

TUGAS AKHIR

**STUDI DAKTILITAS TIANG PANCANG SPUN PILE DENGAN
BETON PENGISI DAN TULANGAN SENKANG BESI
LUNAK DIAMETER 8 MM SPASI 50 MM**

***STUDY OF DUCTILITY OF SPUN PILE WITH FILLER
CONCRETE AND SOFT IRON ARC REINFORCEMENT
DIAMETER 8 MM SPACING 50 MM***

**ANDI MUHAMMAD ERDIHAMZAH
D111 15 321**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2019**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
☒ <http://civil.unhas.ac.id> ☒ civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

**STUDI DAKTILITAS TIANG PANCANG DENGAN BETON PENGISI DAN
TULANGAN SENGGANG BESI LUNAK DIAMETER 8 MM SPASI 50 MM**

Disusun oleh

ANDI MUHAMMAD ERDIHAMZAH

D111 15 321

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

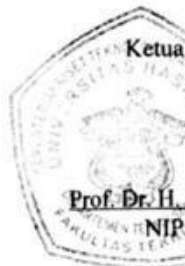
Pembimbing I

Prof. Dr.Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M. Eng.

Pembimbing II

Dr. Candra Irawan, ST, MT

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, MEng
NIP: 196805292001121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, Muhammad Ilham Taufieq Haeruddin, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Studi Daktilitas Tiang Pancang Spun Pile dengan Beton Pengisi dan Tulangan Sengkang Besi Lunak Diameter 8 mm Spasi 50 mm**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 18 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,

Andi Muhammad Erdihamzah
NIM. D111 15 321

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah wa syukurillah, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan akademik untuk memperoleh gelar sarjana S1 pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar, dengan judul **“Studi Daktilitas Tiang Pancang Spun Pile dengan Beton Pengisi dan Tulangan Senggang Besi Lunak Diameter 8 mm Spasi 50 mm”**.

Dengan selesainya penulisan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas doa, bimbingan, bantuan, dorongan dan partisipasi kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, dan Bapak **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.**, selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak **Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, motivasi, dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak **Dr. Eng. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Ibu **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.** dan Bapak **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.** selaku dosen Laboratorium Riset Perkuatan yang juga banyak meluangkan waktunya untuk mengarahkan kami dari awal penelitian hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan di Departemen Teknik Sipil, di Fakultas Teknik, di Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh asisten dan staf Laboratorium Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

9. PT. Wijaya Karya Beton dan Departemen Teknik Sipil ITS atas kerjasama penelitian sehingga produksi dan pengujian tiang pancang spun pile bisa terlaksana.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu Ibunda **Andi Ernawati** dan Ayahanda **Andi Kamaluddin, S.E., M.M.**, Kakak dan Adik saya **dr. Andi Erdiankuneng, Andi Ambatari, S.E., Andi Putri Ayu dan Andi Muhammad Algazali** serta seluruh keluarga besar saya atas doa, kasih sayang, motivasi dan segala dukungannya selama ini, baik moral maupun material yang telah diberikan.
2. **Andi Ayurita Yusri Tanra, S.Ars.** yang telah banyak membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Teman-teman **PATRON 2016**, mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2015** yang telah memberikan warna tersendiri.

Penulis menyadari bahwa setiap karya manusia pasti memiliki banyak kekurangan dan mengharapkan partisipasi pembaca untuk memberikan kritik ataupun saran yang berguna untuk penyempurnaan ataupun pengembangan penelitian ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga seluruh ilmu yang diperoleh dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya dan dapat membawa manfaat bagi semua orang. Semoga seluruh dukungan dan doa yang telah diberikan mendapatkan balasan oleh Allah SWT dan membawa kami menjadi manusia yang lebih baik kedepannya.

Gowa, 18 Oktober 2019

Andi Muhammad Erdihamzah
NIM. D111 15 321

ABSTRAK

Salah satu tipe tiang pancang umum digunakan untuk pondasi dalam adalah spun pile. Tidak hanya digunakan sebagai struktur bangunan bawah, namun spun pile juga diaplikasikan sebagai pondasi sekaligus kolom. Japan code dan NEHRP 2000 menyatakan batasan daktilitas perpindahan harus dipenuhi oleh elemen struktur pemikul momen. Penelitian ini mengkaji kinerja lentur spun pile melalui pengujian beban lateral siklik. Spun pile memiliki tulangan sengkang diameter 8 mm dan spasi 50 mm. Beton pengisi dicor ke dalam lubang spun pile sebagai beton inti. Hasil pengujian menunjukkan spun pile dapat mempertahankan kekuatan lenturnya. Beton pengisi menjadikan proses kegagalan spun pile menjadi lebih stabil dengan daktilitas rata-rata 9,9 dan 11. Spun pile dapat digunakan untuk struktur dengan kategori desain seismic (KDS) D,E dan F.

Kata kunci: spun pile, beton pengisi, daktilitas.

ABSTRACT

Precast concrete member with a circular hollow section, otherwise termed as the spun pile. Although it normally serves as a foundation, in specific types of the structure such as slab on pile of the bridge, a group of the spun pile is also functioned both as foundations and pillars. Japan code and NEHRP 2000 specify limitations for the minimum displacement ductility as well as other deemed-to-comply requirements. In the research, the behavior of spun pile was studied experimentally lateral cyclic loading. Spun pile had spiral reinforcement diameter of 8 mm with the spacing 50 mm. The infilled concrete is cast inside the spun pile hollow and also served as the concrete core. The experimental results is spun pile was capable of maintaining its flexural strength. The infilled concrete marked the failure of the spun pile to more stable with average of ductility is 9 and 11. Spun pile can be used in seismic design category (SDC) D,E, and F.

Keywords: *spun pile, infilled concrete, ductility.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Pengertian Beton	6
B. Tiang Pancang	11
C. Spun Pile	13
D. Daktilitas Struktur	14

E. Penelitian Sebelumnya.....	17
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	20
A. Benda Uji.....	20
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	24
C. Alat dan Bahan Penelitian	24
D. Prosedur Penelitian	25
E. Bagan Alir Penelitian.....	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Karakteristik Material.....	30
B. Hubungan Beban dengan Displacement	32
C. Nilai Daktilitas Spun Pile.....	37
D. Pengaruh Beton Pengisi pada Spun Pile.....	39
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	41
A. Kesimpulan	41
B. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Metode Pratarik Baja Prategang.....	8
Gambar 2 Metode Pascatarik Baja Prategang	9
Gambar 3 Tiang pancang spun pile.....	13
Gambar 4 Grafik Deformasi Leleh.....	17
Gambar 5 Grafik Deformasi Ultimit.....	17
Gambar 6 Penampang dan Detail Spun Pile.....	20
Gambar 7 Setting Alat dan Benda Uji Tes Lentur Siklik	21
Gambar 8 Piston dan Pompa Hidrolik	22
Gambar 9 Actuator Load	23
Gambar 10 Posisi LVDT pada saat Pengujian.....	24
Gambar 11 Strain Gauge	24
Gambar 12 Program Pembebanan.....	28
Gambar 13 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 14 Pengujian Kuat Tarik Tulangan	30
Gambar 15 Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Lunak D8 .	31
Gambar 16 Hubungan Tegangan dan Regangan PC bar D7,1	31
Gambar 17 Hubungan Beban dengan <i>Displacement</i>	33
Gambar 18 Cara menentukan perpindahan leleh spun pile	35
Gambar 19 Cara menentukan perpindahan ultimit spun pile.....	36
Gambar 20 Kondisi SP-S8-S50-A10(1) di siklus 28-30	39
Gambar 21` Kondisi SP-S8-S50-A10(2) di siklus 25-27	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Siklus Pembebanan.....	27
Tabel 2 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan	32
Tabel 3 Nilai Daktilitas Spun Pile	38

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangunan suatu pondasi sangat penting fungsinya pada suatu konstruksi. Secara umum pondasi didefinisikan sebagai bangunan bawah tanah yang meneruskan beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri dan bangunan luar yang bekerja ke lapisan tanah di bawahnya.

Perencanaan pondasi perlu diperhitungkan besarnya beban yang bekerja dan juga daya dukung tanah setempat. Apabila pondasi yang direncanakan tidak mencapai tanah keras, maka akan terjadi penurunan yang tidak merata yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan.

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang harus lebih besar dari besar beban yang terjadi sehingga dapat menahan bangunan secara aman. Adapun pondasi tiang pancang yang sering digunakan saat ini adalah tiang pancang spun pile.

Tiang pancang spun pile dapat berfungsi sebagai pondasi serta pondasi sekaligus kolom pada berbagai konstruksi sipil, misalnya jembatan, gedung, dan dermaga. Selain memikul beban vertikal, beban lateral akibat gempa juga berpotensi terjadi pada pondasi. Kegagalan spun pile saat gempa Miyagiken-oki(1978) dan Gempa Hyogoken-Nanbu (Kobe) di tahun 1995 menyebabkan konsep daktail diterapkan untuk desain pondasi di Jepang (Muguruma dkk, 1995). Jepang dan Amerika menyaratkan batasan

daktilitas perpindahan (μ_{Δ}) untuk kategori A dan B tidak ada batasan daktilitas, C $\mu_{\Delta} > 4$ serta D,E dan F $\mu_{\Delta} > 8$.

Pada penelitian yang dilakukan Candra Irawan (ISCT 2017), spun pile diuji dengan beban lentur siklik bersamaan dengan beban aksial tekan yang dijaga konstan menunjukkan daktilitas perpindahan yang dapat dicapai sebesar $\mu_{\Delta} = 4$ dan rasio simpangan ultimitnya 1,5%. Pengujian berikutnya lubang pada spun pile diisi dengan beton pengisi dan diberi beban yang sama dengan spun pile sebelumnya. Menunjukkan peningkatan daktilitas perpindahan spun pile sebesar 48% (dari $\mu_{\Delta} = 4$ menjadi $\mu_{\Delta} = 5,9$), ditambah lagi rasio simpangan juga mengalami peningkatan yang semula 1,5% menjadi 2%. Dan disimpulkan bahwa beton pengisi menyebabkan proses kegagalan spun pile menjadi lebih stabil.

Kemudian Candra Irawan (2019) menganalisis pengaruh peningkatan rasio tulangan spiral spun pile dengan beton pengisi akibat beban lentur siklik dan beban aksial konstan menggunakan model numerik program Abacus. Hasilnya spun pile dengan tulangan spiral D3,2 spasi 100 mm dengan beton pengisi dapat digunakan untuk struktur dengan kategori desain seismik A,B dan C. Sedangkan spun pile dengan tulangan sengkang besi lunak D8 spasi 50 mm dengan beton pengisi berpotensi dapat digunakan untuk struktur dengan kategori desain seismik D,E dan F sehingga perlu dilakukan uji eksperimental untuk spun pile tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka disusunlah tugas akhir dengan judul:

“Studi Daktilitas Tiang Pancang Spun Pile dengan Beton Pengisi dan Tulangan Sengkang Besi Lunak Diameter 8 mm Spasi 50 mm”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan penelitian yakni bagaimana daktilitas tiang pancang spun pile dengan beton pengisi dan tulangan sengkang besi lunak diameter 8 mm spasi 50 mm?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini mengevaluasi nilai daktilitas tiang pancang spun pile dengan beton pengisi dan tulangan sengkang besi lunak diameter 8 mm spasi 50 mm.

D. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat seperti:

1. Memberi pemahaman tentang nilai daktilitas pada tiang pancang spun pile dengan beton pengisi dan tulangan sengkang besi lunak diameter 8 mm spasi 50 mm

2. Memberikan solusi yang efektif dan ekonomis bagi pelaksana konstruksi pada berbagai aplikasi.

E. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Spun pile yang dikaji berdiameter 400 mm dan tebal 75 mm serta memiliki 10 batang PC bar D7,1 mm dan tulangan sengkang berupa besi lunak D8 spasi 50 mm.
2. Tidak membahas material beton untuk spun pile.
3. Saat pengujian, spun pile diberikan beban aksial konstan 40 ton.
4. Beton pengisi spun pile mutu K-300.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan lokasi penelitian, variabel penelitian, data yang digunakan dalam penelitian, tahapan analisis hidrologi, tahapan prosedur simulasi pada aplikasi iRIC, dan penyajian bagan alir penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijabarkan hasil analisis hidrologi dan deskripsi model karakteristik aliran sungai hasil simulasi pada aplikasi iRIC.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Beton

Beton

Beton sendiri adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/batu pecah, semen serta air. Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari beton, yakni antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton. (Setiawan, 2016)

Beton Bertulang

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton. (Setiawan, 2016).

Jenis-jenis keruntuhan lentur tergantung pada sifat-sifat penampang balok, bentuk-bentuk keruntuhan yang dapat terjadi adalah sebagai berikut (Imran & Zulkifli, 2014):

1. Keruntuhan Tarik, bersifat *Ductile* (penampang terkontrol tarik)

Pada keruntuhan jenis ini, tulangan leleh sebelum beton hancur (yaitu mencapai regangan batas tekannya). Keruntuhan jenis ini terjadi pada

penampang dengan rasio tulangan kecil. Balok yang mengalami keruntuhan ini disebut *under-reinforced*.

2. Keruntuhan Tekan, bersifat *Brittle* atau Getas (penampang terkontrol tekan)

Di sini, beton hancur sebelum tulangan leleh. Keruntuhan seperti ini terjadi pada penampang dengan rasio tulangan kecil. Balok yang mengalami keruntuhan ini disebut *over-reinforced*.

3. Keruntuhan Seimbang, bersifat *Brittle*

Pada keruntuhan jenis ini, beton hancur dan tulangan leleh terjadi secara bersamaan. Balok seperti ini mempunyai tulangan yang *balanced*.

Beton Prategang

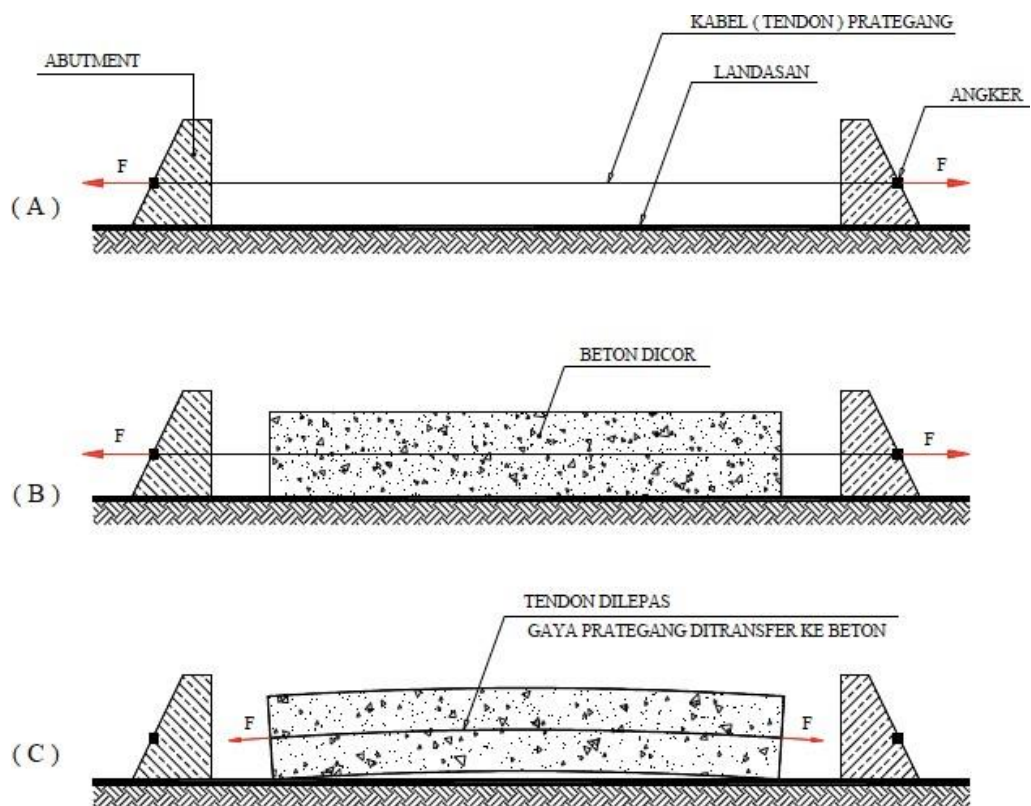
Menurut Ir. Seotoyo Pada dasarnya ada 2 macam metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu :

1. Pratarik (Pre-Tension Method)

Metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut pretension method.

Adapun prinsip dari Pratarik ini secara singkat adalah sebagai berikut

:



Gambar 1 Metode Pratarik Baja Prategang

Tahap 1 : Kabel (Tendon) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap (gambar 1 A).

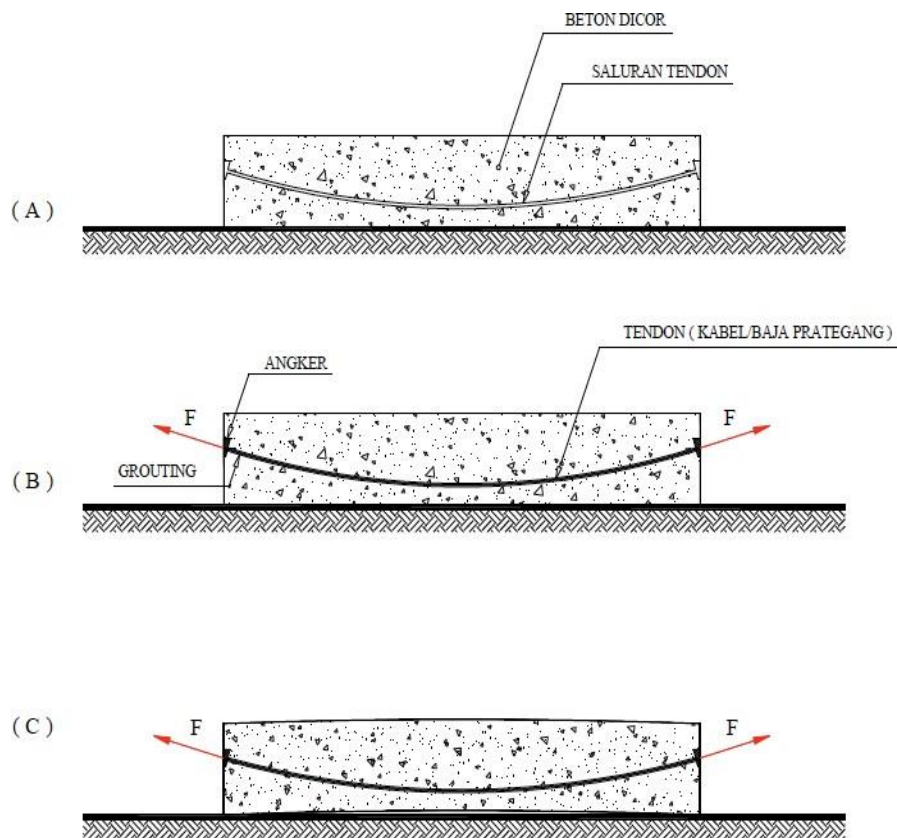
Tahap 2 : Beton dicor pada cetakan (formwork) dan landasan yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering (gambar 1 B).

Tahap 3 : Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton (gambar 1 C).

Setelah gaya prategang ditransfer kebeton, balok beton tsb. akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tsb. akan rata.

2. Pascatarik (Post-Tension Method)

Pada methode Pascatarik, beton dicor lebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut duct. Secara singkat methode ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2 Metode Pascatarik Baja Prategang

Beton Pracetak

Teknologi beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada

suatu tempat khusus (*off-site fabrication*), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang di lokasi (*installation*). Dengan demikian, sistem pracetak ini akan berbeda dengan konstruksi beton monolit pada aspek perencanaan yang tergantung atau ditentukan oleh metode pelaksanaan dari fabrikasi, penyatuan dan pemasangannya, serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar komponen (*joint*). (Abduh, 2007)

Beberapa prinsip beton pracetak tersebut dipercaya dapat memberikan manfaat lebih dibandingkan beton monolit antara lain terkait dengan pengurangan waktu dan biaya, serta peningkatan jaminan kualitas, *predicability*, keandalan, produktivitas, kesehatan, keselamatan, lingkungan, koordinasi, inovasi, *reusability*, serta *relocatability* (Gibb, 1999).

Secara umum sistem struktur komponen beton pracetak dapat digolongkan

sebagai berikut (*Nurjaman, 2000 dalam Abduh, 2007*):

1. Sistem struktur komponen pracetak sebagian, dimana kekakuan sistem tidak terlalu dipengaruhi oleh pemutusan komponenisasi, misalnya pracetak pelat, dinding di mana pemutusan dilakukan tidak pada balok dan kolom/bukan pada titik kumpul.
2. Sistem pracetak penuh, dalam sistem ini kolom dan balok serta pelat dipracetak dan disambung, sehingga membentuk suatu bangunan yang monolit.

Keuntungan utama yang diperoleh pada penggunaan pracetak adalah penghematan dalam acuan dan penopangnya. Manfaat yang diperoleh bergantung pada jumlah pengulangan pekerjaan, dimana sebagai patokan penggunaan 50 kali atau lebih cetakan unit beton pracetak akan memberikan nilai ekonomis (Murdock dan Brook, 1991, h.383).

B. Tiang Pancang

Tiang Pancang secara umum digunakan bila dijumpai kondisi tanah dasar pondasi yang baik atau dengan daya dukung tinggi terletak pada kedalaman yang cukup besar (D/B \geq 10) (Suryolelono, K. B., 1994), sedang tanah di atas tanah baik kurang mampu mendukung beban yang bekerja atau merupakan tanah lunak. Dasar pondasi yang sering mengalami erosi akibat gerusan air juga merupakan kondisi yang memerlukan pemakaian pondasi tiang, tetapi ini menyebabkan biaya membengkak. Hal lain yang perlu menggunakan pondasi tiang yaitu bila suatu konstruksi menerima beban horisontal ataupun tarik cukup besar, contohnya konstruksi dermaga, pemecah gelombang, tanggul pelabuhan, pondasi tangki minyak dan sebagainya. Penggunaan pondasi tiang dalam hal ini akan mengimbangi pengaruh beban tersebut. (Suryolelono, K. B., 1994)

Pembagian klasifikasi tiang sangat bervariasi. Dilihat dari jenis materialnya, bisa dibedakan menjadi tiang pancang kayu, tiang pancang baja, tiang pancang beton dan tiang komposit. "Berdasarkan The British Standard

Code of Practice for Foundation (CP.2004) tipe tiang dibagi menjadi 3 kategori” (Pradoto, S., 1988), yaitu :

1. Tiang perpindahan besar (Large displacement piles)

Termasuk dalam kategori ini adalah tiang massif atau tiang berlubang dengan ujung tertutup. Pelaksanaan di lapangan dapat dengan dipancang atau ditekan sampai elevasi yang dituju, sehingga terjadi perpindahan/terdesaknya lapis tanah. Setiap tiang yang dipancang dan dibuat tempat (cast in-situ) termasuk dalam kategori ini.

