



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN MODELISASI GRID
GELAGAR SEDERHANA PELAT BERONGGA TERHADAP
BEBAN STATIK**

SKRIPSI

**IRVAN TIMOTIUS
0806329325**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN MODELISASI GRID
GELAGAR SEDERHANA PELAT BERONGGA TERHADAP
BEBAN STATIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

IRVAN TIMOTIUS

0806329325

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 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 : Irvan Timotius

NPM : 0806329325

Tanda Tangan :

Tanggal : 4 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Irvan Timotius
NPM : 0806329325
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Kajian Eksperimental dan Modelisasi Grid
Gelagar Sederhana Pelat Berongga terhadap
Beban Statik

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA

(*Heru Purnomo*)

Pembimbing 2 : Ir. Essy Arijoeni, M.Sc Ph.D

(*Essy Arijoeni*)

Penguji : Dr-Ing Ir. Henki W. Ashadi

(*Henki W. Ashadi*)

Penguji : Ir. Madsuri M.T.

(*Madsuri*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya naikkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkat dan pemeliharaan-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya juga menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA dan Ir. Essy Arijoeni, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Papa, Mama dan kedua adik saya yang terus memberikan dorongan moral dan material;
- (3) Adik-adik siswa-siswi SMP dan SMA Philadelphia, Tikalong, Pontianak, Kalimantan Barat yang menjadi inspirasi dalam penyusunan skripsi ini;
- (4) Pak Agus, Pak Apri, dan seluruh karyawan Laboratorium Struktur dan Material FTUI yang selalu membagikan ilmu praktisnya demi terselesaikannya eksperimen dalam tugas akhir ini;
- (5) Batta, senior dan kakak yang selalu memberikan bimbingannya selama perkuliahan ini;
- (6) Noni, Sabda, Ryan, Merlin, Florentinus, Krisman, Paulus, Evraim, Monica, Ana, dan Meizar yang telah membantu pembuatan skripsi ini dari awal sampai akhir;
- (7) Reza dan Tari, teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (8) Adik kelompok kecil saya: Ferdinand, Lian, dan Jodie yang telah memberi dukungan moral;
- (9) Gilbert, Reynold, Franz, Ricki, Hilda, Deddy, Andrew, Joya, Hade, dan teman-teman sepelayanan di POFT dan POUI yang selalu memberi motivasi dan semangat;

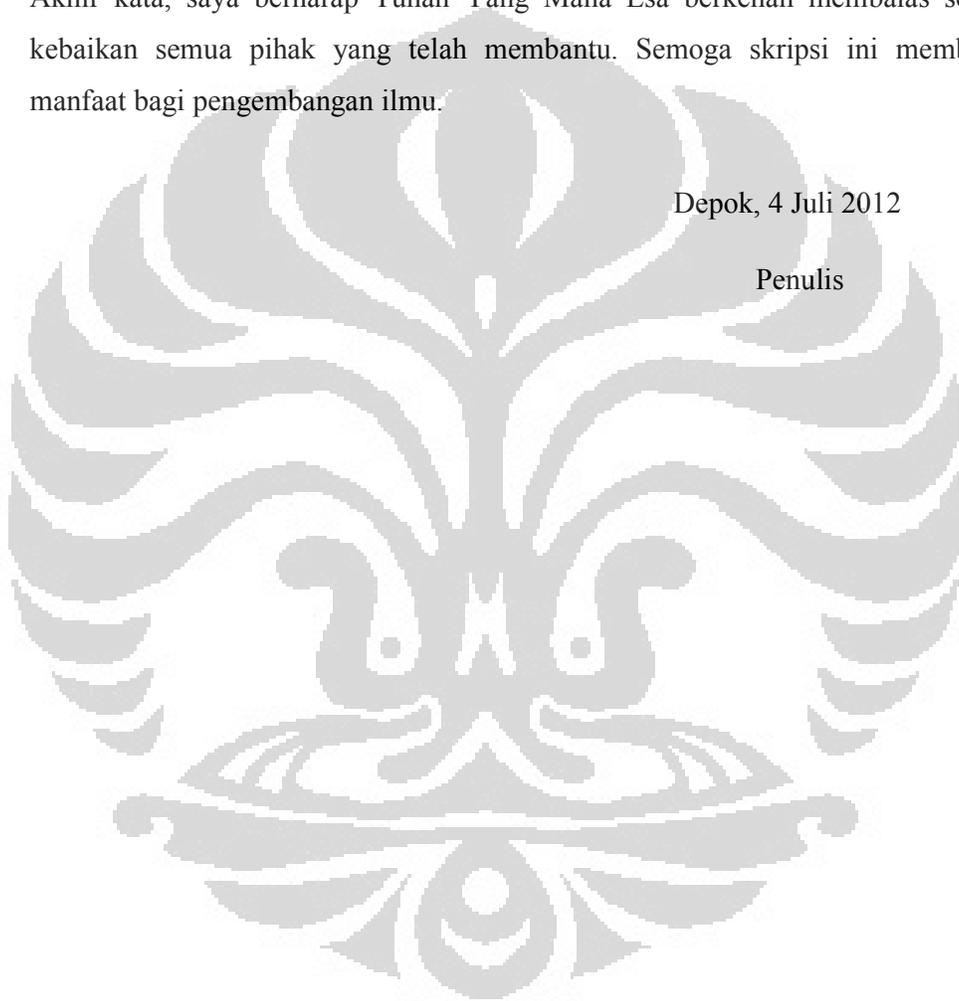
(10) Kak Dion, kak Elia, Franklin, kak Yohana, kak Monang, dan segenap jemaat serta pekerja Gereja Yesus Kristus Tuhan Depok untuk setiap dukungan moral serta doa; dan

(11) Martina, Fadhilah, Eva, Asrovi, Nico, Aini, Maidina, Maisarah, Riki Do, Edu, Yusak, Herlambang, Akbar, Dimas, Crystin, dan teman-teman dari angkatan 2008 yang selalu mendukung sepanjang perkuliahan ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 4 Juli 2012

Penulis



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

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

Nama : Irvan Timotius
NPM : 0806329325
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Kajian Eksperimental dan Modelisasi Grid Gelagar Sederhana Pelat
Berongga terhadap Beban Statik**

berserta 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 : 4 Juli 2012

Yang menyatakan



(Irvan Timotius)

ABSTRAK

Nama : Irvan Timotius
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Kajian Eksperimental dan Modelisasi Grid Gelagar Sederhana Pelat Berongga terhadap Beban Statik

Pelat berongga adalah pelat yang memiliki rongga didalamnya untuk mengurangi berat sendirinya. Saat ini belum ada pemodelan sederhana pelat berongga yang benar-benar dapat mewakili perilaku pelat berongga. Penelitian dilakukan melalui dua pendekatan yaitu simulasi numerik dan eksperimen di laboratorium. Eksperimen di laboratorium dilakukan terlebih dahulu dan datanya dibandingkan dengan simulasi numerik. Simulasi numerik dilakukan dengan melakukan beberapa jenis pemodelan yaitu balok grid, balok sederhana dan pelat. Melalui simulasi numerik didapatkan bahwa pemodelan yang paling mendekati menggunakan pemodelan sebagai pelat dengan menggunakan pendekatan *equivalent area*.

Kata Kunci:

Pelat berongga, *equivalent area*, grid, *pretension*, *posttension*, *partial fixity*

ABSTRACT

Name : Irvan Timotius
Study Program : Civil Engineering
Title : Study on Grid Experimentation and Numerical Modeling of Voided Slab Simple Girder to Static Load

Voided slab is a slab that has a hollow cavity therein to reduce the weight of its own. Currently there is no simple modeling of the hollow slab that can truly represents the behavior of hollow plate. The study was conducted through two approaches which are numerical simulation and laboratory experiment. Experiments in the laboratory was conducted first and the result experimental data was compared with numerical simulations. Numerical simulations were carried out by doing several modeling which are simple girder structure, grid structure, and slab structure. Through numerical simulations it was found that modeling using the slab with equivalent area give the closest displacements comparing with those of the experiment.

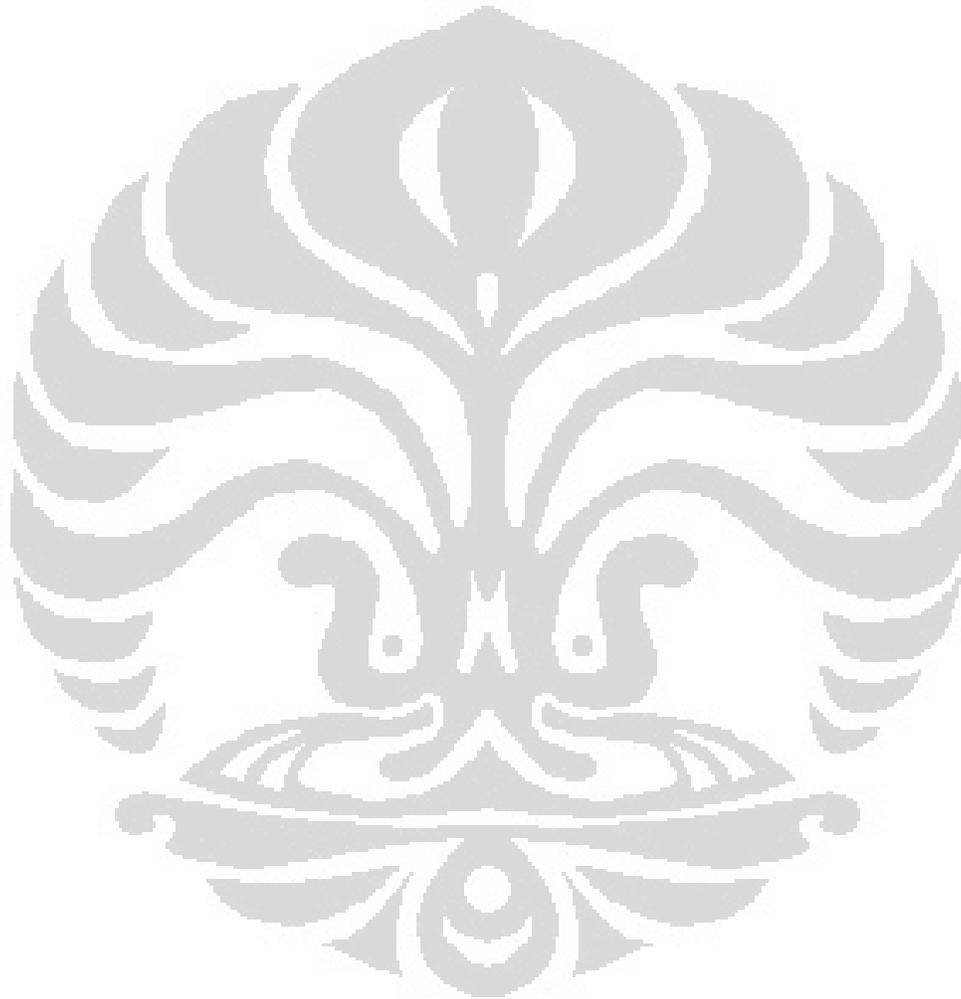
Key words:

Voided slab, equivalent area, grid, pretension, posttension, partial fixity

DAFTAR ISI

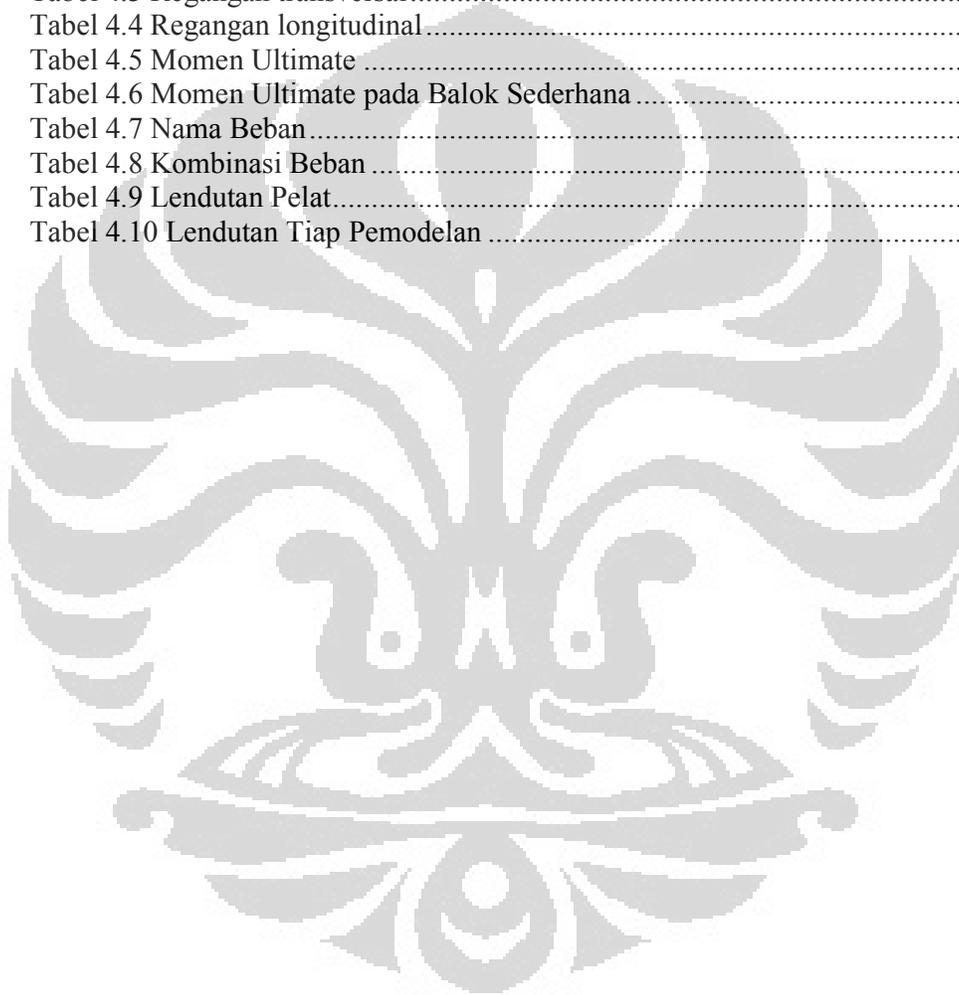
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
2. TINJAUAN PUSTAKAN.....	5
2.1 Perkembangan Jembatan.....	5
2.2 Material Jembatan.....	5
2.3 Girder Beton Prategang.....	7
2.4 Beton.....	8
2.5 Prategang.....	10
2.6 Kehilangan pada Prategang.....	12
2.7 Transfer Prategang pada Batang Tarik	17
2.8 Program SAP 2000	18
2.9 Konstruksi Jalan Rel	19
2.10 Konstruksi Jalan Rel	20
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Alur Penelitian.....	21
3.2 Pemodelan Struktur	22
3.3 Percobaan pada Laboratorium.....	22
3.4 Pemodelan dengan SAP2000	42
3.5 Variasi Parameter	46
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Analisis Lendutan di Tengah Bentang.....	47
4.2 Analisis Regangan Transversal	55
4.3 Analisis Regangan Longitudinal	56
4.4 Analisis Pemodelan sebagai Balok Grid.....	58
4.5 Analisis Pemodelan sebagai Balok Sederhana.....	68
4.6 Analisis Pemodelan sebagai Pelat	69

5. KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR REFERENSI	73



DAFTAR TABEL

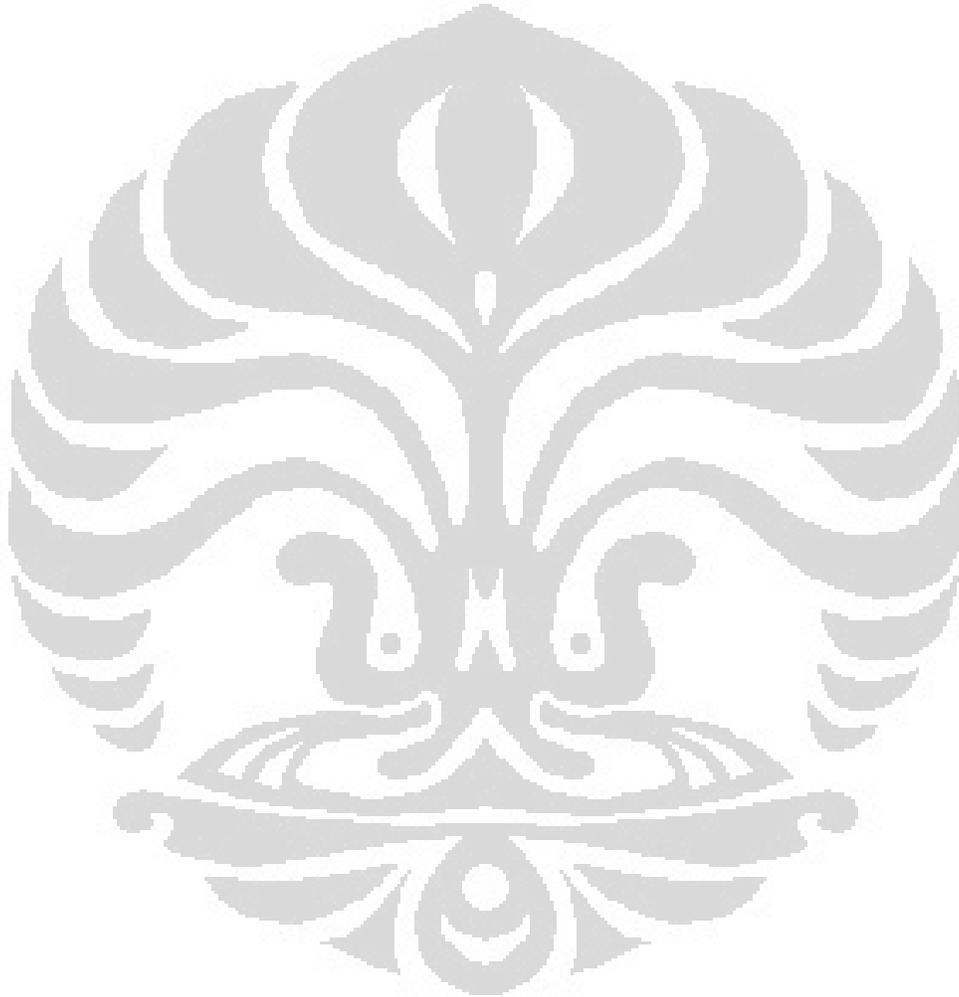
Tabel 2.1 Kehilangan pada Prategang.....	13
Tabel 2.2 Nilai-nilai untuk Koefisien Gesekan μ	14
Tabel 2.3 Klasifikasi Jalan Rel di Indonesia	20
Tabel 3.1 Variasi Pembebanan	46
Tabel 4.1 Lendutan hasil pembebanan.....	47
Tabel 4.2 Lendutan hasil pembebanan kedua.....	49
Tabel 4.3 Regangan transversal.....	55
Tabel 4.4 Regangan longitudinal.....	57
Tabel 4.5 Momen Ultimate	57
Tabel 4.6 Momen Ultimate pada Balok Sederhana.....	58
Tabel 4.7 Nama Beban.....	59
Tabel 4.8 Kombinasi Beban	59
Tabel 4.9 Lendutan Pelat.....	69
Tabel 4.10 Lendutan Tiap Pemodelan	70



DAFTAR GAMBAR

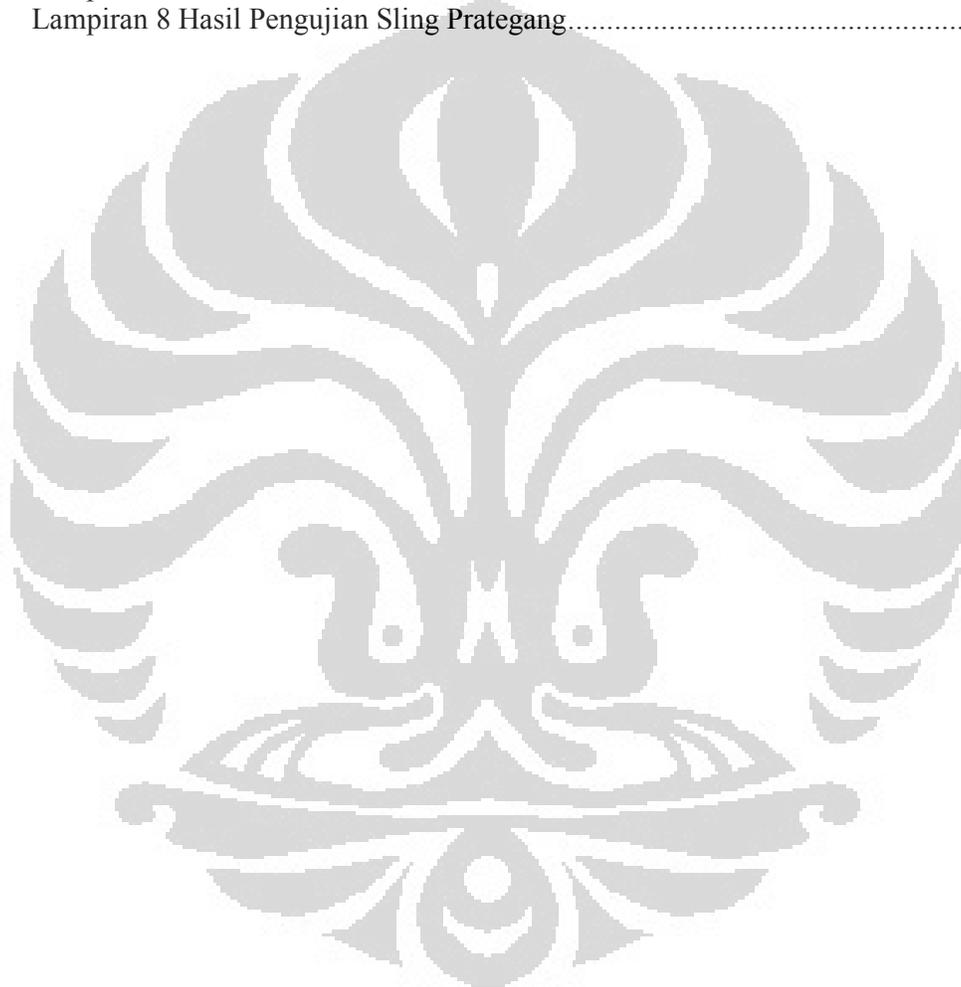
Gambar 2.1. External Post-tensioning	12
Gambar 3.1. Alur Penelitian	21
Gambar 3.2. Mortar Instan	23
Gambar 3.3. Kubus 5x5 cm.....	23
Gambar 3.4. Mesin Tekan	24
Gambar 3.5 Kubus Setelah Diuji	25
Gambar 3.6 Sling Prategang.....	26
Gambar 3.7 Pembebanan Pelat Berongga Dua.....	27
Gambar 3.8 Gaya Prategang Konsentris	28
Gambar 3.9 Posisi Kabel Prategang.....	29
Gambar 3.10 Selang diameter 2 cm.....	31
Gambar 3.11 Cetakan Sebelum Dicor.....	32
Gambar 3.12 Beban 100 kg.....	32
Gambar 3.13 Benda Uji sesaat setelah dicor.....	33
Gambar 3.14 Proses Curing.....	33
Gambar 3.15 Sling Setelah dipotong	34
Gambar 3.16 Pelat Berongga.....	34
Gambar 3.17 Pemberian Grouting	35
Gambar 3.18 Pemberian Gaya Pascatarik.....	36
Gambar 3.19 Pemberian Lem.....	37
Gambar 3.20 Posisi Pengeleman	37
Gambar 3.21 Strain gage.....	38
Gambar 3.22 Terminal Penghubung Strain Gage.....	38
Gambar 3.23 Ballast.....	39
Gambar 3.24 Proses Pembebanan.....	40
Gambar 3.25 Dial Analog	40
Gambar 3.26 Kabel <i>Strain Gage</i> pada Kyowa DBU-120A	41
Gambar 3.27 Data Properti Material.....	42
Gambar 3.28 Pelat Berongga pada Section Designer	43
Gambar 3.29 Data Properti Pelat Berongga	43
Gambar 3.30 Tendon Section Data.....	44
Gambar 3.31 Pelat Berongga pada SAP2000.....	45
Gambar 3.32 Pembebanan pada SAP2000.....	45
Gambar 3.33 Pemodelan sebagai Pelat Monolit.....	46
Gambar 4.1 Posisi dial analog.....	48
Gambar 4.2 Pembebanan.....	48
Gambar 4.3 Pelat Berongga yang Masih Baik	49
Gambar 4.4 Pelat Berongga yang rusak.....	50
Gambar 4.5 Lendutan pada dial A pada pembebanan pertama	51
Gambar 4.6 Lendutan pada dial B pada pembebanan pertama	52
Gambar 4.7 Lendutan pada dial C pada pembebanan pertama	52
Gambar 4.8 Lendutan pada dial A pada pembebanan kedua	53
Gambar 4.9 Lendutan pada dial B pada pembebanan kedua	54
Gambar 4.10 Lendutan pada dial C pada pembebanan kedua.....	54
Gambar 4.11 Lem yang Terlepas.....	56

Gambar 4.12 Lendutan tanpa partial fixity	60
Gambar 4.13 Lendutan pada Balok Tengah Akibat Beban 80 kg/m	61
Gambar 4.14 Lendutan pada Balok Tepi Akibat Beban 80 kg/m	62
Gambar 4.15 Momen pada Balok Tengah Akibat Beban 80 kg/m	64
Gambar 4.16 Momen pada Balok Tepi Akibat Beban 80 kg/m	65
Gambar 4.17 Geser pada Balok Tengah Akibat Beban 80 kg/m	66
Gambar 4.18 Geser pada Balok Tepi Akibat Beban 80 kg/m	67
Gambar 4.19 Lendutan Akibat Pembebanan pada Balok Sederhana	68



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Pelat Berongga Dua	75
Lampiran 2 Kuat Tekan Mortar	76
Lampiran 3 Kehilangan Prategang	77
Lampiran 4 Perhitungan Panjang Transmisi	80
Lampiran 5 Lendutan Hasil Percobaan	81
Lampiran 6 Lendutan dengan Berbagai Partial Fixity	83
Lampiran 7 Matriks Kekakuan Grid	125
Lampiran 8 Hasil Pengujian Sling Prategang	126



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas yang terjadi pada beberapa kota besar di Indonesia tidak terlepas dari minimnya transportasi umum yang ada. Menurut peneliti transportasi dari Universitas Katolik Soegijopranoto Semarang, Djoko Setijowarno mengatakan persentase jumlah kendaraan umum di kota-kota besar di Tanah Air tidak sampai 1% dari total kendaraan pribadi (Elisabeth, 2011). Hal ini tentu harus diperbaiki dengan meningkatkan transportasi umum yang ada. Salah satu transportasi umum yang perlu ditingkatkan adalah kereta api.

Kondisi perkeretaapian di Indonesia sebenarnya dapat kita golongkan sebagai kondisi yang perlu ditangani secara khusus. Tidak seperti transportasi jalan rel di luar negeri seperti Eropa, kondisi perlintasan kereta api di Indonesia masih menggunakan sistem konvensional dimana terdapat perpotongan antara jalan umum dengan rel kereta. Perpotongan jalan dengan jalan rel ini tentu saja dapat menimbulkan kemacetan di saat ada kereta yang akan melintas. Oleh karena itu, diperlukan suatu konstruksi yang dapat menghilangkan perpotongan tersebut dengan menggunakan jembatan.

Jembatan merupakan struktur teknik sipil yang memiliki perkembangan pesat. Diawali dengan perkembangan jembatan batu, saat ini sebagian besar jembatan sudah menggunakan material beton dengan menggunakan sistem prategang. Pesatnya perkembangan jembatan memiliki dampak banyaknya pilihan model maupun geometri penampang jembatan yang dapat digunakan.

Gelagar jembatan yang sedang berkembang adalah gelagar pelat beton berongga. Pelat berongga memiliki beberapa kelebihan diantaranya ketinggian struktur yang relatif rendah dan mudah dalam pengerjaannya karena biasanya dibuat secara fabrikasi dalam bentuk pracetak. Dibalik kedua kelebihan tersebut, penggunaan pelat berongga yang relatif baru di Indonesia masih memiliki beberapa kendala yang salah satunya adalah belum didapatkannya pemodelan sederhana yang benar-benar dapat mewakili perilaku pelat berongga.

Pemodelan pelat berongga dengan pemrograman numerik dapat dilakukan dengan struktur grid. Pemodelan dalam struktur grid memerlukan penyesuaian tertentu karena kondisi asli dari pelat berongga sebenarnya berhimpitan pada sisi-sisinya. Padahal, pemodelan dengan metode grid seperti penggunaan dalam SAP 2000 menunjukkan ketiadaan hubungan secara langsung antara satu balok dengan balok lainnya yang diletakkan bersebelahan. Hal ini yang menjadi masalah dimana sebenarnya keberadaan pelat berongga yang saling berhimpitan ini memengaruhi perilaku dari struktur secara keseluruhan namun perlu dimodelkan secara tepat menggunakan program yang ada saat ini. Oleh karena itu akan ditinjau parameter apa saja yang perlu dilakukan dalam pemodelan pada program SAP 2000 agar sesuai dengan kondisi lapangan yang akan diwakilkan oleh percobaan pada laboratorium.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Parameter-parameter apa saja yang memengaruhi pemodelan pelat beton berongga?
- b. Bagaimana melakukan pemodelan pelat beton berongga menggunakan program SAP 2000 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan skripsi ini adalah menganalisis parameter apa saja yang berpengaruh terhadap pemodelan berongga dengan struktur grid pada program SAP 2000 v15 dengan membandingkannya terhadap percobaan yang dilakukan pada laboratorium.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

- a. Kepada diri penulis secara pribadi merupakan pemenuhan salah satu syarat untuk kelulusan dan peraih gelar sarjana.
- b. Memberikan gambaran perihal faktor-faktor yang memengaruhi pemodelan pelat beton berongga.
- c. Memberikan gambaran serta mengetahui lebih dalam tentang *software* SAP 2000.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian pada skripsi ini akan meliputi:

- a. Model eksperimen gelagar jembatan merupakan pelat mortar berongga.
- b. Pelat berongga yang akan digunakan adalah pelat mortar berongga dua.
- c. Sistem prategang yang akan digunakan menggunakan sistem pratarik untuk arah memanjang pelat berongga dan pascatarik untuk arah melintang pelat berongga.
- d. Pembebanan yang akan digunakan merupakan pembebanan garis secara statik yang dianggap mewakili pembebanan jalan rel.
- e. Pembebanan akibat pengaruh angin tidak akan diperhitungkan.
- f. Penelitian akan dibagi dua yaitu percobaan pada laboratorium dan simulasi numerik.
- g. Program yang digunakan adalah peranti lunak SAP 2000 v15.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan, metode penulisan, dan ruang lingkup pembahasan dari penelitian pada skripsi ini.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai uraian singkat tentang struktur atas jembatan terutama pelat berongga sebagai inti dari penelitian ini. Selain itu dijelaskan juga mengenai material yang digunakan dan sistem prategang yang umum digunakan.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

