150.38	4.11	6.35	5.230	1.73	1.59	1.660
18	155.48	4.71	6.95	5.830	2.33	1.69	2.010
19	160.58	5.08	7.42	6.250	2.75	1.75	2.250
20	165.68	5.41	7.80	6.605	3.11	1.85	2.478
21	170.78	5.86	7.95	6.905	3.41	1.90	2.653
22	175.88	6.10	8.36	7.230	3.73	1.99	2.860
23	180.98	6.33	8.59	7.460	4.22	2.05	3.135
24	186.08	6.59	8.85	7.720	4.62	2.25	3.435
25	186.08	6.99	9.25	8.120	5.56	6.00	5.780