2. Tiang perpindahan kecil (Small displacement piles)

Perbedaannya dengan tiang perpindahan besar yaitu, tipe tiang perpindahan kecil, piles relatif mempunyai penampang yang lebih kecil. Tiang baja penampang H atau I, tiang pipa, atau tiang box dengan ujung terbuka, yang memungkinkan tanah masuk penampang yang berlubang termasuk dalam kategori ini. Tiang pancang ulir pada zaman dulu dimana mempunyai inti dengan diameter kecil tetapi mempunyai daun-daun ulir yang cukup besar juga termasuk dalam kategori ini.

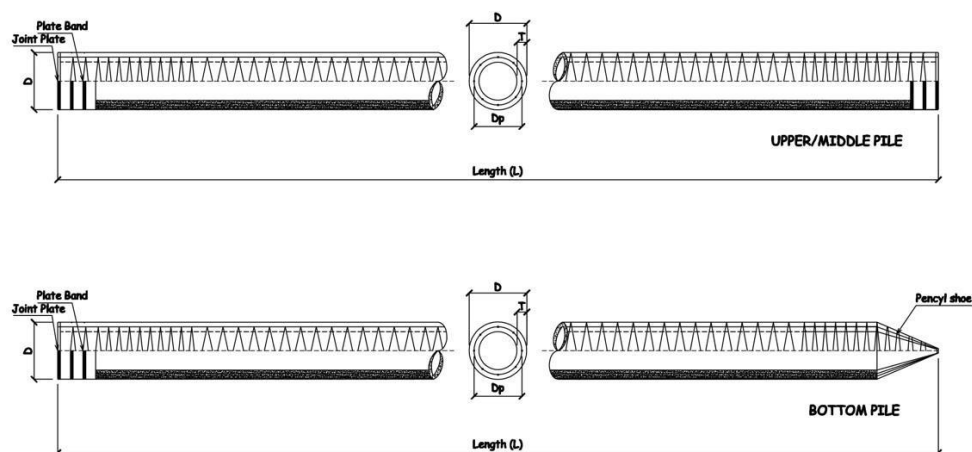
3. Tiang tanpa perpindahan (Non displacement piles)

Tiang tipe ini dibuat dengan pemindahan tanah terlebih dahulu dengan menggunakan bor, bisa juga dengan cara manual atau bisa dengan mesin. Setelah pemindahan dilaksanakan, baru dilaksanakan pengisian dengan tiang. Jadi ada sedikit perbedaan antara non displacement piles dengan displacement piles terhadap daya dukung yang dimobilisasi. Pada

displacement piles mungkin bisa dimobilisasikan 100% friction, sedangkan pada non displacement piles tanah tidak seluruhnya bisa dimobilisasikan.

C. Spun Pile

Spun Pile adalah tiang pancang berbentuk bulat dan berongga pada bagian tengah. Tiang pancang bulat ini dibuat dengan menggunakan proses spinning agar bisa menciptakan kepadatan dan homogenitas.



Gambar 3 Tiang pancang spun pile

Produk tiang pancang spun pile yang berada di pasaran saat ini di desain secara umum sebagai pondasi dalam dimana kekuatan tekan aksial yang menjadi dominan pada produk ini. Dalam praktek di lapangan, tiang pancang spun pile sebagai komponen dalam sebuah struktur dapat menerima beban lateral berupa beban gempa yang menimbulkan gaya dalam berupa momen lentur. Selama gaya gempa menyerang, tiang pancang spun pile akan menerima gaya lateral yang besar sebagai tambahan terhadap beban gravitasi dari struktur di atasnya.

Gaya gempa yang menimbulkan beban lateral menghasilkan momen yang besar pada badan tiang pancang. Kondisi-kondisi seperti diterangkan di atas dapat menyebabkan kerusakan tiang pancang spun pile akibat beban lentur. Selain masalah tentang momen lentur, penulangan produk tiang pancang spun pile yang berada di pasaran rasio dan dimensinya di bawah persyaratan SNI 2847:2013. Sebagai contoh salah satu produk tiang pancang spun pile diameter 400 mm memiliki diameter 7 mm untuk tulangan longitudinal dengan rasio 0,005Ag dan 3,2 mm untuk diameter tulangan spiral dengan rasio volume tulangan sebesar 0,002 (Budek dkk.,2000).

D. Daktilitas Struktur

Daktilitas merupakan suatu besaran yang mencerminkan kemampuan struktur atau elemen struktur untuk mengalami deformasi (perubahan bentuk) elasto-plastis (plastik) tanpa runtuh. Dalam mendesain suatu struktur daktilitas struktur tersebut tidak boleh diabaikan. Nilai daktilitas biasanya dinyatakan sebagai rasio antara deformasi ultimit dengan deformasi leleh (Wangsadinata dan Tumilar, 1989).

Deformasi suatu elemen struktur dapat dinyatakan sebagai defleksi (simpangan), rotasi dan kurvaktur. Sehingga faktor daktilitas dapat dinyatakan dalam 3 istilah, yaitu daktilitas simpangan ($\mu\Delta$), daktilitas rotasi ($\mu\theta$) dan daktilitas kurvaktur ($\mu\phi$) yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu\Delta = \Delta u/\Delta y$$

$$\mu\theta = \theta u/\theta y$$

$$\mu\phi = \phi u/\phi y$$

(Naaman dkk.,1986)

Daktalitas merupakan syarat yang penting dalam desain struktur dalam beban gempa. Suatu struktur harus mempunyai daktalitas yang cukup untuk menyerap energi gempa dengan baik melalui mekanisme leleh tanpa keruntuhan total. NEHRP 2000 dan ACI 318-99 menyaratkan daktalitas simpangan untuk kategori resiko seismik kuat harus lebih dari 8, menengah lebih dari 5 dan lemah tidak memiliki persyaratan daktalitas yang harus dipenuhi. Begitu pula dengan Japan code yang memberi batasan daktalitas simpangan untuk kategori resiko seismic kuat yang sama dengan NEHRP 2000 yaitu lebih dari 8, namun untuk kategori menengah harus lebih dari 5 (Hawkins dan Gosh,2000).

Untuk mendapatkan daktalitas yang tinggi diperlukan beton yang mampu mempertahankan kekuatan tegangan tekanannya saat regangan tekan yang besar. Hal ini dapat diperoleh dengan memberikan pengekangan yang cukup pada beton. Pengekangan juga memunculkan tegangan residual dengan nilai tertentu sehingga saat regangan yang besar menyebabkan kekuatan beton tidak langsung habis (Attard dan Setunge, 1996).

Daktilitas perpindahan (μ_{Δ}) adalah perbandingan antara perpindahan struktur maksimum (Δ_u) pada arah lateral terhadap perpindahan struktur saat leleh (Δ_y).

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

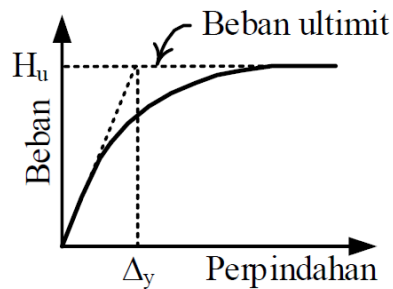
Mengenai tingkatan daktilitas, Tata Cara Perencanaan Struktur Ketahanan Gempa untuk bangunan gedung SNI 03-1726-2002, mengklasifikasikan tingkat daktilitas sebagai berikut:

1. Daktail penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas sebesar 5,3.
2. Daktail parsial adalah seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas diantara untuk struktur gedung yang elastik penuh sebesar 1,0 dan untuk struktur gedung yang daktail penuh sebesar 5,3.
3. Elastik penuh adalah suatu tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas sebesar 1,0.

Deformasi Leleh

Penentuan deformasi saat leleh sering menyebabkan kesulitan karena hubungan gaya-deformasi mungkin tidak memiliki titik leleh yang jelas. Hal ini mungkin terjadi karena beberapa hal, misalnya akibat perilaku nonlinier material atau karena tulangan longitudinal pada posisi penampang beton bertulang dengan kedalaman yang berbeda mencapai leleh pada

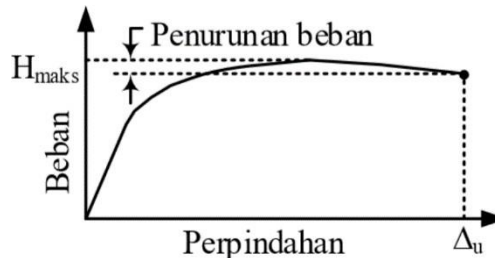
tingkat momen yang berbeda. Displacement leleh merupakan titik perpotongan antara garis kekakuan elastik dengan beban ultimit (Park, 1988).



Gambar 4 Grafik Deformasi Leleh

Deformasi Ultimit

Deformasi ultimit (maksimum) yang terjadi pada suatu struktur atau suatu elemen struktur diprediksi terjadi saat terjadi penurunan beban setelah beban puncak atau sekitar 0,75 dari H_{maks} (Park, 1998).



Gambar 5 Grafik Deformasi Ultimit

E. Penelitian Sebelumnya

Sejumlah penelitian telah dilakukan terkait tiang pancang pratekan berpenampang lingkaran berongga (spun pile). Penelitian tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Hoshikuma dan Priestley (2000) melaporkan hasil penelitian tentang perilaku lentur kolom beton bertulang berpenampang lingkaran

berlubang akibat pembebanan lentur dan aksial. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa perilaku kegagalan kolom akibat beban gempa adalah kegagalan tiba-tiba (getas) yang terjadi setelah beton pada sisi dalam dinding kolom hancur. Pada saat kolom gagal ternyata tulangan transversal yang mengekang inti beton belum mengalami leleh. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan lateral memberikan pengaruh yang kecil terhadap mekanisme pengekangan yang diberikan tulangan spiral.

2. Tuladhar dkk. (2005) meneliti perilaku spun pile dengan tulangan pratekan yang ditanam di dalam tanah. Spun pile tersebut dibebani dengan beban lateral monotonik dan siklik tanpa beban aksial. Hasil penelitian menunjukkan sendi plastis yang muncul di daerah sejarak 0,6 (2D) m dibawah level tanah untuk beban monotonik dan 1,2 (4D) m untuk beban siklik.
3. Budek dkk. (2005) menginvestigasi tiang pancang pratekan berpenampang lingkaran berlubang yang diberi beban lateral siklik dan beban aksial. Hasil pengujian menunjukkan keruntuhan yang terjadi dipicu oleh crushing beton di serat tekan. Variasi tulangan spiral tidak berpengaruh terhadap daktilitas perpindahan tiang pancang berpenampang lingkaran berlubang. Penambahan tulangan lunak menyebabkan penurunan daktilitas dari 4 menjadi 2,5.
4. Akiyama dkk. (2012) meneliti tiang pancang spun pile yang lubangnya diisi dengan beton pengisi dan diselubungi dengan serat karbon. Sistem pratekan yang digunakan adalah post tension dengan memasang

tulangan prategang unbounded di tengah spun pile. Pengujian yang dilakukan adalah tes lentur murni beban searah. Disimpulkan bahwa kapasitas lentur dan daktilitas spun pile meningkat dengan pengisian beton pengisi dan pelapisan serat karbon.