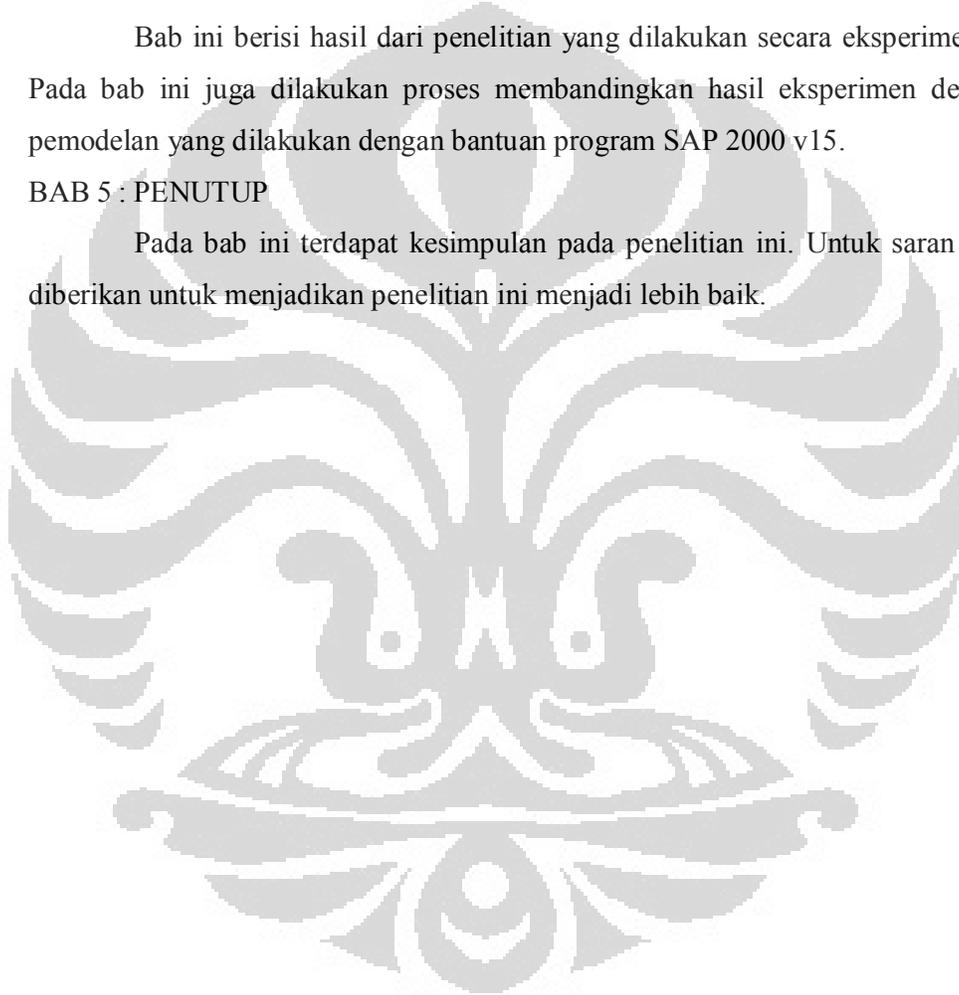
Pada bab ini dijelaskan mengenai alur berpikir dalam penelitian ini, kemudian penjelasan parameter yang dimasukkan, serta penjabaran hasil yang diinginkan untuk diteliti. Di sini juga dijabarkan mengenai data pelat berongga yang dimasukkan, desain yang digunakan dalam percobaan dan proses analisis dengan menggunakan program SAP 2000 v15.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dari penelitian yang dilakukan secara eksperimental. Pada bab ini juga dilakukan proses membandingkan hasil eksperimen dengan pemodelan yang dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 v15.

BAB 5 : PENUTUP

Pada bab ini terdapat kesimpulan pada penelitian ini. Untuk saran juga diberikan untuk menjadikan penelitian ini menjadi lebih baik.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkembangan Jembatan

Konstruksi jembatan merupakan suatu contoh bagaimana ilmu sipil memiliki keterkaitan dengan masyarakat banyak. Keberadaan jembatan sangat memengaruhi pilihan sistem transportasi di suatu daerah. Keberadaan jembatan dapat mengatasi rintangan baik itu secara alamiah seperti keberadaan sungai maupun perlintasan tidak sebidang.

Dalam perkembangannya, teknik konstruksi jembatan telah menjadi bagian penting dari berkembangnya ilmu teknik sipil. Meskipun ada sorotan publik terhadap kegagalan dari jembatan-jembatan yang ada, masalah itu sepertinya tidak membatasi keingintahuan para ahli dalam merencanakan desain-desain terbaru dalam konstruksi jembatan.

Sepanjang rentang waktu kurang lebih 30 tahun, dimulai dari tahun 1950 sampai 1980, ilmu mengenai analisis jembatan telah mengalami perubahan yang besar. Hal ini didukung oleh berkembangnya teknologi komputer yang semakin mempermudah para desainer jembatan untuk menemukan suatu cara yang canggih dan tepat dalam menganalisis jembatan. Beberapa metode yang berkembang adalah:

- a. *The grillage analogy method*
- b. *The orthotropic plate method*
- c. *The articulated plate method*
- d. *The finite element method*

Metode yang ada ini telah dikembangkan untuk berbagai jenis pembebanan jembatan yang ada dari berbagai tipe jembatan (Bakht & Jaeger, 1987).

2.2 Material Jembatan

Pada awalnya, pembangunan jembatan sering menghadapi kendala dalam keterbatasan pilihan material yang ada. Material yang sering digunakan pada masa lalu hanyalah kayu dan batu (Cusens & Pama, 1979). Sampai awal abad ke-19,

desainer jembatan masih berusaha terus menerus mengembangkan kedua material alami tersebut.

Secara garis besar, perkembangan bahan struktural yang ada dapat diuraikan menjadi tiga lajur yang berbeda. Lajur pertama menunjukkan bahan-bahan yang tahan terhadap tekanan seperti batu dan batu bata, kemudian berkembang menjadi beton dan beton berkekuatan tinggi. Sedangkan untuk bahan yang tahan tarikan, orang pada awalnya menggunakan tali dan bambu, kemudian besi dan baja, hingga saat ini memakai baja mutu tinggi. Lajur ketiga adalah gabungan kedua sifat dari kedua lajur sebelumnya, tahan tekanan dan tahan tarikan, dimana pada lajur ini diawali oleh penggunaan kayu, lalu baja struktural, beton bertulang, dan akhirnya berkembang menjadi beton prategang (Lin & Burns, 1991).

2.2.1 Baja

Konstruksi baja memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan beton diantaranya memiliki berat yang lebih ringan dan relatif lebih cepat dalam proses konstruksi. Selain itu, material baja juga lebih mudah digunakan karena bersifat fabrikasi yang berdampak pada berkurangnya pekerja yang berada pada lapangan.

Komponen primer dalam struktur jembatan baja antara lain (Tonias dan Zhao,1995):

- a. *Rolled beam*
- b. *Rolled beam with cover plate*
- c. *Plate girder*
- d. *Box girder*
- e. *Steel rigid strut frame*

2.2.2 Beton

Pada awalnya, material beton digunakan hanya untuk struktur yang tidak panjang dan memiliki satu bentang. Material beton yang digunakan adalah material beton non prategang. Sampai pertengahan abad, beton prategang baru dapat diterima dan semakin hari semakin banyak jembatan yang menggunakan

material beton prategang. Pada tahun 2003, 47% jembatan di Amerika telah menggunakan beton prategang (Tonias & Zhao, 1995).

Komponen-komponen yang ada dalam jembatan dengan struktur beton:

- a. *Prestressed girder*
- b. *Concrete slab*
- c. *Adjacent prestressed slab*
- d. *Concrete rigid frame*
- e. *Concrete strut frame*

2.3 Girder Beton Prategang

Perkembangan jembatan yang begitu cepat telah menghasilkan banyak alternatif dalam penggunaan metode dan pilihan struktur yang dapat dipakai. Salah satu bagian struktur yang begitu cepat berkembang adalah *girder* (gelagar). Beberapa jenis gelagar yang banyak digunakan antara lain:

- a. *Void slab bridge*
- b. *Deck girder bridge*
- c. *Box girder bridge*
- d. *U-shape bridge*

2.3.1 Void Slab Bridge

Sebuah jembatan dengan pelat berongga terdiri dari sebuah pelat yang memiliki beberapa lubang longitudinal. Rongga longitudinal biasanya dimanfaatkan untuk mengurangi berat sendiri dengan tetap menjaga besarnya momen inersia. Hal inilah yang dimanfaatkan oleh pelat berongga dengan membuat lubang longitudinal yang sudah dipersiapkan sebelum pengecoran. Pelat berongga biasanya dibuat secara fabrikasi dan akan lebih ekonomis untuk jembatan dengan banyak bentang dan harus dikerjakan dalam waktu yang singkat. Jika diameter rongga yang digunakan kurang dari 60% tinggi pelat, maka perlakuan yang digunakan sama dengan pelat utuh (solid). Bila lebih dari 60%, maka pelat tersebut memiliki karakteristik seperti *cellular deck* (O'Brien & Keogh, 1999).

2.3.2 *Deck Girder Bridge*

Sistem *deck girder* terdiri dari sebuah pelat dan didukung oleh beberapa girder dalam arah longitudinal. *Deck girder* bisa dibuat secara pracetak maupun tidak. Akan tetapi, penggunaannya akan jauh lebih ekonomis bila dibangun secara pracetak dengan tingkat kesalahan yang rendah. Beberapa kelebihan penggunaannya antara simplisitas dalam desain, serta penggunaan pracetak sehingga membuat pekerjaan lebih cepat dan ekonomis untuk bentang panjang.

2.3.3 *Box Girder Bridge*

Sebuah jembatan dengan gelagar kotak terdiri dari sebuah pelat pada bagian atas dan dibawahnya menyatu dengan girder berbentuk kotak. Secara umum, *box girder* memiliki dua *web* dan dua *flange*. *Box girder* sangatlah berguna bila digunakan untuk bentang panjang. *Box girder* memungkinkan daya tahan terhadap torsi yang lebih besar dengan berat struktur yang ringan.

2.4 Beton

Beton merupakan salah satu material yang paling sering digunakan dalam konstruksi. Hal ini terkait dengan kelebihanannya yaitu mudah dibentuk sehingga penggunaannya lebih praktis dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Komposisi beton secara umum terdiri dari agregat halus, agregat kasar, air dan semen. Material-material yang digunakan untuk membuat beton relatif mudah untuk dijumpai di berbagai belahan dunia. Tak heran, kemudahan ini turut mendukung banyaknya pemakaian beton di seluruh dunia.

Sifat beton sangat dipengaruhi oleh komposisi didalamnya. Secara umum, beton harus mempunyai pengerjaan yang mudah dan memiliki sifat kohesi yang tinggi saat dalam kondisi plastis sehingga beton yang dihasilkan cukup kuat dan tahan lama.

Kekuatan beton dipengaruhi oleh waktu. Saat ini, standar yang umum digunakan adalah standar kuat tekan pada hari ke-28. Kuat tekan dari beton ditentukan dari pengetesan yang dilakukan terhadap beton berbentuk kubus dan silinder.

2.4.1 Mortar

Mortar merupakan campuran dari semen, pasir dan air yang merupakan perekat utama dalam campuran beton. Pada umumnya mortar digunakan sebagai plesteran dalam pasangan batu bata yang berfungsi melekatkan batu bata menjadi satu kesatuan yang kuat dan kaku.

Kuat tekan pada mortar merupakan kriteria utama dalam pemilihan tipe mortar. Secara mendasar, kuat tekan mortar sangat dipengaruhi oleh berat semen dan *water/cement ratio*. Kuat tekan mortar akan bertambah bila semen bertambah dan berbanding terbalik bila *water/cement ratio* dikurangi.

Sama halnya dengan beton, kuat tarik mortar cenderung rendah sehingga mortar cenderung mudah mengalami retak. Karakter lain yang memiliki kesamaan dengan beton adalah adanya susut yang terjadi akibat mortar memiliki proses hidrasi yang cepat.

Lemahnya kuat tarik dan penyusutan yang terlalu besar merupakan kendala dalam penggunaan mortar. Beberapa faktor yang memengaruhi hal tersebut adalah faktor bahan penyusun, faktor kesalahan dalam proses pencampuran, maupun faktor eksternal lainnya.

Faktor bahan penyusun material dapat menjadi kendala apabila digunakan pasir dengan butiran yang terlalu besar, keberadaan semen yang tidak sesuai, serta air yang mengandung kotoran hadir di dalam campuran. Komposisi bahan penyusun yang kurang tepat juga memengaruhi kekuatan mortar. Terlalu banyaknya air di dalam mortar akan memengaruhi kuat tekan mortar itu sendiri.

Komposisi mortar antara lain semen, air, dan pasir. Agregat yang dimaksud meliputi pasir, batu pecah, slag maupun mineral lain. Air untuk campuran mortar adalah air yang jernih dan belum tercampur dengan material lain seperti kotoran organik. Pasir yang biasanya digunakan untuk mortar merupakan pasir *white pure silica* (Hornbostel, 1978). Pasir *white pure silica* biasanya digunakan karena memiliki gradasi yang seragam. Hal ini tentu mempermudah didapatkannya kondisi yang ideal karena persebarannya seragam.

Menurut SNI 15-3758-2004 tentang semen masonry, mortar dibuat dengan komposisi semen dan 1620 g pasir dengan perbandingan volume 1 : 3. Pasir standar harus terdiri dari 810 g pasir standar Ottawa dan 810 g pasir standar

Ottawa gradasi 20 –30. Jumlah air dalam mL, diukur sehingga menghasilkan penyebaran laju alir sebesar $(110 \pm 5) \%$ diukur dengan meja alir (SNI 15-3758-2004, 2004).

2.5 Prategang

Beton prategang pada dasarnya adalah beton di mana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan (Raju,1993).

Beton prategang memberikan keuntungan-keuntungan teknis besar dibandingkan dengan konstruksi lainnya. Dalam hal batang prategang penuh, penampang melintangnya dimanfaatkan secara efisien apabila dibandingkan dengan penampang beton bertulang yang retak pada beban kerja.

Beton berkekuatan tinggi diperlukan dalam beton prategang karena material tersebut memberikan ketahanan yang tinggi terhadap tarikan, geser, perekatan, dan dukungan. Beton berkekuatan tinggi lebih sulit mengalami retak akibat susut, dan mempunyai modulus elastisitas yang lebih tinggi serta regangan rangkak yang ultimit yang lebih kecil, yang menghasilkan kehilangan prategang yang lebih kecil terhadap baja.

Dengan pemakaian beton dan baja berkekuatan tinggi, akan terjadi batang-batang yang lebih ringan dan lebih langsing daripada yang dimungkinkan dengan beton bertulang. Kedua ciri-ciri struktural beton prategang yaitu berkekuatan tinggi dan bebas retak memberikan sumbangan terhadap peningkatan daya tahan struktur. Prategang pada beton akan meningkatkan kemampuan material untuk menyerap energi pada saat menerima tumbukan.

2.5.1 Pratarik

Di dalam sistem pratarik, tendon terlebih dahulu ditarik antara blok-blok anchor yang dicetak di atas perangkat cetakan. Kemudian beton dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan.

Transfer prategang ke beton biasanya dilaksanakan dengan dongkrak hidrolik dengan mana semua kawat dilepaskan secara bersamaan ketika beton

telah mencapai kekuatan yang disyaratkan. Pada umumnya *strand* dengan diameter 28 mm dan kawat bermutu tinggi dengan diameter sampai 7 mm mengikatkan diri secara memuaskan dengan daya rekat permukaan serta daya pengikatan di dalam bahan-bahan kawat itu sendiri. Daya rekat kawat prategang dapat lebih ditingkatkan dengan membentuk ciri-ciri khusus pada permukaan dan kerutan spiral pada kawat. *Strand* mempunyai daya rekat yang jauh lebih baik daripada kawat tunggal dengan luas penampang yang sama.