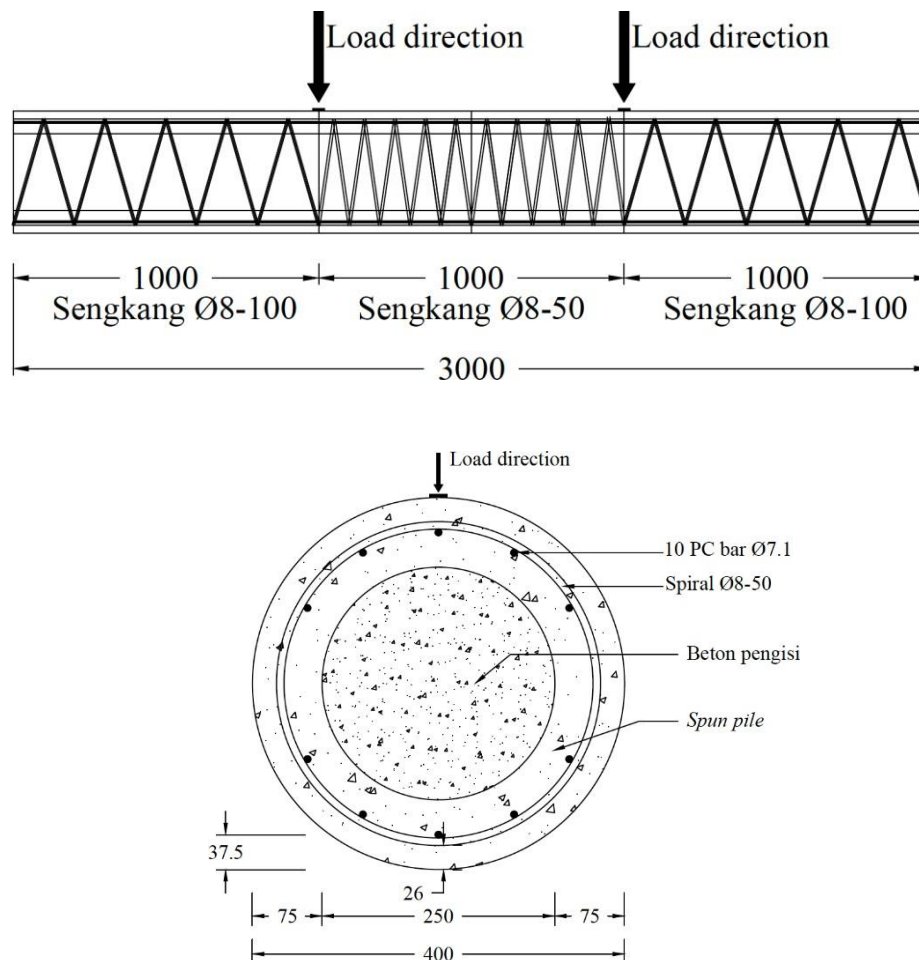
5. Candra Irawan (2015) melakukan studi tentang kesesuaian rasio tulangan spiral spun pile dengan persyaratan codes. Spun pile yang diuji berdiameter 400 mm dengan tebal 75 mm. Penulangan spun pile ini menggunakan 10 batang PC bar berdiameter 7,1 mm dan tulangan spiral wire berdiameter 3,2 mm dengan spasi tulangan 100 mm. Studi ini menyimpulkan bahwa tulangan spiral spun pile belum memenuhi persyaratan codes baik ditinjau dari diameter maupun rasio tulangan spiral.

BAB 3. METODE PENELITIAN

A. Benda Uji

Dimensi Benda Uji

Benda uji pada pengujian ini adalah spun pile berdiameter 400 mm dan tebal 75 mm serta memiliki 10 batang PC bar D7,1 mm dan tulangan sengkang berupa besi lunak D8 spasi 50 mm serta beton pengisi berdiameter 250 mm seperti pada gambar 6.



Gambar 6 Penampang dan Detail Spun Pile

Jenis Pengujian

Pada pengujian ini, spun pile akan diberi beban lateral siklik dan beban aksial tekan. Benda uji dimodelkan sebagai elemen struktur kolom yang ditumpu dengan perletakan sendi di kedua ujungnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Pengujian ini dilakukan pada 2 sampel yaitu SP-S8-S50-A10(1) dan SP-S8-S50-A10(2).



Gambar 7 Setting alat dan benda uji tes lentur siklik

Beban Aksial Tekan

Beban aksial tekan diberikan pada benda uji menggunakan piston yang ditekan oleh pompa hidrolis (Gambar 8). Piston ini bertumpu pada loading frame yang terdiri dari satu elemen balok dan satu elemen kolom. Ujung kedua elemen ini diangkurkan pada strong wall dan strong floor. Beban aksial yang digunakan sebesar 40 ton.



Gambar 8 Piston dan Pompa hidrolis

Beban Lateral Siklik

Beban lateral siklik diberikan menggunakan aktuator (Gambar 9). Sesuai spesifikasi aktuator ini mempunyai kekuatan dorong dan tarik maksimum sebesar 150 ton dengan simpangan stroke maksimum baik

dorong maupun tarik sebesar 200 mm. Perpindahan yang diberikan pada benda uji akan diukur menggunakan LVDT horizontal yang dipasang pada benda uji seperti pada gambar 10 sedangkan pengukuran regangan yang terjadi menggunakan strain gauge (Gambar 11). Pengamatan detail dilakukan di daerah sepanjang 1 m di tengah bentang, dimana di lokasi tersebut terjadi momen maksimum. Strain gauge dipasang di PC bar dan tulangan lunak.



Gambar 9 *Actuator Load*



Gambar 10 Posisi LVDT pada saat pengujian



Gambar 11 Strain Gauge

B. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 3 bulan, mulai 9 Mei 2019 sampai dengan 9 Agustus 2019. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

C. Alat dan Bahan Penelitian

Alat Penelitian

1. *Actuator Load*
2. *Loading Frame*
3. *Hydraulic Power Supply*
4. *Data Logger*
5. *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 1000 kN
6. *Crane*
7. *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) kapasitas 200 mm
8. *Strong Floor*
9. *Strong Wall*
10. *Hydraulic Jack*
11. *Load Cell* 500 kN
12. Personal Komputer

Bahan Penelitian

1. Baut
2. Mur
3. PC bar D7,1 dan tulangan lunak D8
4. *Strain Gauge* Baja (FLA 2-11)

D. Prosedur Penelitian

Persiapan

Tahap ini meliputi kajian pustaka mengenai teori dasar dari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan, persiapan alat dan bahan.

Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji ini terbagi menjadi 2 bagian:

1. Pengujian kuat tarik tulangan

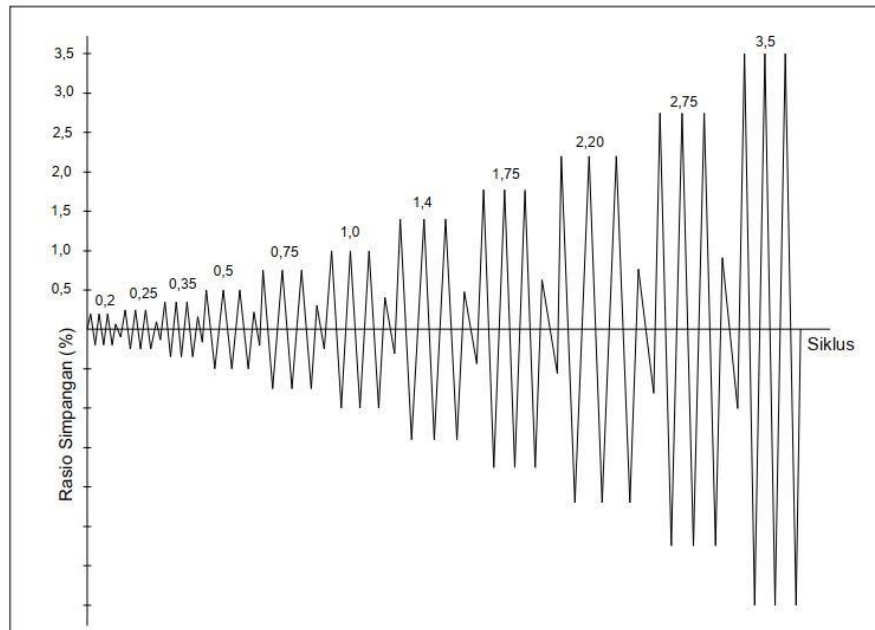
Pengujian kuat tarik dilaksanakan berdasarkan ASTM E8/E8M-09 (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*). Adapun kondisi leleh ditentukan saat regangan 0,2% atau 0,002 menurut SNI 7701 2016. Analisis bagian elastis dari kurva tegangan-regangan dengan menggunakan konsep linier elastik akan diperoleh nilai modulus elastisitasnya. Sesuai dengan Hukum Hooke, nilai modulus elastisitas merupakan gradient (kemiringan) kurva tegangan-regangan saat masih elastis. Penentuan modulus elastisitas dilakukan dengan meregresi kurva tegangan-regangan saat kondisi elastik.

2. Pengujian Spun Pile dengan Beban Lentur Siklik dan Aksial Tekan

Pengujian lentur siklik dengan tambahan beban aksial dilakukan untuk mengetahui perilaku tiang pancang spun pile jika difungsikan sebagai elemen struktur yang memikul beban akibat gempa dan akibat gravitasi secara bersamaan. Sebelum diberi beban siklik, spun pile ditekan (diberi beban aksial konstan 40 ton). Kemudian beban siklik diaplikasikan pada spun pile menggunakan aktuator dengan control displacement. Adapun besar perpindahan untuk satu siklus disajikan pada tabel 1 dan rasio simpangan pembebanan pada gambar 12. Pengujian dilakukan hingga permukaan beton runtuh pada area tekan.

Tabel 1 Siklus Pembebanan

Siklus	Drift ratio (%)	Perpindahan (mm)	Kecepatan (mm/s)	Waktu/trip (s)	Jumlah Trip	Waktu/siklus (s)	Waktu/siklus (menit)	
1-3	0.2	3.5	0.15	23	12	280	4.7	
Half	0.1	1.75	0.15	12	4	47	0.8	
4-6	0.25	4.375	0.15	29	12	350	5.8	
Half	0.125	2.1875	0.15	15	4	58	1	
7-9	0.35	6.125	0.15	41	12	490	8.2	
Half	0.175	3.0625	0.15	20	4	82	1.4	
10-12	0.5	8.75	0.15	58	12	700	11.7	
Half	0.25	4.375	0.15	29	4	117	1.9	
13-15	0.75	13.125	0.3	44	12	525	8.8	
Half	0.375	6.5625	0.3	22	4	88	1.5	
16-18	1	17.5	0.3	58	12	700	11.7	
Half	0.5	8.75	0.3	29	4	117	1.9	
19-21	1.4	24.5	0.3	82	12	980	16.3	
Half	0.7	12.25	0.3	41	4	163	2.7	
22-24	1.75	30.625	0.4	77	12	919	15.3	
Half	0.825	15.3125	0.4	38	4	153	2.6	
25-27	2.2	38.5	0.4	96	12	1155	19.3	
Half	1.1	19.25	0.4	48	4	193	3.2	
28-30	2.75	48.125	0.4	120	12	1444	24.1	
Half	1.375	24.0625	0.4	60	4	241	4	
31-33	3.5	61.25	0.4	153	12	1838	30.6	
Total Waktu Pengujian							177.3	Menit
							3	Jam



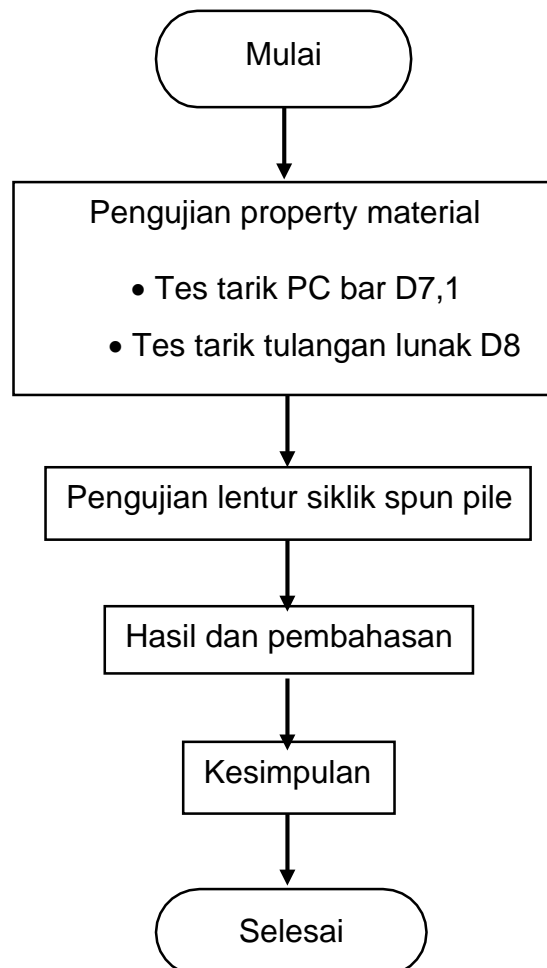
Gambar 12 Program Pembebanan

Pengumpulan dan Pelaporan

Perilaku yang diperoleh dari hasil pengujian akan dianalisa dan dibahas, selanjutnya akan ditarik kesimpulan serta saran-saran yang berguna untuk diterapkan, atau merekomendasikan hal-hal yang mungkin akan penting untuk diteliti selanjutnya.

E. Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan di laboratorium secara garis besar akan disajikan dalam bentuk diagram alir berikut ini:



Gambar 13 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Material

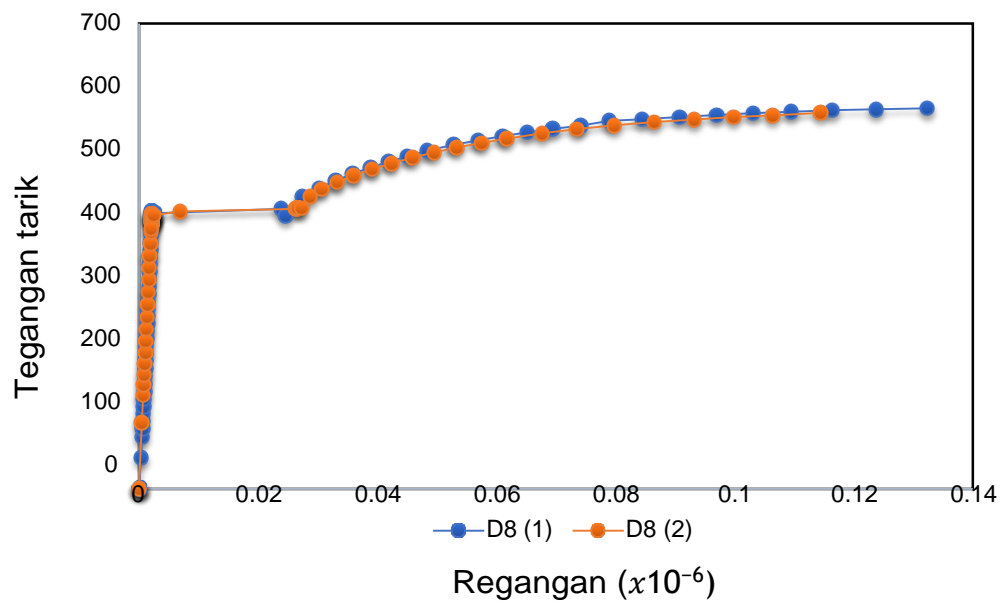
Kuat Tarik Tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Ada 2 baja tulangan yang diuji kuat tariknya dalam pengujian ini, yaitu PC bar D7,1 dan tulangan lunak D8. Tulangan ini digunakan pada pembuatan *spun pile* dengan beton pengisi. PC bar digunakan untuk tulangan utama dan tulangan lunak digunakan untuk tulangan sengkang.

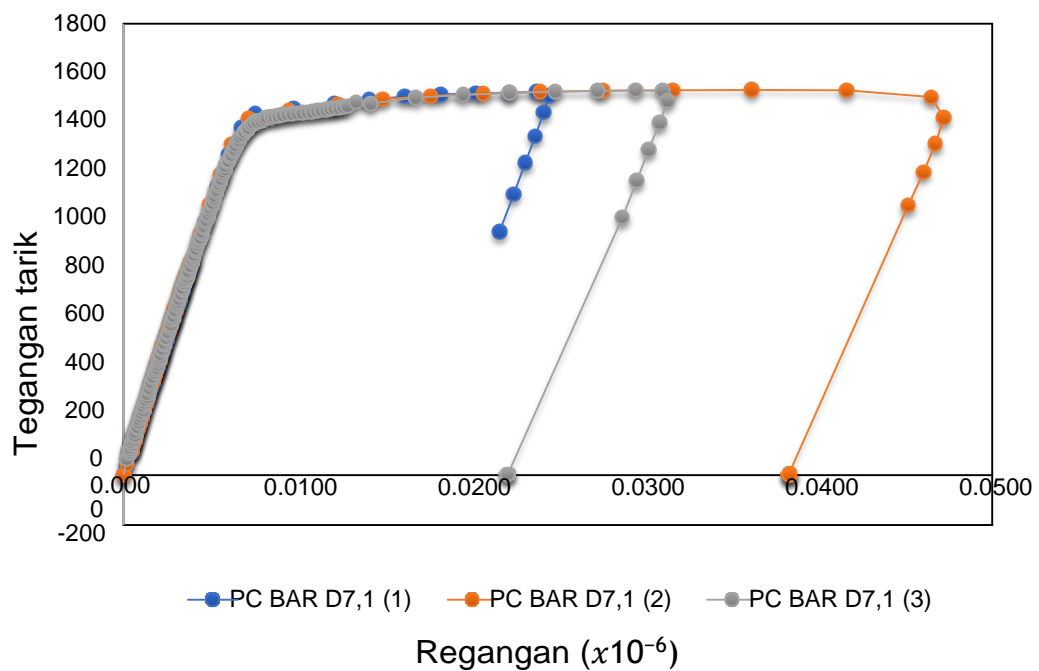


Gambar 14 Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Hasil pengujian kuat tarik PC bar D7,1 dan tulangan lunak D8 dapat dilihat dalam gambar 15 dan 16.



Gambar 15 Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Lunak D8



Gambar 16 Hubungan Tegangan dan Regangan PC bar D7,1

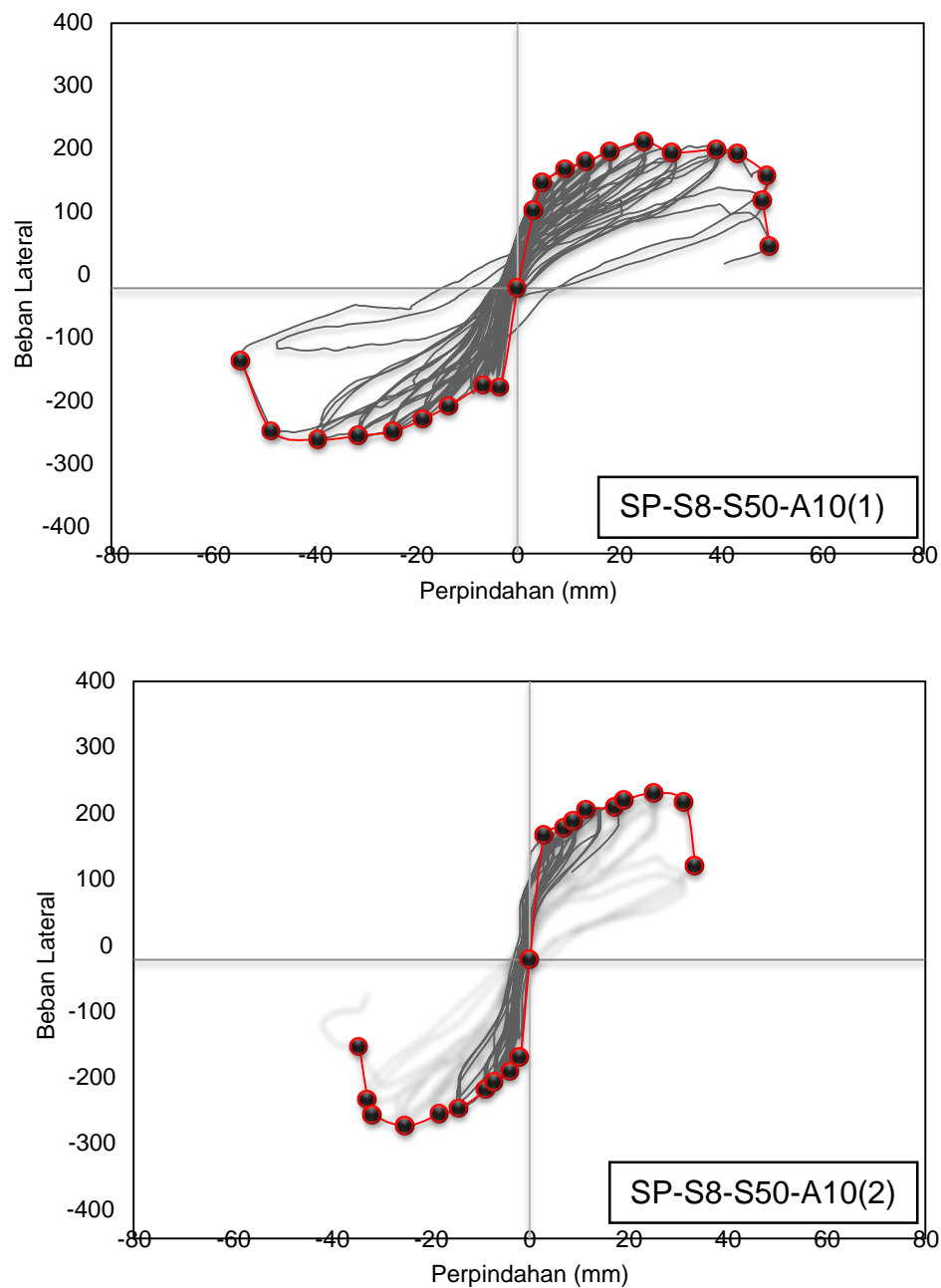
Tabel 2 Data Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Diameter Besi	Luas Penampang (As)	Tegangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		Leleh (fy)	Ultimate (fu)	Leleh (fy)	Ultimate (fu)	
	mm ²	MPa	MPa	-	-	MPa
D8 (Lunak)	50,265	414	574	0,0021	0,13	191919
D7,1 (PC bar)	40	1440	1532	0,0085	0,03	212512

Dari data pengujian tarik tulangan pada tabel 2 diperoleh bahwa tulangan lunak D8 termasuk jenis tulangan ulir BJTS40 dan PC bar D7,1 termasuk jenis KBjP-Q NG. Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja D8 dan D7,1 digunakan untuk mengevaluasi hasil pengujian spun pile.

B. Hubungan Beban dengan *Displacement*

Berdasarkan hasil pengujian *spun pile* dengan beton pengisi dan tulangan sengkang menggunakan tulangan lunak D8 spasi 50 mm diperoleh nilai beban dan *displacement* untuk benda uji. Grafik hubungan antara beban maksimum dengan *displacement* per siklus untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17 Hubungan Beban dengan *Displacement*

Pada SP-S8-S50-A10(1) pengujian dihentikan pada siklus 28-30 pada perpindahan kurang lebih 50 mm, sedangkan pada SP-S8-S50-

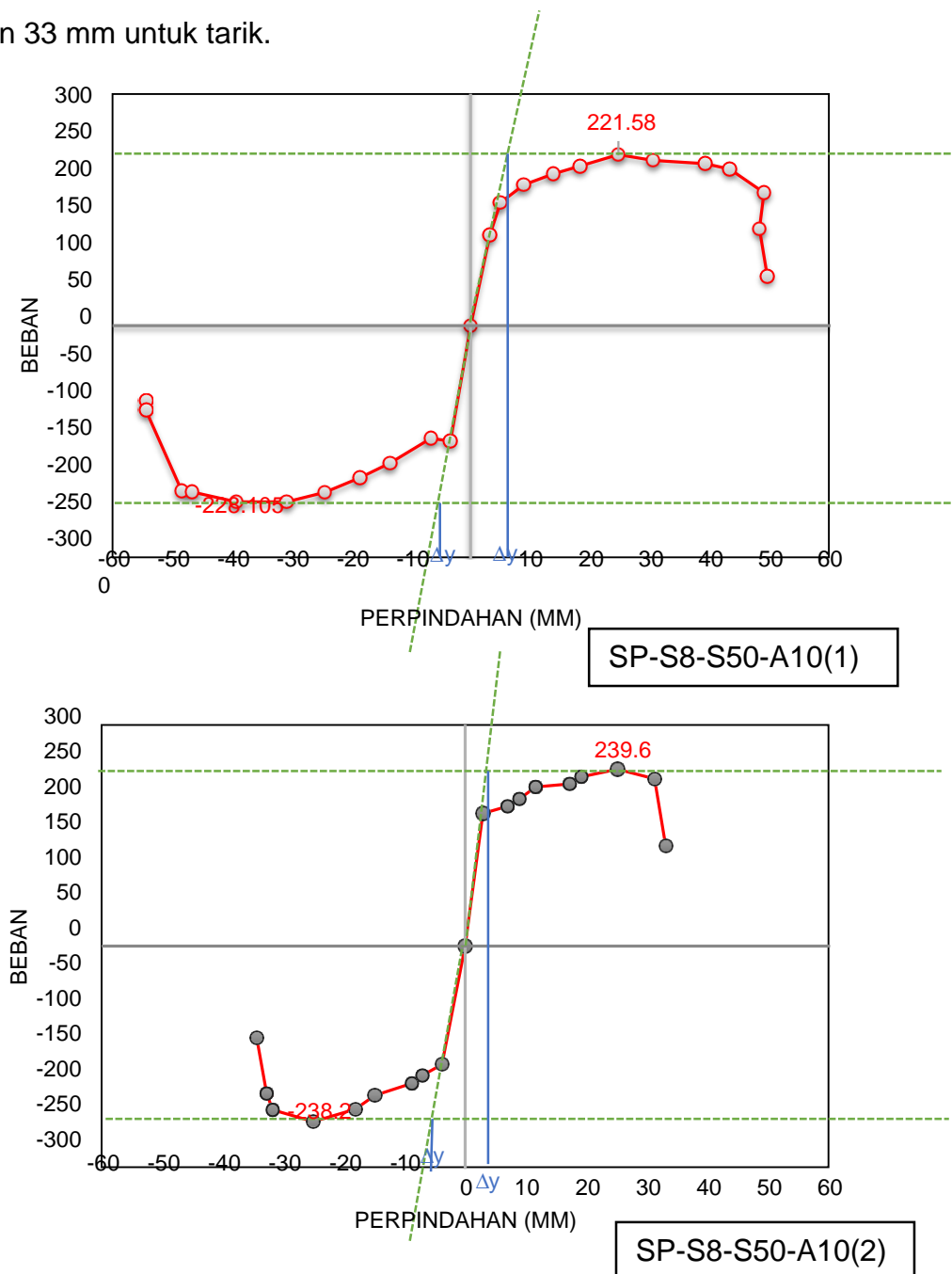
A10(2) pengujian dihentikan pada siklus 25-27 pada perpindahan kurang lebih 33 mm. Pengujian dihentikan dikarenakan beton spun pile sudah mengalami pecah di bagian tekan. Kemudian dari gambar 17 dapat diperoleh nilai beban maksimum, perpindahan leleh untuk masing-masing benda uji pada gambar 18 dan perpindahan ultimit untuk masing-masing benda uji seperti gambar 19.

Penentuan perpindahan leleh berdasarkan titik perpotongan antara garis kekakuan elastik dengan beban maksimumnya. Pada gambar 18 titik leleh SP-S8-S50-A10(1) berada pada titik (5;221,58) untuk dorong dan (5;228,105) untuk tarik, maka perpindahan leleh SP-S8-S50-A10(1) untuk dorong dan tarik sebesar 5 mm. Sedangkan titik leleh SP-S8-S50-A10(2) berada pada titik (3;239,61) untuk dorong dan (3;238,2) untuk tarik, maka perpindahan leleh SP-S8-S50-A10(2) untuk dorong dan tarik sebesar 3 mm.

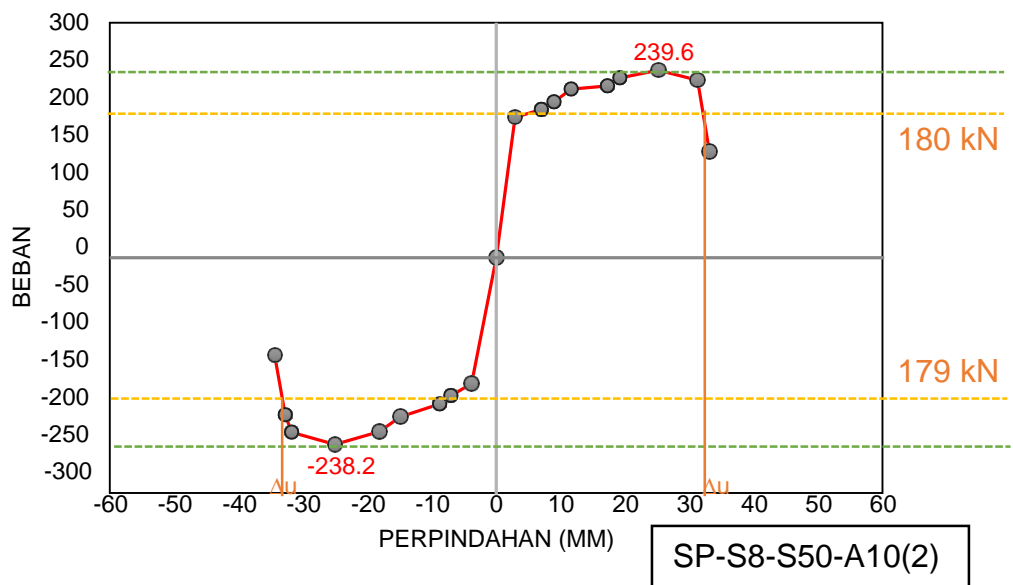
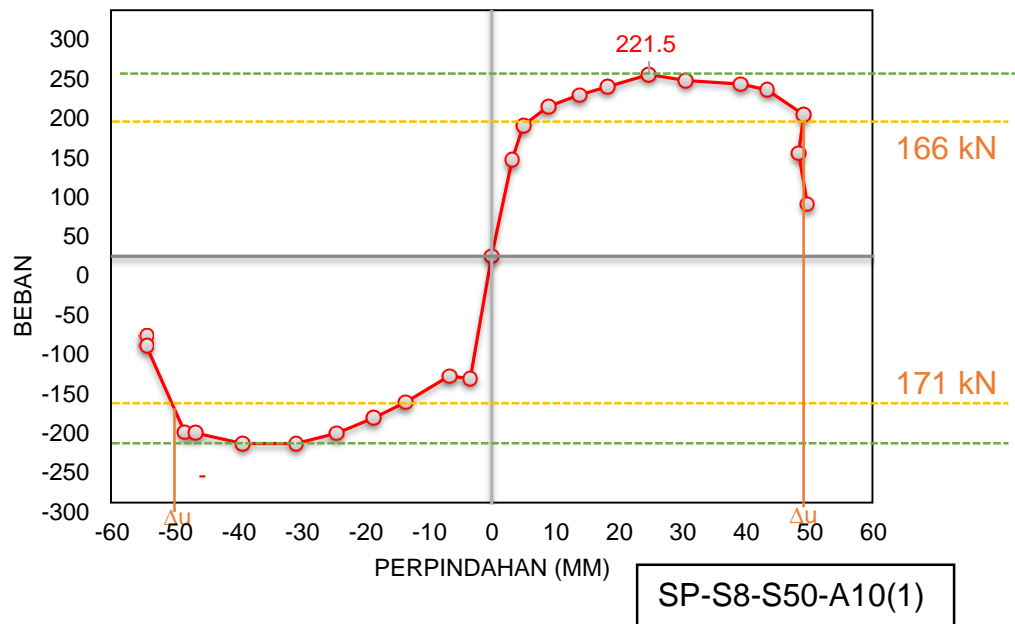
Perpindahan ultimit terjadi saat penurunan beban setelah beban maksimum atau sekitar 0,75 dari beban maksimum. Pada gambar 19 beban maksimum SP-S8-S50-A10(1) untuk dorong sebesar 222 kN dan untuk tarik sebesar 228 kN, dimana 0,75 dari beban maksimum tersebut berturut-turut adalah 166 kN dan 171 kN. Kemudian diperoleh titik (49;166) untuk dorong dan titik (50;171) untuk tarik. Maka perpindahan ultimit SP-S8-S50-A10(1) adalah sebesar 49 mm untuk dorong dan 50 mm untuk tarik.

Pada SP-S8-S50-A10(1) diperoleh beban maksimum untuk dorong sebesar 240 kN dan untuk tarik sebesar 238 kN, dimana 0,75 dari beban maksimum tersebut berturut-turut adalah 180 kN dan 179 kN. Kemudian

diperoleh titik (33;180) untuk dorong dan titik (33;179) untuk tarik. Maka perpindahan ultimit SP-S8-S50-A10(1) adalah sebesar 33 mm untuk dorong dan 33 mm untuk tarik.



Gambar 18 Cara menentukan perpindahan leleh spun pile



Gambar 18 Cara menentukan perpindahan ultimit spun pile

Berdasarkan hasil pada gambar 18 dan 19 , menunjukkan bahwa:

1. SP-S8-S50-A10(1)

Beban maksimum	:Dorong	= 222 kN
	Tarik	= 228 kN
Perpindahan leleh	:Dorong	= $\Delta_y = 5$ mm
	Tarik	= $\Delta_y = 5$ mm
Pepindahan ultimit	:Dorong	= $\Delta_u = 49$ mm
	Tarik	= $\Delta_u = 50$ mm

2. SP-S8-S50-A10(2)

Beban maksimum	: Dorong	= 240 kN
	Tarik	= 238 kN
Perpindahan leleh	:Dorong	= $\Delta_y = 3$ mm
	Tarik	= $\Delta_y = 3$ mm
Pepindahan ultimit	:Dorong	= $\Delta_u = 33$ mm
	Tarik	= $\Delta_u = 33$ mm

Dari hasil di atas maka dapat diperoleh nilai daktilitas yang dimiliki masing-masing spun pile.

C. Nilai Daktilitas *Spun Pile*

Perilaku dari *spun pile* yang paling penting untuk ditinjau dari penelitian ini adalah nilai daktilitas. Nilai daktilitas ini dihitung agar dapat mengetahui kemampuan struktur untuk mengalami deformasi saat terjadi

leleh. Berdasarkan nilai perpindahan ultimit dan perpindahan saat terjadi leleh diperoleh nilai daktilitas spun pile seperti yang terlihat pada tabel 3.