2.5.2 Pascatarik

Dalam sistem pascatarik, unit beton lebih dahulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh ankur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran.

Secara ideal, pascatarik cocok untuk pekerjaan yang dilaksanakan di tempat dengan bentangan medium dan panjang di mana biaya penarikan hanya merupakan sebagian kecil dari seluruh pekerjaan. Manfaat utama dari pascatarik adalah bahwa sistem ini memungkinkan penggunaan kabel melengkung atau yang berubah-ubah arahnya sehingga dapat membantu perancang untuk mengubah distribusi prategang potongan demi potongan sehingga bisa mengimbangi beban-beban luar secara lebih efisien.

Sistem pascatarik merupakan suatu sistem yang unik karena dalam sistem ini perancang jembatan dapat memilih untuk menggunakan tendon yang terekat (*bonded post-tensioning*), tidak terekat (*unbonded post-tensioning*), bahkan dapat juga menggunakan *external tendon*. Untuk *bonded post-tensioning*, pemodelan numerik dapat dilakukan seperti memodelkan sistem pratarik dimana tendon memiliki suatu rekatan yang dihadirkan oleh keberadaan *grouting*. *Grouting* biasanya merupakan suatu mortar cair dengan kuat tekan tinggi dan diinjeksikan ke dalam saluran prategang.

Berbeda dengan *bonded post-tensioning*, *unbonded post-tensioning* tidak memiliki rekatan terhadap beton. Sistem ini menyalurkan gaya yang ada melalui

angkur pada bagian ujung tendon. Angkur pada sistem *unbonded post-tensioning* merupakan salah satu komponen terpenting dikarenakan seluruh gaya yang ada disalurkan di daerah angkur (Walsh & Kurama, 2010).



Gambar 2.1 External Post-tensioning
(sumber : www.concretenetwork.com)

External post-tensioning adalah suatu proses pemberian gaya prategang yang cepat dan ekonomis. Pada *external post-tensioning*, tendon diletakkan diluar dari material. Prategang seperti ini tidak hanya dapat digunakan pada jembatan tapi juga di gedung. Selain itu, *external post-tensioning* juga dapat digunakan pada balok dengan material selain beton seperti pada baja dan kayu (Aeberhard, Buergi, Ganz, Marti, Matt, & Sieber, 1992).

2.6 Kehilangan pada Prategang

Gaya prategang pada beton akan mengalami pengurangan secara bertahap sejak gaya prategang awal diberikan. Pengurangan ini biasanya disebut dengan kehilangan prategang. Dalam desain, kehilangan prategang ini harus dipertimbangkan walaupun gaya prategang yang hilang biasanya relatif kecil. Estimasi kehilangan gaya prategang harus dilakukan dengan seksama dikarenakan *overestimation* dan *underestimation* memiliki dampak yang sama-sama buruk. *Overestimation* dapat mengakibatkan pemberian gaya prategang yang berlebihan sedangkan *underestimation* dapat mengakibatkan retakan di saat dibebani beban layan (Al-Omaishi, Tadros, & Seguirant, 2009).

Analisis keseluruhan dari komponen struktur beton prategang akan menyertakan pertimbangan gaya-gaya efektif dari tendon prategang pada setiap

tahap pembebanan yang berarti, bersama-sama dengan sifat bahan yang berlaku pada saat berfungsinya struktur itu. Tahapan yang biasa diperiksa untuk mengetahui tegangan dan perilaku adalah sebagai berikut:

- a. Segera setelah peralihan, gaya prategang ke penampang beton, tegangan-tegangan di evaluasi sebagai tolok ukur perilaku.
- b. Pada beban kerja setelah semua kehilangan gaya prategang terjadi dan tingkatan yang tegang efektif jangka panjang telah tercapai, tegangan-tegangan dicek lagi sebagai tolok ukur perilaku dan terkadang juga sebagai tolok ukur kekuatan (Lin & Burns, 1991).

Pada dasarnya nilai masing-masing kehilangan gaya prategang adalah kecil, tetapi apabila dijumlahkan dapat menyebabkan penurunan gaya jacking yang signifikan yaitu di antara 15%-25% sehingga kehilangan gaya prategang perlu dipertimbangkan.

Tabel 2.1 Kehilangan pada Prategang

Pratarik	Pascatarik
Deformasi elastis beton	Deformasi elastis beton
Relaksasi tegangan pada baja	Relaksasi tegangan pada baja
Penyusutan beton	Penyusutan beton
Rangkak beton	Rangkak beton
	Gesekan
	Tergelincirnya angkur

Sumber : Raju, 1993

2.6.1 Kehilangan Akibat Deformasi Elastis Beton

Rasio modulus serta tegangan rata-rata pada beton merupakan aspek penting yang memengaruhi kehilangan prategang akibat deformasi elastis beton. Persentase kehilangan tegangan pada baja akibat deformasi elastis beton dapat dihitung dengan:

f_c = prategang pada beton pada ketinggian baja

E_s = modulus elastisitas baja

E_c = modulus elastisitas beton

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c} = \text{rasio modulus}$$

Regangan pada beton pada ketinggian baja = (f_c/E_c)

Tegangan pada baja yang bersesuaian dengan regangan ini = $(f_c/E_c)/E_s$

$$\text{Jadi kehilangan tegangan pada baja} = \alpha_e f_c \quad (2.1)$$

2.6.2 Kehilangan Akibat Relaksasi Tegangan pada Baja

Kehilangan akibat relaksasi tegangan pada baja biasanya ditetapkan berdasarkan persentase dari tegangan awal pada baja. Kehilangan prategang biasanya terjadi sebesar 2% sampai 9% dari tegangan awal pada baja.

2.6.3 Kehilangan Akibat Penyusutan Beton

Susut beton pada batang prategang menyebabkan perpendekan kawat-kawat yang ditarik dengan akibat hilangnya tegangan. Susut beton dipengaruhi oleh pilihan material yang dipakai dan perawatan terhadap beton itu sendiri. Penyebab utama dari susut beton adalah hilangnya air dari dalam beton.

Dalam hal batang pratarik, perawatan dengan membasahi beton dilakukan agar susut yang ada dapat dibatasi hingga proses transfer dilakukan. Akibatnya, jumlah regangan susut sisa setelah transfer prategang pada batang pratarik akan lebih besar dibandingkan dengan pada batang pascatarik, di mana suatu bagian susut akan telah terjadi pada waktu transfer tegangan.

Regangan susut sisa yang disarankan adalah 300×10^{-6} untuk peraturan Inggris dalam kondisi normal. Untuk kondisi lembab dalam jenis pratarik, regangan susut sisa yang disarankan adalah 100×10^{-6} .

ϵ_{cs} = jumlah regangan susut sisa yang mempunyai nilai sebesar 300×10^{-6} untuk pratarik dan $\left[\frac{200 \times 10^{-6}}{\log_{10}(t+2)} \right]$ untuk pascatarik.

t = umur beton pada saat transfer dalam hari

2.6.4 Kehilangan Akibat Rangkak Beton

Rangkak pada beton dapat terjadi karena kondisi prategang yang berkelanjutan sehingga tegangan pada baja bermutu tinggi pun dapat menurun.

Kehilangan akibat rangkai beton dapat kita perhitungkan bila besarnya regangan rangkai ultimit maupun koefisien rangkai diketahui.

Perhitungan dengan metode rangkai ultimit memerlukan data-data sebagai berikut:

ϵ_{cc} = regangan rangkai ultimit untuk suatu tegangan satuan yang terus menerus

f_c = tegangan tekan pada beton pada ketinggian tulangan

E_s = modulus elastisitas baja

$$\text{Kehilangan tegangan baja akibat rangkai} = \epsilon_{cc} \times f_c \times E_s \quad (2.2)$$

Perhitungan dengan metode koefisien rangkai dapat dilakukan bila ada data sebagai berikut:

ϕ = koefisien rangkai

ϵ_c = regangan rangkai

ϵ_s = regangan elastis

α_e = rasio modulus

E_c = modulus elastisitas beton

E_s = modulus elastisitas baja

$$\text{Kehilangan tegangan pada baja} = \epsilon_c \times E_s = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} \left(\frac{f_c}{E_c} \right) E_s \quad (2.3)$$

Besarnya koefisien rangkai dapat berubah-ubah tergantung pada kelembaban, kualitas beton, lamanya pembebanan, dan umur beton pada saat dibebani (Raju, 1993). Nilai-nilai yang umumnya direkomendasikan untuk koefisien rangkai bervariasi dari 1,5 pada situasi sampai 4 untuk kondisi kering dengan kelembaban relatif 35%.

2.6.5 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan

Pada kasus batang pascatarik, kabel-kabel yang lurus maupun melengkung dapat menimbulkan gesekan akibat gaya tarik yang diberikan. Gesekan ini terjadi terhadap dinding saluran atau kisi-kisi penyekat sehingga dapat menimbulkan kehilangan pategang yang besarnya bertambah sesuai jaraknya dengan dongkrak. Tak hanya itu, kehilangan tegangan juga dapat terjadi akibat gesekan antara kabel dan gerak menggelombang dalam saluran yang sering disebut sebagai “goyangan” atau “gelombang” yang merupakan penyimpangan

kecil saluran dari kedudukan yang ditetapkan (Raju, 1993). Besarnya gaya prategang, P_x , pada suatu jarak x dari ujung penarikan dapat dituliskan sebagai:

$$P_x = P_0 e^{-(\mu\alpha + Kx)} \quad (2.4)$$

Tabel 2.2 Nilai-nilai untuk Koefisien Gesekan μ

Nilai	Kondisi
0,55	Baja yang bergerak pada beton licin
0,35	Baja yang bergerak pada baja yang dijepit pada saluran
0,25	Baja yang bergerak pada baja yang dijepit di beton
0,25	Baja yang bergerak pada kawat timah
0,18-0,30	Kabel tali kawat berlapis banyak di dalam selongsong baja persegi panjang yang tegar
0,15-0,25	Kabel tali kawat berlapis banyak dengan pelat-pelat pengatur jarak ke arah lateral

Sumber : Raju, 1993

Nilai-nilai untuk koefisien gesekan untuk pengaruh gelombang K sebesar 0,15 per seratus meter pada kondisi normal dan sebesar 1,5 per seratus meter pada saluran berdinding tipis dan juga dimana dijumpai getaran-getaran hebat dan dalam kondisi yang dianggap merugikan lainnya.

Ada beberapa cara untuk mengurangi koefisien gesekan diantaranya dengan lemak pelumas, minyak, parafin, serta campuran minyak dan grafit. Sejauh ini, parafin menunjukkan koefisien gesekan terendah khususnya terhadap tekanan kontak yang tinggi.

2.6.6 Kehilangan Akibat Penggelinciran Angkur

Pada suatu sistem pascatarik, apabila kabel ditarik dan dongkrak dilepaskan untuk mentransfer prategang beton, pasak-pasak gesekan yang dipasang untuk memegang kawat-kawat dapat menggelincir pada jarak yang pendek sebelum kawat-kawat tersebut menempatkan diri secara kokoh di antara pasak-pasak tadi. Besarnya penggelinciran ini tergantung pada tipe pasak dan tegangan pada kawat.

Kehilangan selama pengangkuran, yang terjadi pada pegangan tipe pasak biasanya di lapangan diperhitungkan dengan memberikan perpanjangan berlebih pada tendon dalam operasi pemberian prategang sebesar yang tertarik masuk sebelum pengangkuran. Metode ini akan memberi hasil yang memuaskan apabila tegangan berlebih sesaat tidak melebihi batas-batas yang ditetapkan sebesar 80-85 persen dari kekuatan tarik ultimit kawat. Besarnya penggelinciran angkur dapat ditentukan dengan

$$\left(\frac{P}{A}\right) = E_s \Delta / L \quad (2.5)$$

Oleh karena kehilangan tegangan disebabkan oleh suatu jumlah perpendekan total tertentu, maka persentase kehilangannya akan lebih tinggi untuk batang pendek daripada batang yang lebih panjang. Pada pelaksanaan prategang batang pendek, perhatian sepenuhnya harus diberikan untuk memperhitungkan kehilangan tegangan akibat penggelinciran angkur yang merupakan bagian besar dari kehilangan total.

2.7 Transfer Prategang pada Batang Tarik

Pada suatu sistem pratarik, apabila suatu kawat dilepaskan dari angkur sementara pada alas prategangnya, maka ujung kawat akan mengalami pemuaian. Hal ini dapat mengakibatkan kawat kehilangan gaya prategang efektif sampai mendekati nol di ujung kawat tersebut. Kondisi seperti ini umum disebut sebagai efek Hoyer (Raju, 1993).

Pada umumnya, transmisi gaya prategang dari baja ke beton terjadi melalui rekatan yang dapat diurai menjadi adhesi, gesekan, dan dilatasi. Pada beberapa titik suatu panjang dalam balok, adhesi menahan tegangan rekat, sedangkan dalam daerah transfer, tendon masuk ke dalam beton yang berakibat menghancurkan adhesi tersebut. Tegangan rekat maksimum dicapai di dalam daerah tegangan tekan transversal.

Apabila tegangan rekat sama dengan nol, maka tegangan pada baja dan beton mencapai nilai maksimum dan distribusi tegangan yang merata akan berlaku pada penampang ini. Panjang yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi ini disebut panjang transmisi (Raju, 1993). Panjang transmisi memengaruhi perilaku dari bagian ujung dari sistem pratarik (Balazs, 1993). Panjang transmisi

ini dipengaruhi oleh diameter serta karakteristik permukaan kawat, sifat elastis baja dan beton, dan koefisien gesekan antara baja dengan beton. Hoyer telah mengembangkan suatu persamaan untuk menghitung panjang transmisi yang ditentukan dengan:

$$L_t = \frac{\phi}{2\mu} (1 + \nu_c) \left(\frac{a_e}{v_s} - \frac{f_{pi}}{E_c} \right) \left(\frac{f_{pe}}{2f_{pi} - f_{pe}} \right) \quad (2.6)$$

Penelitian mengenai panjang transmisi tidak hanya dilakukan oleh Hoyer. Ada beberapa peneliti lainnya yang juga melakukan penelitian diantaranya:

- a. Evans dan Robinson, Guyon, Marshall dan Khrisna Murti yang hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tertarik atau tergelincirnya tendon masuk ke dalam beton pada waktu transfer merupakan sesuatu yang berpengaruh.
- b. Rusch dan Herm yang melakukan pengujian berdasarkan hukum rekatan, serta
- c. Marshall yang melakukan pengujian kembali dari penelitian Janney dan Guyon secara teoritis.

2.8 Program SAP 2000

Program SAP 2000 merupakan salah satu program teknik sipil yang banyak dipakai dan memiliki cakupan pemrograman yang luas. Program SAP 2000 dikembangkan oleh Prof. Edward L. Wilson dari University of California at Berkeley, Amerika Serikat pada sekitar tahun 1970. Program komputer untuk analisa struktur ini memiliki *source code* yang pada awal mulanya dapat dengan mudah dipelajari sehingga SAP menjadi cikal bakal program analisa struktur lain di dunia (Dewobroto, 2007).

Analisis struktur yang dimaksud adalah mencari respons struktur terhadap pembebanan yang diberikan, yaitu berupa gaya-gaya internal elemen struktur atau gaya-gaya reaksi perletakan, maupun deformasi dan lendutan struktur itu sendiri. Sedangkan desain struktur adalah suatu pilihan tambahan yang dikembangkan untuk mengevaluasi penampang struktur apakah telah memenuhi syarat-syarat perencanaan terhadap respons struktur tersebut.