Nilai daktilitas ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Ket: μ_{Δ} = Nilai Daktilitas

Δ_u = Perpindahan Ultimit

Δ_y = Perpindahan Leleh

Tabel 3 Nilai Daktilitas Spun Pile

Sampel		SP-S8-S50-A10(1)	SP-S8-S50-A10(2)
Nilai Daktilitas (μ_{Δ})	Tarik	10	11
	Tekan	9,8	11
	Rata ²	9,9	11

Dari table 4. diketahui bahwa kedua spun pile termasuk kategori desain seismik D,E dan F yaitu $\mu_{\Delta} > 8$.

D. Pengaruh Beton Pengisi pada *Spun Pile*

Beton pengisi menyebabkan proses kegagalan spun pile menjadi stabil. Sebagai beton inti, beton pengisi menahan dinding spun pile sehingga tidak terjadi ledakan dinding beton spun pile ke arah dalam. Setelah selimut beton crushing, beton pengisi berperan sebagai pemikul beban aksial sehingga spun pile tidak hancur total seperti yang terlihat pada gambar 20 dan gambar 21 yaitu kondisi spun pile pada saat pengujian dihentikan.



Gambar 20 Kondisi SP-S8-S50-A10(1) di siklus 28-30

Dari gambar 20 dapat dilihat bahwa pusat crushing ada tepat di tengah jepitan pada bagian dorong maupun tarik spun pile. Terdapat 3 retak

yang mengelilingi selimut beton pada bagian tengah jepitan serta masing-masing 1 retak di bagian atas dan bawah pada bagian dorong spun pile.



Gambar 21 Kondisi SP-S8-S50-A10(2) di siklus 25-27

Dari gambar 21` dapat dilihat bahwa pusat crushing ada di tengah jepitan namun sedikit mendekati jepitan bawah pada bagian dorong maupun tarik spun pile. Terdapat 2 retak yang mengelilingi selimut beton dan 1 retak pada bagian dorong di tengah jepitan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian spun pile dengan beton pengisi dan tulangan sengkang besi lunak D8 spasi 50 mm, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban maksimum pada SP-S8-S50-A10(1) untuk dorong sebesar 222 kN dan tarik sebesar 228 kN. Pada SP-S8-S50-A10(2) mencapai beban maksimum lebih besar yaitu untuk dorong 240 kN dan tarik 238 kN.
2. Perpindahan leleh pada SP-S8-S50-A10(1) untuk dorong adalah 5 mm dan untuk tarik adalah 5 mm. Sedangkan perpindahan leleh pada SP-S8-S50-A10(2) untuk dorong adalah 3 mm dan untuk tarik adalah 3 mm.
3. Perpindahan ultimit pada SP-S8-S50-A10(1) untuk dorong adalah 49 mm dan untuk tarik adalah 50 mm. Sedangkan perpindahan leleh pada SP-S8-S50-A10(2) untuk dorong adalah 33 mm dan untuk tarik adalah 33 mm.
4. Nilai daktilitas terbesar dimiliki oleh SP-S8-S50-A10(2) yaitu 11 dan SP-S8-S50-A10(1) memiliki nilai daktilitas terkecil yaitu 9,9. Kedua spun pile tersebut termasuk kategori desain seismik D, E dan F yaitu $\mu_{\Delta} > 8$ sesuai dengan hasil pengujian model numerik sebelumnya.
5. Beton pengisi menyebabkan proses kegagalan spun pile menjadi stabil. Sebagai beton inti, beton pengisi menahan dinding spun pile sehingga tidak terjadi ledakan dinding beton spun pile ke arah dalam. Setelah selimut beton crushing, beton pengisi berperan sebagai pemikul beban aksial sehingga spun pile tidak hancur total.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka penulis menjabarkan beberapa hal yang menjadi saran untuk penyempurnaan maupun peningkatan terhadap penelitian yang serupa, sebagai berikut:

1. Sebaiknya dalam proses penelitian diusahakan lebih teliti agar mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Sebaiknya jumlah benda uji ditambah agar terdapat perbandingan data.
3. Sebaiknya penelitian selanjutnya meneliti spun pile dengan tulangan sengkang dan spasi yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, Muhammad. 2007. Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia: Sebuah Analisa Rantai Nilai. *Seminar dan Pameran HAKI 2007 - "Konstruksi Tahan Gempa di Indonesia"*, Jakarta: 21-22 Agustus 2007.
- Akiyama, M., Abe, S., Aoki, N. dan Suzuki, M. 2012. Flexural Test of Precast High-strength Reinforced Concrete Pile Prestressed with Unbonded Bar Arrange at the Center of the Cross-section, *Engineering Structures*, vol.34, hal 259-270.
- Attard, M. M. dan Setunge, S. 1996. Stress-Strain Relationship of Confined and Unconfined Concrete, *ACI Materials Journal*, hal.432-441.
- Barsom, J.M. & S.T. Rolfe. 1999. *Fracture and fatigue control in structures: Applications of fracture mechanics*. USA: ASTM.
- Budek, A. M., Priestley, M. J. N., dan Benzoni, G. 2000, "Inelastic Seismic Response of Bridge Drilled-Shaft RC Pile/Columns", *Journal of Structural Engineering*, vol. 126(4), hal. 510-517.
- Building Seismic Safety Council 2001, *NHERP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures*, 2000 Edition, FEMA 369, Washington D.C.
- Hawkins, N.M., Ghosh, S.K., et.al.. 2000. *Proposed Revisions to 1997 NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulation for Precast Concrete Structures Part 2 – Seismic Force Resisting System*. *PCI Journal*, 45(3), pp.36-44.

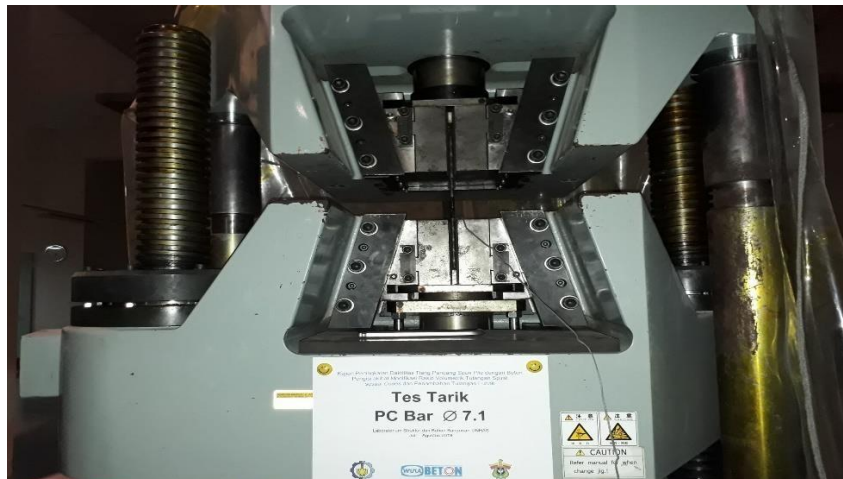
- Imran, Iswandi & Ediansjah Zulkifli. 2014. *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB
- Irawan, C., Raka, I.G.P., Djamaluddin, R., Suprobo, P., Gambiro. 2017. Ductility and Seismic Performance of Spun Pile under Constant Axial and Reverse Flexural Loading. Proceedings of International Symposium on Concrete Technology (ISCT 2017), Ed: Abdurrahman, M. A. dkk., Universitas Hasanuddin, Kyushu University, JCI dan JSCE, Makassar, hal.35-44.
- Japanese Standards Association. 1987. Japan Industrial Standard Pretensioned Concrete Spun Pile JIS A-5335, Jepang.
- Murdock, L.J. & K.M. Brook. 1991. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga
- Park, R & T. Paulay. 1975. *Reinforced in Concrete Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Paulay, T. & M.J.N. Priestley. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. Christchurch and San Deigo: John Wiley & Sons, Inc.
- Reza, Sri Fatma, et.al. 2016. *Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier*. Universitas Riau, Jom FTEKNIK Volume 3 No.1 Februari 2016

- Wahyudi, H., & Hery Dwi Hanggoro, 2010. *Perencanaan Struktur Gedung BPS Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Beton Pracetak*, Thesis, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Widodo, Sri & M.S.Priyono Nugroho. 2007. *Perancangan Gedung Sekolah Tahan Gempa Di Cabang Muhammadiyah Wedi Klaten*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Winter, G. dan A.H. Wilson. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN



Tim Kerja



Pengujian Kuat Tarik Tulangan



Strain Gauges untuk Tulangan dan Beton, serta CN Adhesive





Pemasangan Loading Frame



Pemasangan Actuator



Pemasangan Benda Uji





Pengujian SP-S8-S50-A10(1)



Pengujian SP-S8-S50-A10(2)

Tabel tegangan-regangan tulangan lunak D8(1)

Regangan ($\times 10^{-6}$)	Tegangan (N/mm^2)
0.0000	0.0
0.0000	0.2
0.0000	0.5
0.0000	0.5
0.0000	1.1
0.0004	47.1
0.0005	77.9
0.0006	90.3
0.0007	102.0
0.0007	113.2
0.0008	124.0
0.0008	135.1
0.0009	146.2
0.0010	157.7
0.0010	169.3
0.0011	180.8
0.0011	192.5
0.0012	203.7
0.0012	214.9
0.0013	226.2
0.0013	237.3
0.0014	248.5
0.0015	259.5
0.0015	270.6
0.0016	281.8
0.0016	292.8
0.0017	304.0
0.0017	315.3
0.0018	326.4
0.0018	337.3
0.0019	348.6
0.0019	359.7
0.0020	370.8
0.0020	381.8
0.0021	392.4
0.0022	402.7

0.0022	408.8
0.0021	406.4
0.0022	410.0
0.0022	413.2
0.0018	351.0
0.0022	412.1
0.0022	407.1
0.0022	407.4
0.0022	410.4
0.0021	404.9
0.0022	413.3
0.0021	414.3
0.0021	416.9
0.0024	414.3
0.0239	420.9
0.0246	411.2
0.0273	439.5
0.0302	452.5
0.0330	463.4
0.0359	473.9
0.0389	483.0
0.0419	491.9
0.0451	500.0
0.0484	508.9
0.0528	517.3
0.0569	524.3
0.0610	530.5
0.0651	536.2
0.0695	541.5
0.0741	546.4
0.0789	553.3
0.0845	555.8
0.0908	559.4
0.0970	562.4
0.1031	564.9
0.1095	567.2
0.1164	569.4
0.1238	570.9
0.1324	572.4

Tabel tegangan-regangan tulangan lunak D8(2)

Regangan ($\times 10^{-6}$)	Tegangan (N/mm^2)
0.0000	0
0.0000	5
0.0005	100
0.0007	141
0.0008	157
0.0009	173
0.0010	189
0.0011	205
0.0012	222
0.0012	240
0.0013	258
0.0014	277
0.0015	296
0.0016	314
0.0017	332
0.0018	351
0.0019	369
0.0020	386
0.0021	401
0.0022	409
0.0021	400
0.0021	401
0.0021	401
0.0021	403
0.0021	409
0.0021	407
0.0021	410
0.0020	391
0.0021	413
0.0023	411
0.0069	417
0.0264	421
0.0265	422
0.0273	422
0.0288	439

0.0307	451
0.0333	461
0.0361	471
0.0391	481
0.0424	490
0.0459	498
0.0495	506
0.0534	513
0.0575	520
0.0617	527
0.0677	535
0.0735	541
0.0798	547
0.0865	552
0.0932	555
0.0998	559
0.1065	562
0.1144	566