Program SAP 2000 menggunakan Metode element hingga atau *finite element method* atau *finite element analysis*. Metode ini adalah metode penyelesaian numerik yang paling banyak dipakai untuk pembuatan program

aplikasi rekayasa. Hal tersebut diakibatkan karena metode ini mempunyai keunggulan dibandingkan metode yang lain, yaitu :

- a. Dapat digunakan untuk penyelesaian banyak kasus-kasus rekayasa, seperti pada permasalahan perpindahan kalor (*heat transfer*), analisa tegangan (*stress analysis*), dan sebagainya.
- b. Tidak ada pembatasan geometri sehingga sangat cocok untuk penyelesaian masalah dengan bentuk geometri yang kompleks (rumit).
- c. Meskipun dasarnya adalah metode pendekatan (*approximation*), tetapi dapat dengan mudah ditingkatkan ketelitiannya yaitu dengan membagi problem menjadi pias-pias (diskritisasi) yang lebih halus.

2.9 Konstruksi Jalan Rel

Lintas kereta api direncanakan agar dapat dilintasi oleh berbagai jumlah angkutan barang dan penumpang dalam waktu rencananya. Perencanaan ini tentu harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis berarti jalan rel tersebut harus dapat dilalui secara aman dan nyaman, sedangkan secara ekonomis diharapkan agar pembangunan tersebut dapat dilakukan dengan biaya sekecil mungkin.

Di Indonesia, perencanaan jalan rel dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan maksimum, beban gandar dan pola operasi. Klasifikasi tersebut terlihat pada tabel 2.3. Pada penelitian ini, peninjauan perencanaan jalan rel yang digunakan hanya berupa beban gandar saja. Beban gandar menurut peraturan konstruksi jalan rel (peraturan dinas no. 10) adalah suatu beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Untuk semua kelas, beban gandar maksimum adalah 18 ton. Penggunaan satu beban gandar ini bertujuan sebagai berikut (Utomo, 2009):

- Perpindahan kereta api dapat dilakukan tanpa harus mengurangi muatan terlebih dahulu
- Setiap lokomotif dapat digunakan pada semua sepur walaupun kelasnya berbeda.

Tabel 2.3 Klasifikasi Jalan Rel di Indonesia

Kelas Jalan Rel	Kapasitas Angkut ($\times 10^6$ ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Tipe Rel	Beban Gandar Maksimum (Ton)
I	>20	120	R.60/R.54	18
II	10-20	110	R.54/R.50	18
III	5-10	100	R.54/R.50/R.42	18
IV	2,5-5	90	R.54/R.50/R.42	18
V	<2,5	80	R.42	18

(sumber : Utomo, 2009)

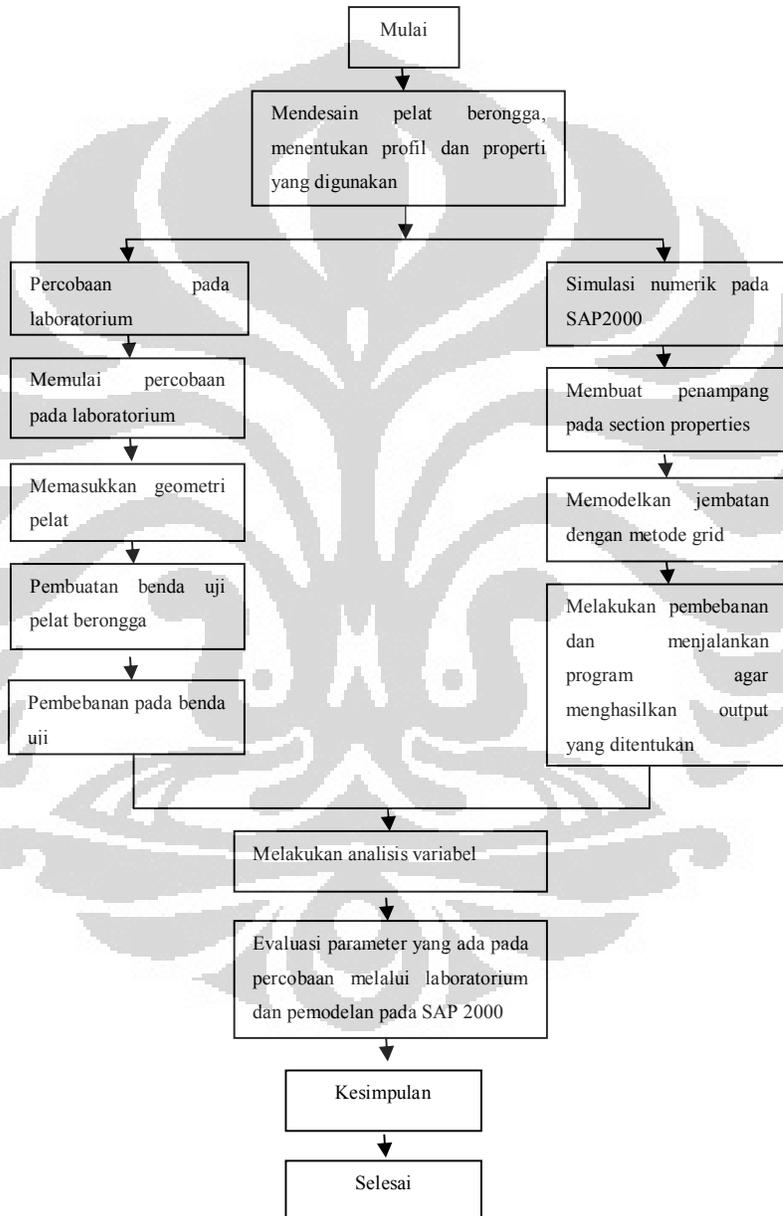
2.10 Matriks Kekakuan Grid

Grid merupakan suatu struktur satu dimensi yang terbentuk dari rangkaian balok-balok yang terhubung secara kaku pada nodal dimana seluruh balok dan nodal tersebut berada pada pihak yang sama (Katili, 2008). Pada struktur grid, seluruh beban bekerja pada arah tegak lurus bidang demikian juga dengan peralihan yang terjadi. Matriks kekakuan grid dilampirkan pada lampiran 7.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Berpikir

Secara singkat, metode penelitian pada skripsi ini dinyatakan dalam diagram berikut:



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.2 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini hendak ditinjau parameter-parameter apa saja yang memengaruhi pemodelan suatu struktur pelat berongga pada program SAP 2000 dengan membandingkan hasil percobaan pada laboratorium terhadap pemodelan menggunakan SAP 2000. Oleh karena itu harus diperhatikan parameter apa saja yang dapat memengaruhi pemodelan numerik.

3.3 Percobaan pada Laboratorium

Percobaan pada laboratorium terlebih dahulu dilakukan untuk mendapatkan reaksi-reaksi dan kemudian dibandingkan dengan simulasi numerik. Percobaan ini dilakukan dengan skala 1:10. Hal ini menyebabkan ada beberapa penyesuaian baik itu pembebanan maupun penyesuaian lainnya. Langkah percobaan yang dilakukan meliputi penentuan kuat tekan mortar, pemilihan material baja prategang dan langkah lainnya yang dijelaskan lebih lanjut pada sub bab 3.3.1 sampai 3.3.

3.3.1 Penentuan Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar yang digunakan memiliki target mutu 40 MPa. Hal ini didasarkan pada RSNI T-12-2004 mengenai Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan yang menyatakan bahwa kuat tekan beton untuk penggunaan beton prategang tidak boleh kurang dari 30 MPa (RSNI T-12-2004, 2004).

Mortar digunakan sebagai pengganti beton dikarenakan ukuran benda uji yang terlalu kecil. Oleh karena itu, pemilihan mortar dilakukan agar dapat mengisi celah yang ada.

Mortar yang digunakan menggunakan mortar instan. Mortar instan merupakan produk fabrikasi sehingga tidak perlu dilakukan proses *mix design*. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan dengan menggunakan tiga buah kubus. Setelah kuat tekan mortar tersebut didapatkan maka kuat tekan mortar yang digunakan kedepannya dalam simulasi numerik adalah kuat tekan mortar rata-rata dari ketiga buah sampel kubus. Mortar instan yang digunakan terdapat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mortar instan

Kubus yang digunakan untuk pengujian memiliki ukuran 5x5 cm. Ketiga buah kubus dibuat ketika pengecoran benda uji dilakukan. Kubus yang telah mengeras kemudian dikeluarkan dari cetaknya dan dimasukkan ke dalam air.



Gambar 3.3 Kubus 5x5 cm

Pengujian kubus dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan yang terdapat pada Laboratorium Struktur dan Material seperti yang terlihat pada gambar 3.4. Kuat tekan mortar yang didapatkan yaitu sebesar 42,89 MPa , 45,62 MPa, dan 47,87 MPa .



Gambar 3.4 Mesin tekan

Kuat tekan dari ketiga kubus ini sudah dikoreksi terlebih dahulu dengan ketentuan kuat tekan kubus sama dengan 0,83 kali dari kuat tekan silinder 15 x 30 cm. Dari ketiga kubus didapatkan rata-rata kuat tekan yaitu sebesar 45,46 MPa. Kuat tekan sebesar 45,46 MPa inilah yang kemudian digunakan di dalam pengolahan data. Kubus hasil pengujian terlihat pada gambar 3.5. Dari ketiga sampel kubus ini juga didapatkan massa jenis mortar yang digunakan sebesar 2181.333 kg/m^3 .

Nilai E ditentukan dengan didapatkan melalui percobaan ASTM C580-02. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan balok mortar berukuran panjang 305 mm, lebar 25 mm dan tinggi 25 mm. dari percobaan ini didapatkan modulus elastisitas mortar sebesar 29051.67 N/mm².



Gambar 3.5 Kubus setelah diuji

3.3.2 Penentuan Material Baja Prategang

Material baja prategang yang digunakan dalam penelitian di laborarotium harus memiliki kuat tarik yang tinggi. Kabel prategang yang dipakai menggunakan sling rem sepeda.



Gambar 3.6 Sling prategang

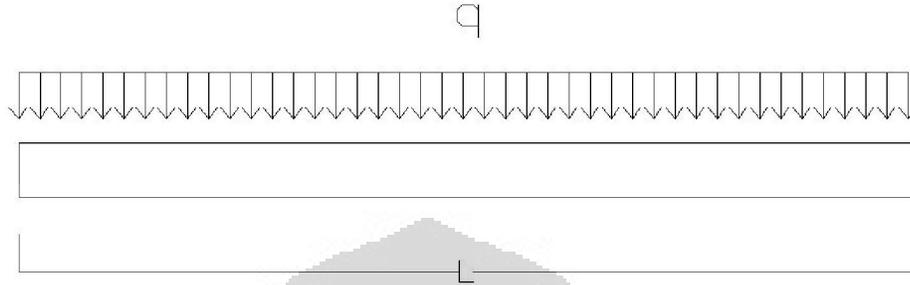
Sling ini memiliki diameter sebesar 1,5 mm dengan luas area 1,767 mm². Kuat tarik dari sling ini diuji pada laboratorium uji Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik didapatkan data kuat tarik *ultimate* dari sling rem sepeda. Kuat tarik *ultimate* dari tiga sling yang diuji berturut-turut 1010 MPa, 1020 MPa, dan 874 MPa. Hasil pengujian selengkapnya dilampirkan pada bagian lampiran dari laporan ini.

3.3.3 Pembebanan

Pembebanan pada pelat berongga ini menggunakan peraturan pembebanan yang ada untuk pembebanan jalur kereta api. Pembebanan pada laboratorium dilakukan dengan meletakkan beban garis yang timbul akibat beban dari kereta api.

Percobaan pada laboratorium akan dilakukan dengan menggunakan skala 1:10. Penggunaan skala ini tidak hanya berdampak pada geometri penampang namun juga berdampak pada skala beban yang digunakan.

Berikut ini adalah perhitungan skala beban untuk pelat berongga yang digunakan:



Gambar 3.7 Pembebanan pelat berongga dua

$$\begin{aligned}
 f_c &= 40 \text{ MPa} \\
 E &= 31689 \text{ MPa} \\
 \delta &= 5/384 (qL^4/EI) \tag{3.1}
 \end{aligned}$$

$$\delta/10 = \delta'$$

$$5/3840 (qL^4/EI) = 5/384 (q'L^4/EI') \quad , \text{ nilai E dihilangkan}$$

$$qL^4/10.I = q'L^4/I'$$

$$q(10600)^4/10.5791970367 = q'(1060)^4/579197.0367$$

$$172652.817 q = 1726528.17 q'$$

$$q = 10 q' \tag{3.2}$$

Beban yang digunakan menggunakan beban garis dan besarnya beban didasarkan pada lendutan maksimum yang diijinkan pada jembatan dengan struktur beton. Menurut RSNI-T-12-2004, bagian 9.2.1 poin d tentang pembatasan dari lendutan balok dan pelat berbunyi “lendutan akibat beban hidup layan termasuk kejut harus dalam batas yang sesuai dengan struktur dan kegunaannya. Kecuali dilakukan penyelidikan lebih lanjut, dan tidak melampaui $L/800$ untuk bentang dan $L/400$ untuk kantilever” (RSNI T-12-2004, 2004).

Sesuai perhitungan dari penskalaan yang telah dilakukan, lendutan dari balok sesungguhnya sama dengan sepuluh kali dari balok model. Dengan begitu, lendutan maksimum dari balok model sama dengan $1/800$ dari bentangnya yaitu sebesar 1,325 mm.

Dengan didapatkannya lendutan maksimum yang masih diijinkan bekerja pada struktur, maka besar beban garis merata maksimum dapat ditentukan dengan:

$$\begin{aligned}\delta &= 5/384 (qL^4/EI) \\ q &= (\delta \cdot EI \cdot 384)/(5 \cdot L^4)\end{aligned}\quad (3.3)$$

3.3.4 Penentuan Kuat Tegang Kabel Pratarik dan Pascatarik

Kabel prategang merupakan bagian penting dari penelitian ini karena kabel prategang akan memberi gaya perlawanan terhadap momen lentur yang ada. Desain kabel prategang akan terbagi dua yaitu kabel *Pretension* yang pada pembahasan selanjutnya disebut dengan pratarik dan kabel *Post-tension* yang seterusnya disebut pascatarik.

Kabel pratarik digunakan pada bagian memanjang dari pelat berongga. Kabel ini berfungsi menahan gaya dalam lentur yang terjadi.

Kabel pascatarik digunakan pada bagian melintang dari pelat berongga. Kabel ini terpasang pada tiga titik dan berfungsi sebagai balok semu yang mengikat pelat berongga satu dengan pelat berongga di sebelahnya.

Berikut ini adalah perhitungan kuat tegang kabel pratarik berongga dua yang digunakan:



Gambar 3.8 Gaya prategang konsentris

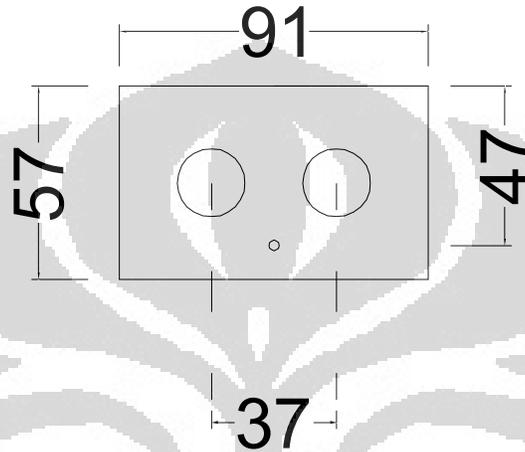
$$\begin{aligned}A &= 430028 \text{ mm}^2 \\ Z_b &= I_x / y = 5791970367 / 305.823528 = 18938929 \text{ mm}^3 \\ q &= 1.112 \text{ ton/m} = 10.909 \text{ N/mm} \\ M_q &= 0.125 \cdot 10.909 \cdot 10600^2 = 153216905 \text{ Nmm} \\ \sigma &= M_q / Z_b = 153216905 / 18938929 = 8.09 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Kalau P = gaya prategang konsentris, maka untuk mencapai tegangan nol pada serat terbawah balok di bawah pembebanan

$$P / A = 8.09 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P &= 8.09 \cdot 430028 \\
 &= 3478926 \text{ N} \\
 &= 3478 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Setelah kuat tegang didapatkan, maka dilakukan proses penskalaan kuat tegang dari benda uji:



Gambar 3.9 Posisi kabel prategang

$$\begin{aligned}
 P &= 3478 \text{ kN} \\
 \sigma &= P/A \\
 \sigma &= E \cdot \varepsilon \\
 \text{Substitusi, maka:} \\
 P/A &= E \cdot \varepsilon, \quad \text{dimana } \varepsilon = (\Delta l / l) \\
 P/A &= E \cdot (\Delta l / l) \\
 \Delta l &= P \cdot l / E \cdot A \quad (3.5) \\
 \Delta l / 10 &= \Delta l' \\
 P \cdot l / 10 \cdot E \cdot A &= P' \cdot l' / E \cdot A', \text{ nilai E antara kedua ruas dapat dihilangkan} \\
 P \cdot l / 10 \cdot A &= P' \cdot l' / A' \\
 P \cdot 10600 / 10 \cdot 571400 &= P' \cdot 1060 / 5714 \\
 (1/100) P &= P' \\
 0.01 P &= P' \quad (3.6) \\
 P' &= 34.78 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3.3.5 Penentuan Material Tulangan

Tulangan pada gelagar merupakan komponen penting untuk menahan gaya geser yang terjadi baik itu karena berat sendiri maupun akibat beban lainnya. Pada percobaan ini, tulangan tidak digunakan karena benda uji yang dibuat berukuran kecil sehingga keberadaan tulangan geser tidak memengaruhi kekuatan.

3.3.6 Perletakan Pelat Berongga

Pelat berongga yang diuji diletakkan pada perletakan yang terbuat dari besi siku. Perletakan ini berfungsi sebagai sendi dan rol. Ketiadaan gaya horizontal memungkinkan perletakan dari besi siku ini dapat dimodelkan sebagai rol di kedua sisinya maupun sendi di kedua sisinya.

3.3.7 Desain Pelat Berongga

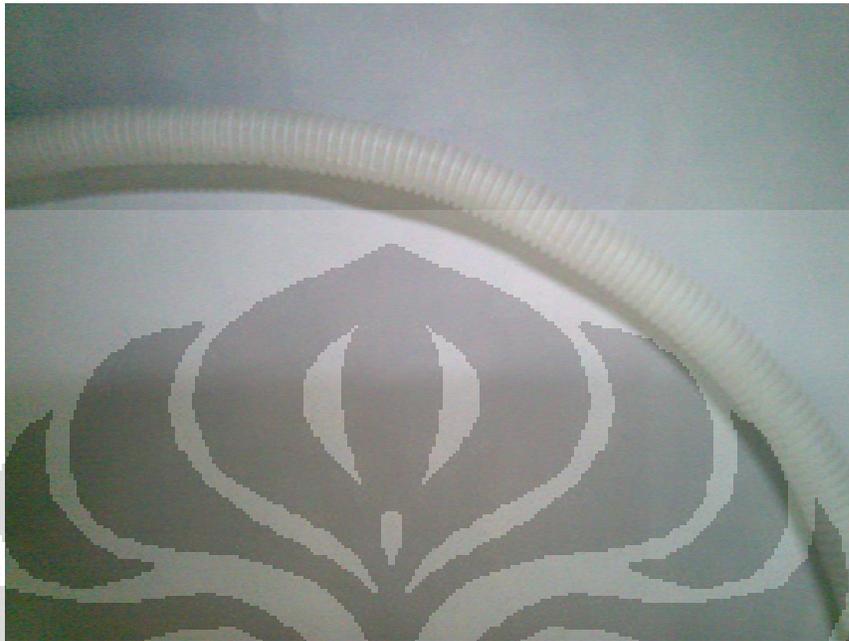
Desain dan gambar pelat berongga dilampirkan pada bagian lampiran dari laporan ini.

3.3.8 Proses Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat sebanyak empat buah dengan material dan ukuran yang sama untuk setiap benda ujinya. Langkah pertama yang dilakukan adalah pembuatan beton *decking*. Beton *decking* berfungsi menahan rongga agar posisinya tidak berubah di saat dilakukan pengecoran. Selain itu, beton *decking* juga mengatur ketinggian rongga agar sesuai dengan desain yang direncanakan. Material beton *decking* menggunakan mortar instan yang sama dengan mortar yang digunakan sebagai material pelat berongga. Beton *decking* yang digunakan diikat pada bagian bawah dari cetakan kayu agar tidak berubah posisi di saat dilakukan pengecoran. Untuk setiap pelat berongga, digunakan delapan buah beton decking yang posisinya terlihat seperti gambar berikut.

Setelah beton decking terpasang, langkah selanjutnya adalah memasang selang yang elastis. Selang ini harus bersifat elastis agar kekakuan dari benda uji tidak berubah. Selang yang digunakan berdiameter 2 cm dan memiliki panjang masing-masingnya 48,5 cm. Selang ini tidak dicabut saat benda uji sudah selesai dan berfungsi sebagai rongga untuk mengurangi beban. Untuk setiap pelat

berongga, rongga ini mengurangi beban sampai 1,34 kg (sekitar 10% dari pelat solid dengan dimensi yang sama).



Gambar 3.10 Selang diameter 2 cm

Langkah berikutnya adalah memasang cetakan kayu ke dalam cetakan baja yang digunakan sebagai cetakan dalam pemberian gaya pratarik. Sling berdiameter 1,5 mm dipasang setelah cetakan kayu terpasang. Setelah itu, clamp dipasang pada ujung sling yang bebas. Langkah selanjutnya adalah memasang beban sebesar 100 kg yang dijadikan gaya tarik dalam kabel prategang seperti yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.11 Cetakan sebelum dicor



Gambar 3.12 Beban 100 kg

Pengecoran dengan menggunakan mortar instan dilakukan setelah cetakan dan seluruh material disiapkan. Setelah benda uji mengeras, proses *curing* dilakukan dengan membasahi benda uji menggunakan karung goni yang dibasahi

setiap hari. Proses *curing* adalah proses mengatur laju dan tingkat kehilangan kelembaban dari beton selama hidrasi semen. Selain itu *curing* juga dapat membantu tercapainya kekuatan struktur yang diinginkan dan tingkat kedekatan yang disyaratkan untuk ketahanannya.



Gambar 3.13 Benda uji sesaat setelah dicor



Gambar 3.14 Proses curing

Setelah 28 hari, kabel pratarik yang ada kemudian diputuskan seperti terlihat pada gambar 3.15 dan kemudian benda uji dikeluarkan dari cetakan. Proses ini harus dilakukan secara hati-hati agar tidak merusak benda uji. Setelah benda uji dikeluarkan kemudian disusun untuk dilakukan pemasangan pascatarik.



Gambar 3.15 Sling setelah dipotong



Gambar 3.16 Pelat berongga

3.3.9 Pemasangan Sambungan Beton

Sambungan beton menggunakan mortar yang sama dengan material benda uji. Celah yang digunakan sebesar 6 mm untuk keempat benda uji dan kemudian mortar *grouting* dimasukkan ke dalam celah tersebut. Setelah mortar mengeras, proses *curing* dilakukan selama tujuh hari. Di saat pemberian sambungan ini, sling untuk pemberian gaya pascatarik sudah terpasang.



Gambar 3.17 Pemberian *grouting*

Kendala yang ada terjadi di sambungan mortar pada bagian bawah yang tidak rata diakibatkan permukaan benda uji yang tidak rata. Oleh karena itu, benda uji diratakan dengan menggunakan pahat. Penggunaan pahat dipilih agar tidak merusak benda uji.

3.3.10 Pemberian Gaya Pascatarik

Pada pelat berongga, gaya pascatarik digunakan untuk menyatukan setiap pelat berongga yang ada. Gaya pascatarik diberikan pada tiga bagian di pelat berongga, dua di bagian sisi dan satu bagian di tengah bentang. Gaya pascatarik diberikan pada ketinggian 28,5 mm dari bagian bawah benda uji.



Gambar 3.18 Pemberian gaya pascatarik

Gaya pascatarik diberikan sebesar 100 kg untuk setiap sling. Gaya pascatarik diberikan dengan menggantung beban 100 kg seperti yang terlihat pada gambar. Setelah beban 100 kg terpasang, *clamp* dipasang agar sling yang dipasang pada benda uji tidak bergerak lagi. Langkah terakhir yang dilakukan adalah memotong sling dengan menggunakan tang pemotong.

3.3.11 Pemasangan *Strain Gage*

Strain gage adalah suatu alat untuk membaca regangan pada benda uji. *Strain gage* yang digunakan memiliki hambatan 120 ohm. Alat pembaca regangan yang digunakan adalah Kyowa DBU-120A. *Strain gage* yang ada dipasang pada arah memanjang dan melintang dari benda uji.

Sebelum *strain gage* dipasang, permukaan benda uji di area yang akan dipasang *strain gage* harus dilicinkan dengan menggunakan amplas. Setelah itu permukaan yang telah dilicinkan diberikan lem khusus dengan daya rekat yang tinggi. Lem ini merupakan bagian dasar tempat *strain gage* dilekatkan. Lem ini harus dikeringkan selama 24 jam sebelum digunakan.



Gambar 3.19 Pemberian lem



Gambar 3.20 Posisi pengeleman

Pemasangan *strain gage* harus dilakukan secara hati-hati agar tidak merusak komponen elektrik di dalam *strain gage*. *Strain gage* direkatkan ke permukaan benda uji yang sudah diberikan lem dengan lem khusus. Setelah *strain gage* terpasang dilakukan pemasangan terminal sebagai penghubung antara *strain*

gage dengan kabel pembaca. Kabel ini memiliki tiga bagian kabel yang berfungsi sebagai positif, netral dan negatif.



Gambar 3.21 *Strain Gage*



Gambar 3.22 Terminal penghubung *Strain Gage*

3.3.12 Pembebanan

Pembebanan pada laboratorium dilakukan dengan meletakkan beban garis yang timbul akibat beban dari kereta api. Beban garis dapat diberikan dengan meletakkan beban di atas dua buah kayu seperti yang terlihat pada gambar. Beban yang diletakkan di atas kayu dimodelkan sebagai beban hidup (*live load*). Selain beban hidup, di atas seluruh permukaan benda uji juga diberikan pasir kuarsa dengan ketebalan 25 mm. Pasir kuarsa yang digunakan memiliki massa jenis 1374 kg/m³. Pasir kuarsa digunakan untuk mewakili beban *ballast* pada lintasan kereta sesungguhnya. Pasir kuarsa ini dimodelkan sebagai beban tambahan (*super imposed dead load*).



Gambar 3.23 *Ballast*

Pembebanan dilakukan dengan metode semi siklik. Terdapat delapan variasi pembebanan yang ada mulai dari 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg, 60 kg, 70 kg, dan 80 kg. Sebagai contoh, pembebanan 30 kg dilakukan dengan menaikkan beban secara bertahap mulai dari 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Ketika dilakukan pembebanan 40 kg, beban 30 kg yang sudah ada tidak langsung diberikan tambahan 10 kg, namun beban yang sudah ada harus diturunkan secara bertahap per 10 kg dan kemudian dinaikkan kembali secara bertahap per 10 kg.



Gambar 3.24 Proses pembebanan

3.3.13 Pembacaan Lendutan

Lendutan pada percobaan pelat berongga ini diukur pada tengah bentang dari masing-masing pelat berongga. Pembacaan lendutan dilakukan dengan alat pembacaan yang memiliki skala ketelitian 0,001 mm. Terdapat tiga buah dial yang digunakan dan diletakkan di tengah bentang tanpa diubah meskipun ada berbagai macam variasi beban yang digunakan. Dial analog ini dibaca setiap ada penambahan dan pengurangan beban.



Gambar 3.25 Dial Analog

3.3.14 Pembacaan *Strain Gage*

Strain gage dibaca dengan menggunakan Kyowa DBU-120A. Tiga kabel yang ada dipasang seperti terlihat pada gambar. Alat pembaca tersebut kemudian dihubungkan dengan menghubungkan ke komputer. Di komputer, piranti lunak untuk pembacaan sudah tersedia untuk melakukan proses perekaman agar data pada benda uji bisa terbaca.



Gambar 3.26 Kabel *Strain Gage* pada Kyowa DBU-120A

3.4 Pemodelan pada SAP2000 v15

Pemodelan pada SAP2000 v15 dilakukan dengan menggunakan metode grid. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan properti material dari benda yang dimodelkan. Data properti material didapatkan dari pembuatan sampel pada saat pembuatan benda uji.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: 4000Psi

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.139E-05

Mass per Unit Volume: 2.181E-09

Units: N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 31689

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 13203.75

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 40

Lightweight Concrete

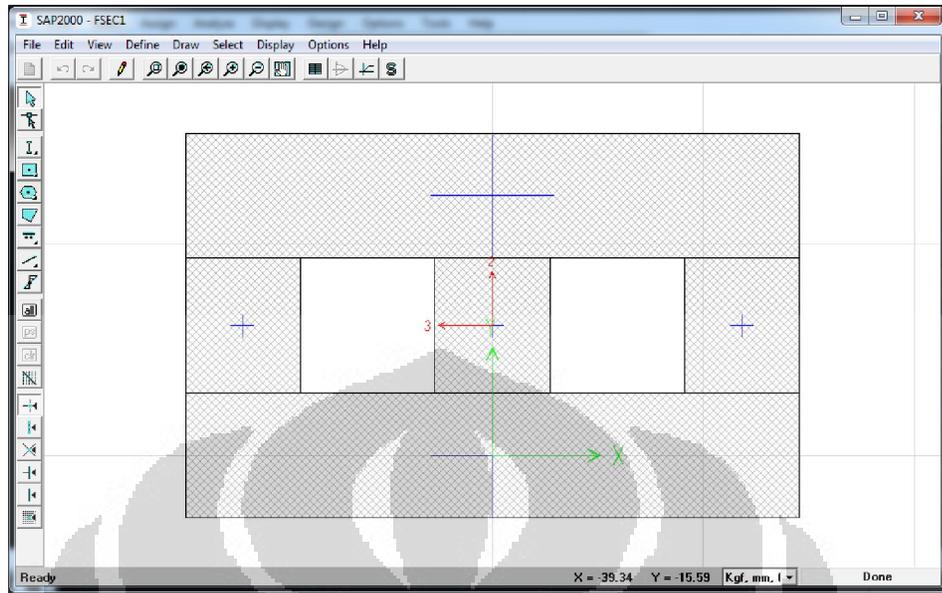
Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

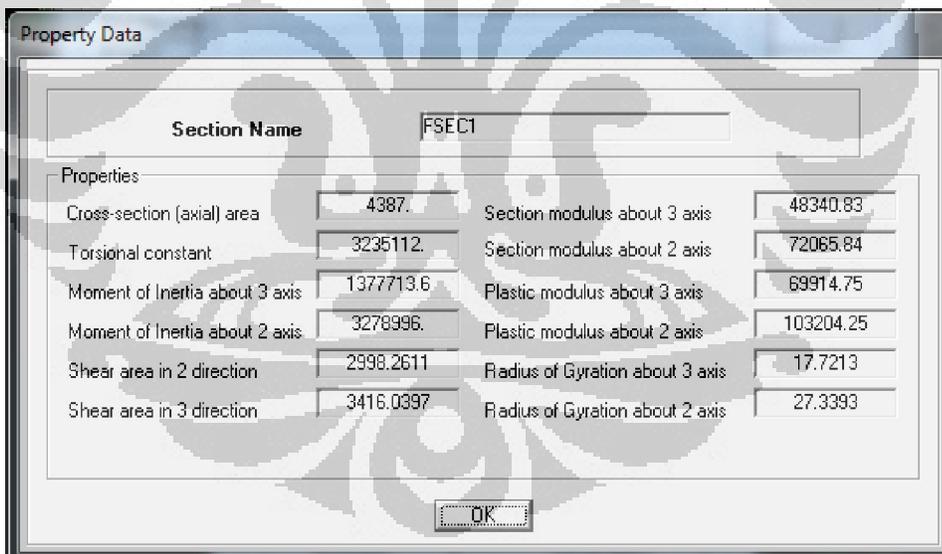
OK Cancel

Gambar 3.27 Data Properti Material

Setelah properti material ditentukan dilakukan penentuan *frame sections* (properti penampang). Properti penampang dari pelat berongga tidak *template* asli dari SAP2000 v15. Oleh karena itu penampang didesain dengan menggunakan *section designers*. Dengan menggunakan *section designers*, penampang pelat mortar berongga dua dimodelkan semirip mungkin dengan yang diujikan pada laboratorium. Setelah dimodelkan, I_x penampang didapatkan sebesar 1377000 mm⁴, sedangkan menurut perhitungan manual sebesar 1388000 mm⁴ sehingga terdapat perbedaan sekitar 1% dari perhitungan manual.