Tabel tegangan-regangan PC bar D7,1(1)

Regangan ($\times 10^{-6}$)	Tegangan (N/mm^2)
0.0000	0
0.0000	0
0.0002	35
0.0004	85
0.0004	93
0.0004	102
0.0005	110
0.0005	119
0.0006	130
0.0006	140
0.0007	152
0.0007	164
0.0008	176
0.0008	188
0.0009	200
0.0009	212
0.0010	225

0.0011	239
0.0011	253
0.0012	260
0.0013	285
0.0013	299
0.0014	312
0.0015	324
0.0015	336
0.0016	348
0.0016	359
0.0017	370
0.0017	381
0.0018	392
0.0018	403
0.0019	414
0.0019	425
0.0020	435
0.0020	446
0.0021	456
0.0021	467
0.0022	478
0.0022	488
0.0023	499
0.0023	510
0.0024	521
0.0024	531
0.0025	543
0.0025	553
0.0026	564
0.0026	576
0.0027	586
0.0027	598
0.0028	609
0.0029	620
0.0029	631
0.0030	642
0.0030	653
0.0031	665
0.0031	675

0.0032	687
0.0032	698
0.0033	709
0.0033	720
0.0034	732
0.0034	744
0.0035	755
0.0035	766
0.0036	777
0.0037	788
0.0037	799
0.0038	810
0.0038	820
0.0039	831
0.0039	841
0.0039	851
0.0040	860
0.0037	795
0.0047	1013
0.0054	1151
0.0060	1277
0.0068	1386
0.0076	1441
0.0098	1462
0.0121	1482
0.0142	1497
0.0162	1510
0.0182	1518
0.0203	1523
0.0222	1526
0.0238	1528
0.0245	1514
0.0242	1446
0.0237	1352
0.0231	1246
0.0225	1121
0.0216	971

Tabel tegangan-regangan PC bar D7,1(2)

Regangan ($\times 10^{-6}$)	Tegangan (N/mm^2)
0.0000	0
0.0002	43
0.0004	89
0.0005	100
0.0005	110
0.0005	120
0.0006	130
0.0006	140
0.0007	151
0.0007	162
0.0008	173
0.0008	185
0.0009	196
0.0009	209
0.0010	221
0.0010	233
0.0011	246
0.0012	259
0.0012	272
0.0013	284
0.0013	297
0.0014	309
0.0014	321
0.0015	333
0.0015	344
0.0016	356
0.0016	367
0.0017	378
0.0017	389
0.0018	400
0.0018	412
0.0019	422
0.0019	434
0.0020	445
0.0020	456
0.0021	467

0.0021	478
0.0022	489
0.0022	500
0.0023	511
0.0024	523
0.0024	534
0.0025	545
0.0025	556
0.0026	567
0.0026	578
0.0027	590
0.0027	601
0.0028	612
0.0028	623
0.0029	634
0.0029	645
0.0030	656
0.0030	667
0.0031	678
0.0031	689
0.0032	700
0.0032	711
0.0033	723
0.0033	734
0.0034	746
0.0034	757
0.0035	768
0.0035	779
0.0036	790
0.0036	801
0.0037	813
0.0039	847
0.0044	962
0.0050	1078
0.0056	1199
0.0062	1321
0.0072	1421
0.0095	1455
0.0123	1478

0.0149	1499
0.0177	1512
0.0207	1521
0.0240	1528
0.0276	1533
0.0316	1535
0.0362	1535
0.0416	1534
0.0465	1508
0.0472	1425
0.0467	1321
0.0461	1209
0.0452	1076
0.0383	0
0.0383	-1
0.0383	0
0.0383	0

Tabel tegangan-regangan PC bar D7,1(3)

Regangan ($\times 10^{-6}$)	Tegangan (N/mm^2)
0.0000	1
0.0002	63
0.0003	88
0.0004	98
0.0004	108
0.0004	117
0.0005	128
0.0005	138
0.0006	149
0.0006	160
0.0007	171
0.0007	182
0.0008	193
0.0008	205
0.0009	218
0.0010	231
0.0010	244
0.0011	258

0.0011	271
0.0012	284
0.0013	297
0.0013	310
0.0014	322
0.0014	335
0.0015	346
0.0016	358
0.0016	370
0.0017	381
0.0017	393
0.0018	404
0.0018	415
0.0019	426
0.0019	438
0.0020	449
0.0020	460
0.0021	471
0.0021	482
0.0022	494
0.0023	504
0.0023	515
0.0024	526
0.0024	537
0.0025	547
0.0025	559
0.0026	569
0.0026	580
0.0027	592
0.0027	602
0.0028	613
0.0028	624
0.0029	635
0.0029	647
0.0030	658
0.0030	669
0.0031	680
0.0032	691
0.0032	702

0.0033	713
0.0033	724
0.0034	735
0.0034	747
0.0035	758
0.0035	769
0.0036	780
0.0036	791
0.0037	802
0.0038	813
0.0038	824
0.0039	835
0.0039	846
0.0040	857
0.0040	868
0.0041	880
0.0041	891
0.0042	902
0.0042	913
0.0043	925
0.0044	936
0.0044	947
0.0045	959
0.0045	970
0.0046	982
0.0046	993
0.0047	1005
0.0048	1016
0.0048	1028
0.0049	1039
0.0049	1051
0.0050	1063
0.0051	1075
0.0051	1087
0.0052	1099
0.0053	1111
0.0053	1123
0.0054	1136
0.0054	1148

0.0055	1160
0.0056	1171
0.0056	1184
0.0057	1195
0.0058	1207
0.0058	1219
0.0059	1231
0.0060	1243
0.0061	1255
0.0061	1267
0.0062	1278
0.0063	1289
0.0064	1301
0.0065	1313
0.0065	1324
0.0066	1334
0.0067	1345
0.0068	1356
0.0070	1366
0.0071	1376
0.0072	1385
0.0073	1393
0.0075	1401
0.0077	1408
0.0079	1415
0.0081	1420
0.0083	1424
0.0085	1428
0.0087	1431
0.0089	1433
0.0092	1436
0.0094	1438
0.0097	1441
0.0100	1443
0.0103	1446
0.0106	1448
0.0109	1450
0.0112	1453
0.0114	1455

0.0117	1458
0.0119	1460
0.0122	1463
0.0124	1465
0.0127	1468
0.0129	1470
0.0134	1488
0.0143	1482
0.0168	1505
0.0196	1517
0.0222	1525
0.0248	1529
0.0273	1531
0.0295	1534
0.0311	1531
0.0313	1493
0.0308	1404
0.0302	1297
0.0295	1175
0.0287	1027
0.0221	0
0.0221	0
0.0221	0

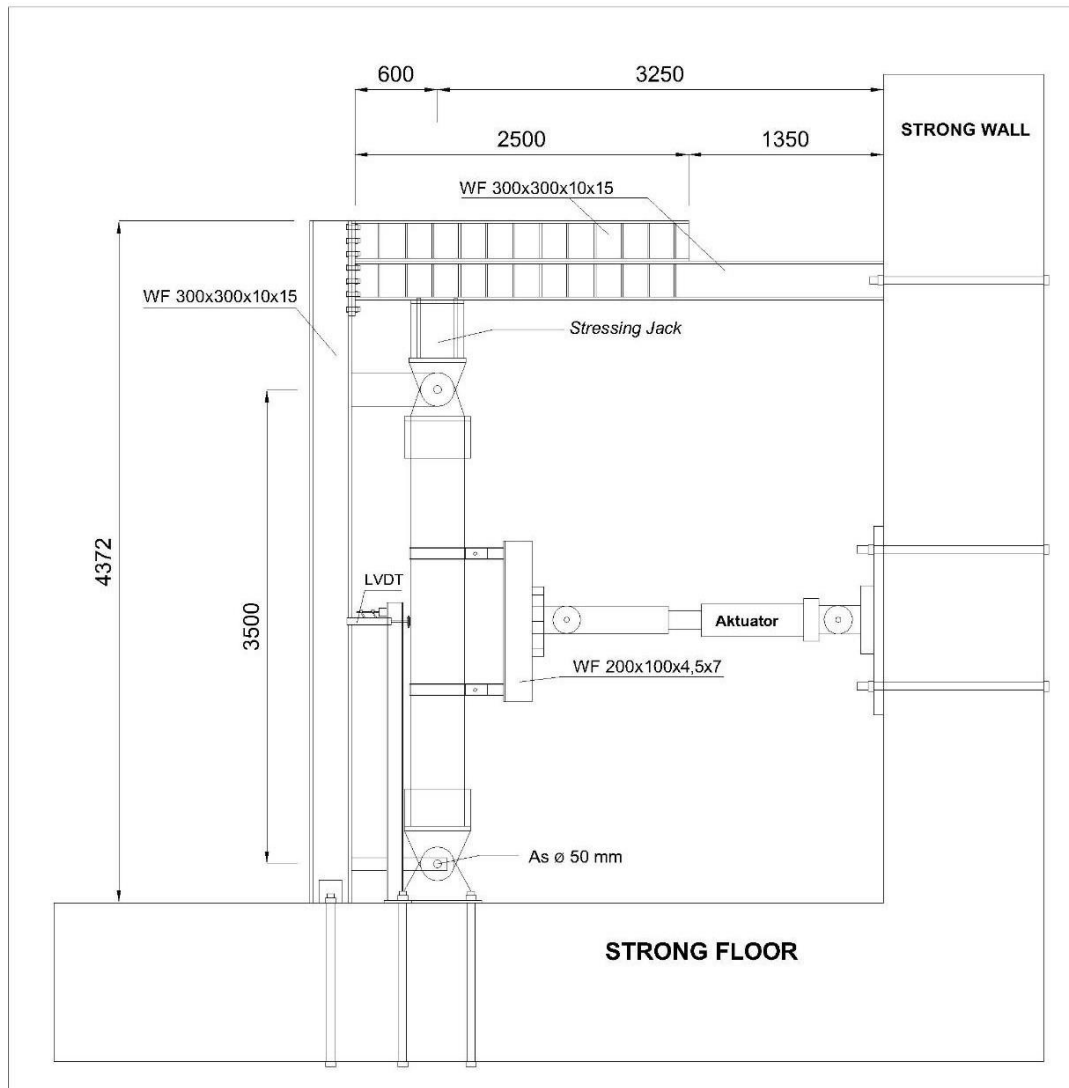
Tabel beban puncak-displacement SP-S8-S50-A10(1)

Beban (kN)	Displacement (mm)
-54.46	-108.825
-48.4	-215.4
-39.28	-228.105
-31.3	-222
-24.44	-215.79
-18.58	-197.04
-13.54	-177.855
-6.68	-146.07
-3.4	-149.46
0	0
3.22	117.405
4.98	159.375

9.46	180
13.5	190
18.32	206.58
25.02	221.58
30.5	205
39.26	209.595
43.34	202.83
49.24	169.86
48.38	132.375
49.72	63.36

Tabel beban puncak-displacement SP-S8-S50-A10(2)

Beban (kN)	Displacement (mm)
-34.42	-124.545
-32.74	-200.25
-31.76	-222.405
-25.06	-238.2
-18.14	-221.655
-14.24	-213.42
-8.8	-186.405
-7.06	-175.83
-3.84	-160.47
-1.92	-139.935
0	0
2.96	179.625
7.02	189.57
8.98	199.14
11.64	215.625
17.26	219.735
19.22	229.72
25.18	239.61
31.3	226.845
33.5	135.42
-34.42	-124.545
-32.74	-200.25



Sketsa setting alat dan benda uji di pengujian lentur siklik dan aksial tekan