Gambar 3.28 Pelat berongga pada *Section Designer*



Gambar 3.29 Data properti pelat berongga

Langkah berikut yang dilakukan adalah memodelkan tendon sebagai bagian dari prategang. Tendon dimodelkan sebagai *load* dan bukan element seperti pada gambar 3.30. Diameter yang dimasukkan sebesar 1,5 mm. Setelah data-data diinput, pemodelan dilakukan dengan struktur grid.

Tendon Section Data

Tendon Section Name

Section Notes

Tendon Modeling Options For Analysis Model

Model Tendon as Loads

Model Tendon as Elements

Tendon Parameters

Prestress Type

Material Property

Tendon Properties

Specify Tendon Diameter

Specify Tendon Area

Torsional Constant

Moment of Inertia

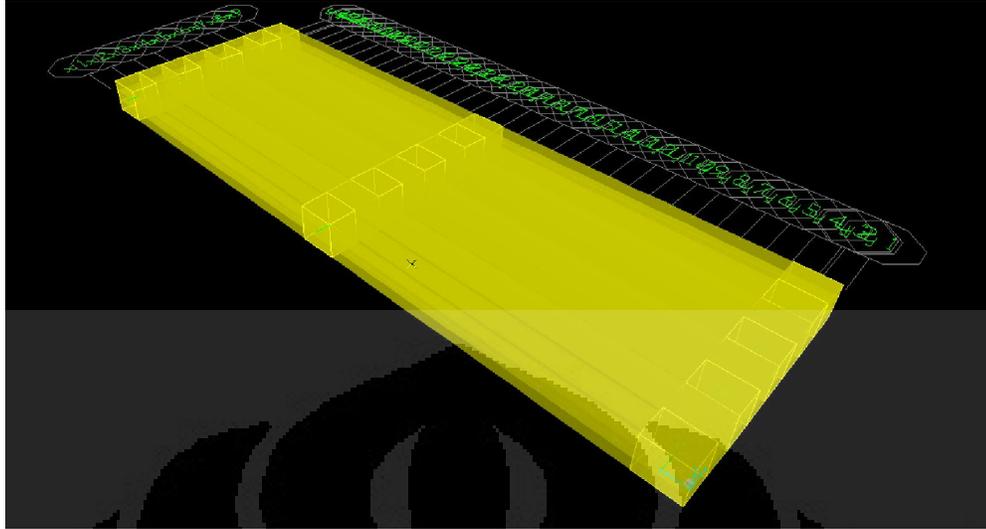
Shear Area

Units

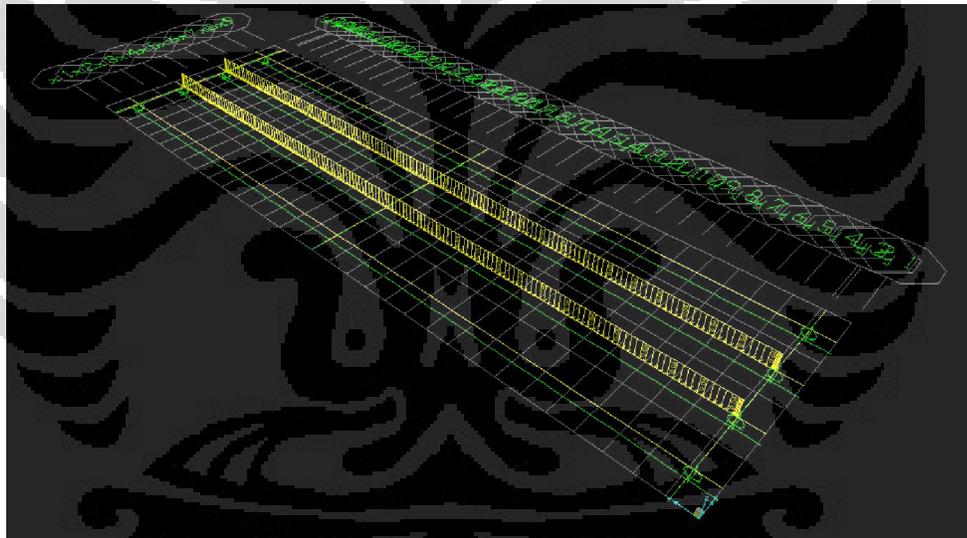
Display Color

Gambar 3.30 Tendon *Section Data*

Pemodelan dilakukan dengan membuat empat buah pelat berongga dan diletakkan sesuai koordinat yang dimilikinya. Setelah itu, pemodelan dilanjutkan dengan memodelkan balok melintang. Balok melintang merupakan balok ekuivalen yang dianggap mewakili keseluruhan sambungan pada pelat berongga.

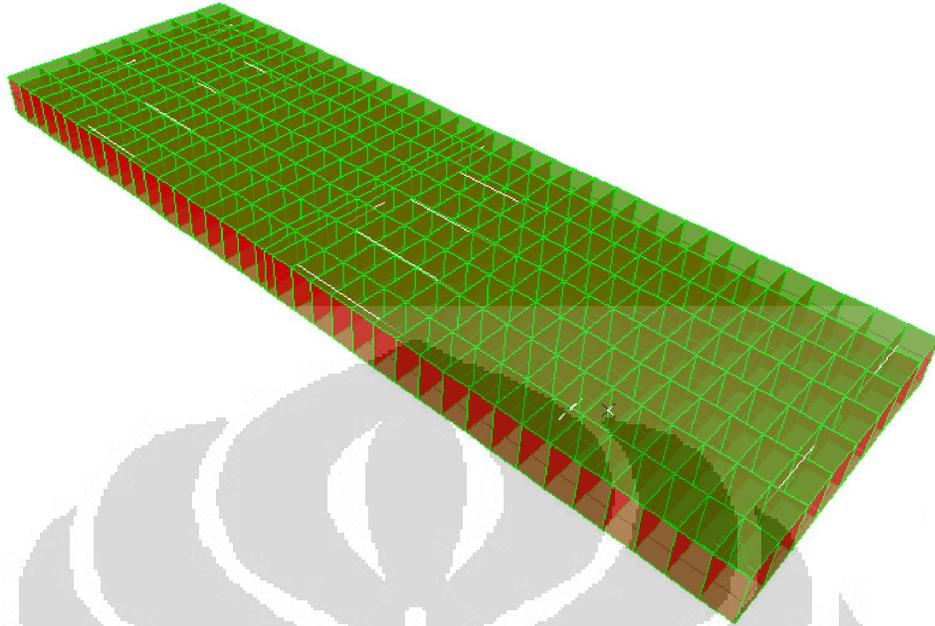


Gambar 3.31 Pelat Berongga pada SAP 2000



Gambar 3.32 Pembebanan pada SAP 2000

Selain memodelkan sebagai struktur balok, pemodelan juga dilakukan dengan struktur balok sederhana di atas dua perletakan dan sebagai pelat. Kedua pemodelan lain ini bertujuan untuk membandingkan hasil dari pemodelan dengan struktur pada gambar 3.31. Gambar 3.33 menunjukkan pemodelan pelat yang dilakukan. Pada pemodelan pelat, gaya prategang juga dijadikan sebagai input. Pemodelan pelat menggunakan *equivalent area* dengan ketebalan 48.474 mm (Jaeger, Bakht, & Tadros, 1998).



Gambar 3.33 Pemodelan sebagai pelat monolit

3.5 Variasi Parameter

Posisi beban akan selalu berada dalam satu jalur dikarenakan pembebanan menggunakan beban kereta api. Variasi yang mungkin timbul dari penggunaan beban kereta api adalah besarnya beban yang ada.

Tabel 3.1 Variasi Pembebanan

No	Beban Garis (kg/m)
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70
8	80

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Setelah percobaan di laboratorium dilakukan, maka ditinjau ketiga hasil berikut,

- Lendutan di tengah bentang dari pelat berongga
- Momen transversal di tengah bentang pada salah satu pelat berongga
- Momen longitudinal di tengah bentang pada salah satu pelat berongga

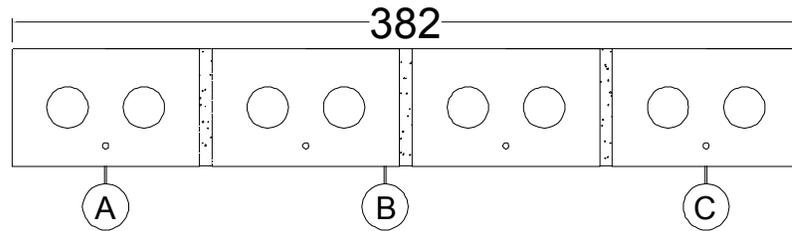
Dalam proses analisis dari percobaan, data-data yang ada dibandingkan dengan pemodelan pada program SAP 2000 v15.

4.1 Analisis Lendutan di Tengah Bentang

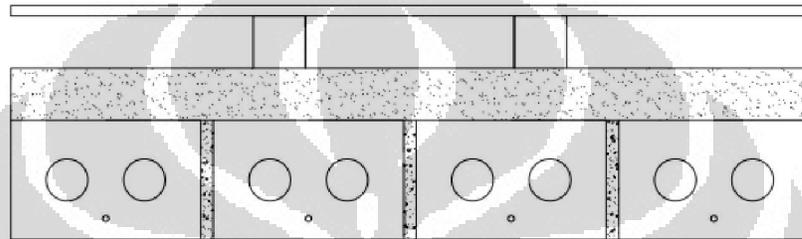
Pembacaan lendutan di tengah bentang dilakukan hanya untuk pembacaan beban hidup dan beban *ballast*. Pembebanan dilakukan secara semi siklik dilakukan secara bertahap sampai beban 80 kg. Posisi dial dan posisi pembebanan terlihat pada gambar 4.1 dan 4.2 Pada pembebanan pertama, untuk beban 10 kg, lendutan yang didapatkan sebesar 18 μ m untuk dial A, 16 μ m untuk dial B, dan 15 μ m untuk dial C. Setelah pembacaan dial dilakukan, beban garis 10 kg yang bekerja pada pelat berongga kemudian diangkat. Ketika diangkat, dial analog tidak langsung kembali ke angka nol, namun bergerak bertahap dan setelah beberapa waktu baru kembali ke angka nol. Hal ini menunjukkan benda uji yang ada masih berada dalam batas elastis.

Tabel 4.1 Lendutan hasil pembebanan

Beban (kg)	A (μ m)	B (μ m)	C (μ m)
0	0	0	0
10	18	16	15
20	38	32	30
30	52	50	56
40	77	75	75
50	92	86	84
60	90	95	99
70	120	114	118
80	129	128	125
0	-20	-18	-14



Gambar 4.1 Posisi Dial Analog



Gambar 4.2 Pembebanan

Pengujian dilanjutkan untuk beban 20 kg sampai 70 kg. Tiap kali pembebanan siklik diselesaikan. Dial analog selalu kembali ke angka nol meski tidak terjadi secara langsung. Semakin besar beban yang digunakan, maka waktu yang dibutuhkan untuk dial analog kembali ke angka nol semakin lama.

Pengujian terakhir dilakukan untuk beban 80 kg. Pengujian harus dihentikan untuk beban 80 kg dikarenakan benda uji yang ada sudah mengalami kerusakan pada salah satu pelat berongga yang ada. Ketika beban 80 kg diangkat, pembacaan jarum dial sudah tidak lagi kembali ke angka nol, melainkan memiliki sisa pembebanan sebesar $-20 \mu\text{m}$ untuk dial A, $-18 \mu\text{m}$ untuk dial B, dan $-14 \mu\text{m}$ untuk dial C. Dial menunjukkan angka negatif yang menjelaskan bahwa prategang bekerja. Prategang akan memberikan gaya perlawanan ketika mendapat beban dan ketika beban diangkat maka gaya prategang menyebabkan arah lendutan berbalik dan menimbulkan momen negatif.

Di saat pembebanan kembali dilakukan, terdapat kerusakan pada salah satu pelat berongga. Kerusakan ini terlihat secara kasat mata. Kerusakan juga terlihat dari penyimpangan data yang memperlihatkan bahwa salah satu pelat berongga mengalami kerusakan. Hal ini dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 Lendutan hasil pembebanan kedua

Beban (kg)	A (μ m)	B (μ m)	C (μ m)
0	0	0	0
10	20	18	19
20	38	33	35
30	64	55	52
40	89	80	76
50	90	99	95
60	129	115	115
70	146	130	125
80	166	147	143
0	6	5	5

Dari tabel diatas pada pembebanan 10 kg dan 20 kg, perbedaan lendutan memang hanya 2 μ m dan 5 μ m terhadap lendutan di tengah bentang. Namun, mulai pembebanan 40 kg sampai 80 kg, perbedaan lendutan menjadi lebih besar dan bahkan mencapai 22 μ m pada pembebanan 80 kg. Dari hasil pembebanan ini dapat disimpulkan bahwa pelat berongga sudah tidak bergerak secara bersamaan..



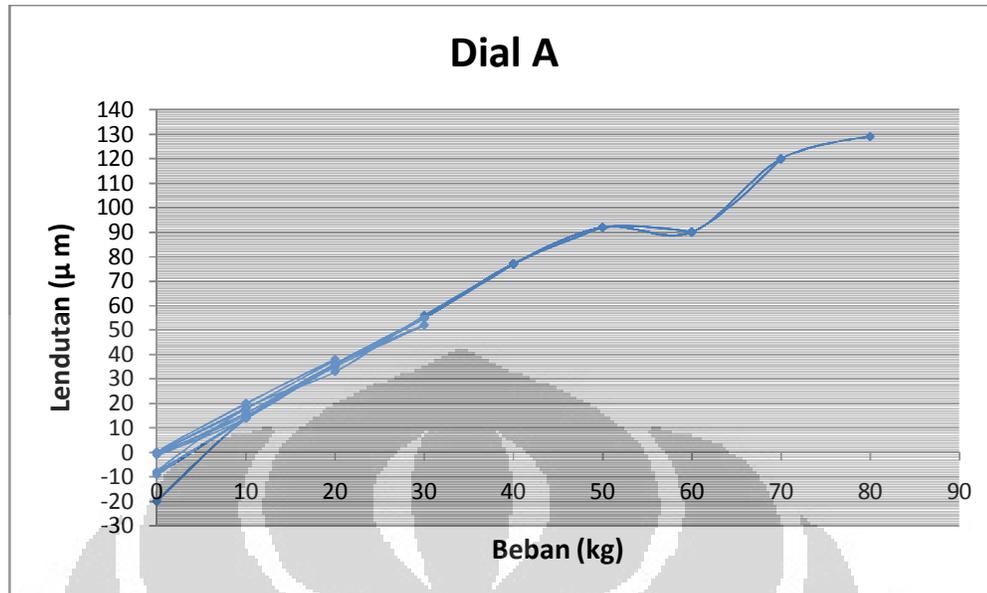
Gambar 4.3 Pelat berongga yang masih baik



Gambar 4.4 Pelat berongga yang rusak

Pada gambar 4.4, terlihat bahwa pelat berongga mengalami lendutan yang besar. Kondisi plastis juga didukung dari data lendutan terhadap pembebanan 80 kg dimana setelah beban diangkat jarum dial kembali ke angka 6 μ m, 5 μ m, dan 4 μ m untuk dial C.

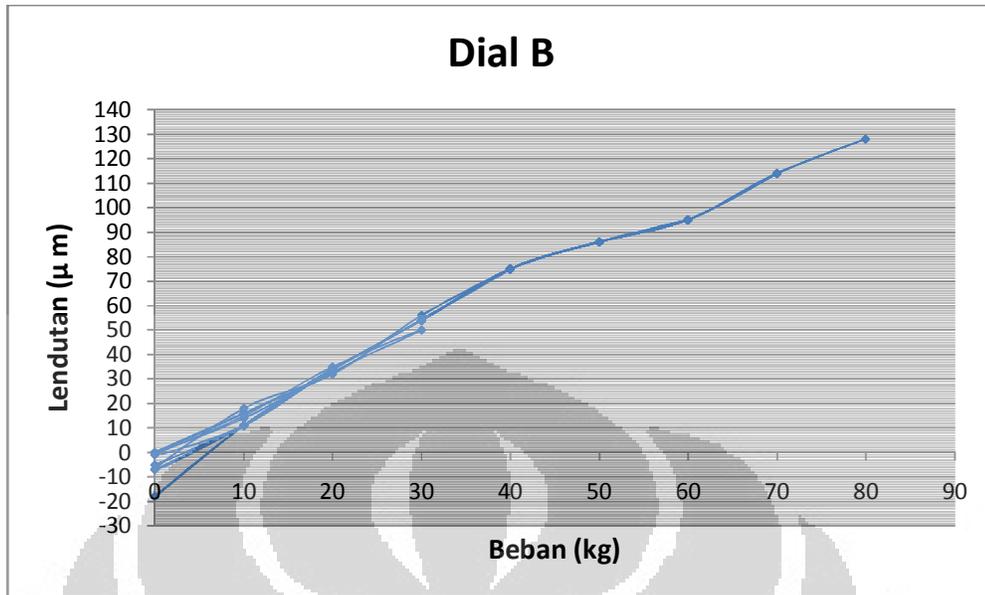
Pembacaan dial dapat menggambarkan karakteristik benda uji. Dari keseluruhan pembebanan dapat disimpulkan bahwa benda uji turun bersama-sama tanpa ada penurunan yang lebih besar di tengah bentang. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan yang ditimbulkan oleh *grouting* dan pascatarik bekerja dengan baik sehingga keempat pelat berongga dapat bergerak bersamaan. Penurunan bersamaan ini hanya dapat disimpulkan sampai pembebanan 80 kg dan belum tentu berlaku untuk pembebanan lebih dari 80 kg sampai ada penelitian lebih lanjut.



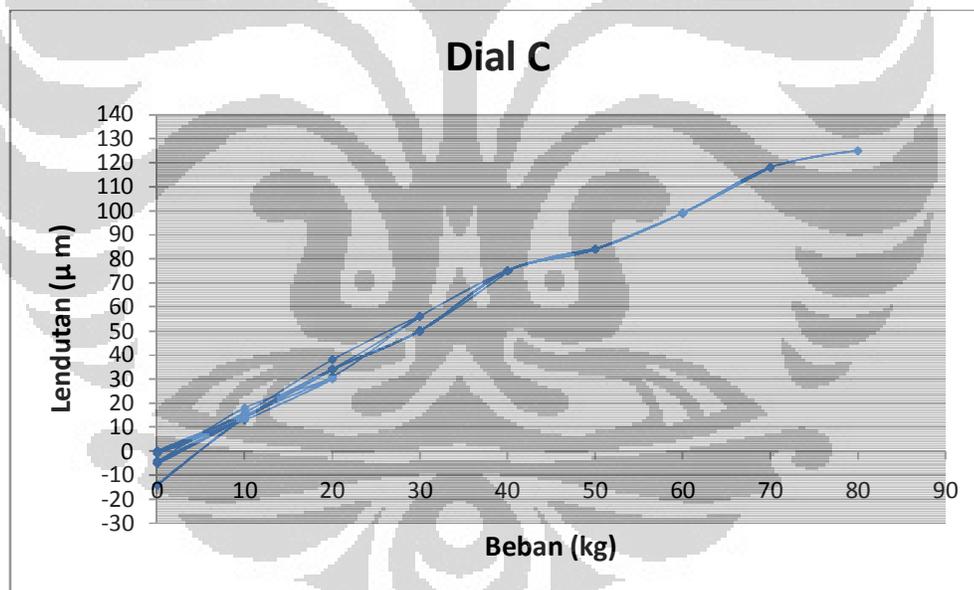
Gambar 4.5 Lendutan pada dial A pada pembebanan pertama

Grafik pembacaan lendutan pada dial A di gambar 4.5 menunjukkan besarnya lendutan beban pada tiap dial yang digunakan terhadap beban semi siklik. Lendutan pada dial A memiliki keanehan data di saat pembebanan pada beban 50 kg. Pada pembebanan 50 kg, lendutan yang terjadi melebihi di saat pembebanan 60 kg. Hal ini terjadi dikarenakan kondisi dari tempat pengujian tidak steril sehingga terdapat guncangan yang memengaruhi hasil dari pembacaan. Dari gambar 4.3 dapat terlihat bahwa lendutan akhir tidak terdapat pada angka nol melainkan memiliki sisa lendutan sebesar $-20 \mu\text{m}$.

Grafik pembacaan lendutan pada dial B di gambar 4.6 menunjukkan besarnya lendutan akibat beban semi siklik. Lendutan akhir setelah pembebanan 80 kg tidak terdapat pada angka nol melainkan memiliki sisa lendutan sebesar $-18 \mu\text{m}$.

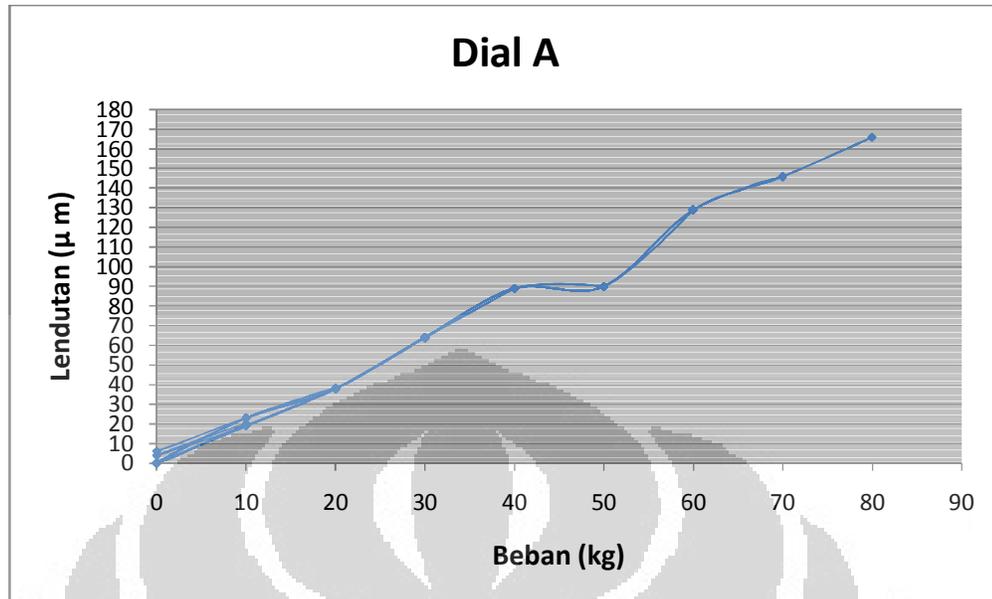


Gambar 4.6 Lendutan pada dial B pada pembebanan pertama



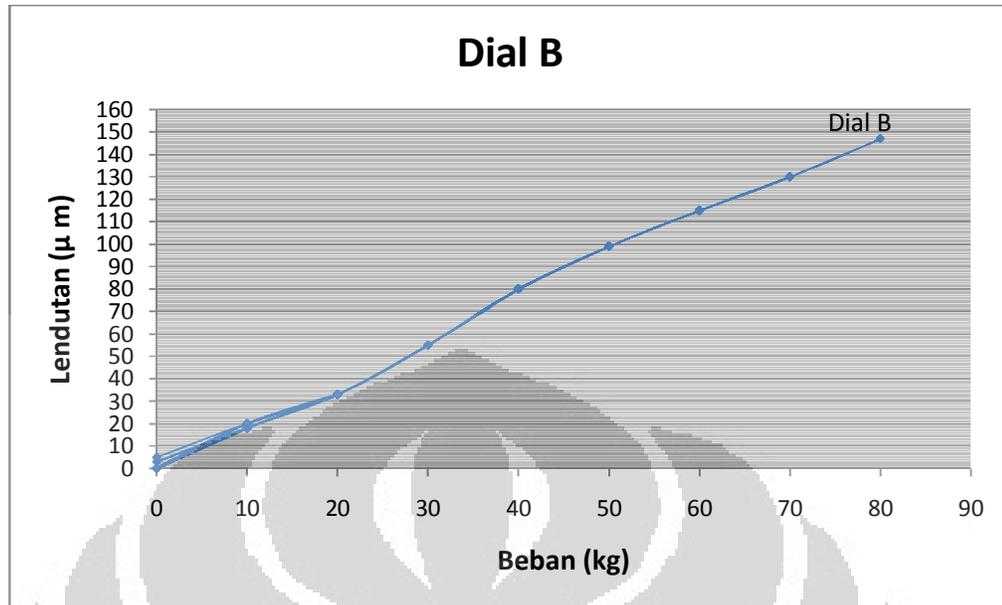
Gambar 4.7 Lendutan pada dial C pada pembebanan pertama

. Grafik pembacaan lendutan pada dial A di gambar 4.7 menunjukkan besarnya lendutan terjadi akibat beban semi siklik. Lendutan akhir setelah pembebanan 80 kg tidak terdapat pada angka nol melainkan memiliki sisa lendutan sebesar $-16 \mu\text{m}$.



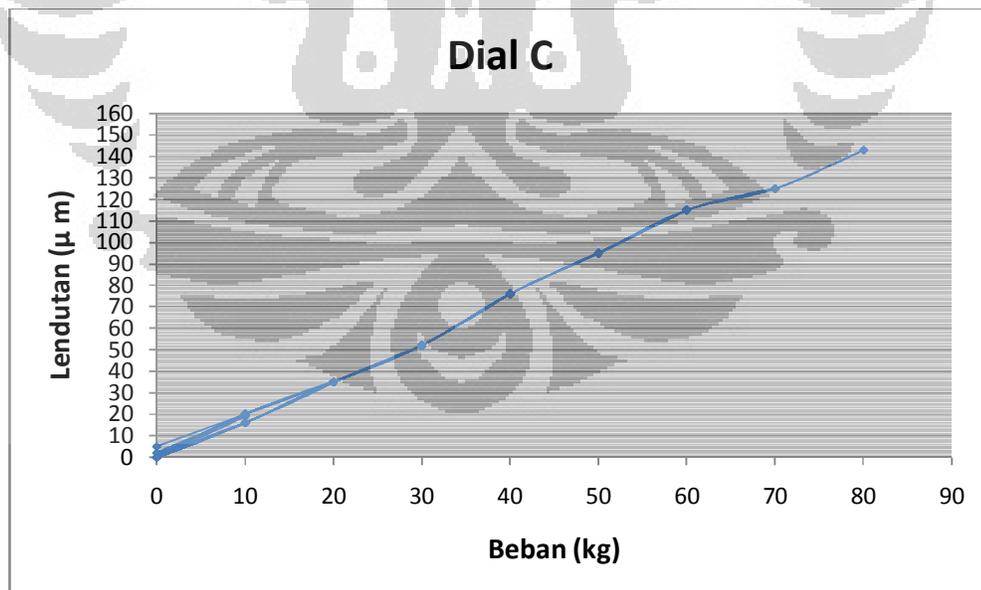
Gambar 4.8 Lendutan pada dial A pada pembebanan kedua

Grafik pembacaan lendutan pada dial A di gambar 4.8 menunjukkan besarnya lendutan pada pembebanan kedua. Tidak seperti pada pembebanan pertama, lendutan yang terjadi tidak mengalami *overlapping* seperti yang terjadi di saat pembebanan pertama. Lendutan pada pembebanan 40 kg terlihat lebih besar dari pembebanan 50 kg, namun, sebenarnya lendutan pada pembebanan 50 kg lebih besar 1 μm . Dari gambar 4.6 dapat terlihat bahwa lendutan akhir tidak terdapat pada angka nol melainkan memiliki sisa lendutan sebesar 6 μm . Hal ini menunjukkan pelat berongga mengalami kondisi plastis.



Gambar 4.9 Lendutan pada dial B pada pembebanan kedua

Grafik pembacaan lendutan pada dial B di gambar 4.9 menunjukkan besarnya lendutan pada pembebanan kedua. Dari gambar 4.7 dapat terlihat bahwa lendutan akhir tidak terdapat pada angka nol melainkan memiliki sisa lendutan sebesar 5 μm . Hal ini menunjukkan pelat berongga mengalami kondisi plastis.



Gambar 4.10 Lendutan pada dial C pada pembebanan kedua

Grafik pembacaan lendutan pada dial C di gambar 4.10 menunjukkan besarnya lendutan pada pembebanan kedua. Dari gambar 4.10 dapat terlihat

bahwa lendutan akhir tidak terdapat pada angka nol melainkan memiliki sisa lendutan sebesar 5 μ m. Hal ini menunjukkan pelat berongga mengalami kondisi plastis.

4.2 Analisis Regangan Transversal

Regangan transversal dibaca dengan menggunakan alat Kyowa DBU-120A. Posisi strain gage yang dipasang terlihat pada gambar 4.3. Dengan meletakkan strain gage pada posisi tersebut didapatkan regangan untuk pembebanan seperti terlihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Regangan transversal

Beban (kg/m)	Regangan (μ m/m)
10	-0.081985
20	-0.123399
30	-0.106096
40	-0.064125
50	-0.07634
60	-0.00461
70	-0.03491
80	-0.184343

Ada dua analisis yang dapat menjelaskan mengapa nilai negatif bisa terjadi pada regangan yang dibaca padahal regangan tidak memiliki nilai negatif. Penyebab pertama adalah rusaknya strain gage yang dipasang. Strain gage yang dipasang terlepas dari permukaan beton tempat direkatkannya sehingga pembacaan menjadi tidak akurat. Strain gage memang masih bisa dibaca namun hasilnya tidak akurat karena sifat strain gage yang harus merekat sempurna pada permukaan beton.



Gambar 4.11 Lem yang terlepas (dilingkari)

Penyebab berikutnya adalah tidak tepatnya pemakaian strain gage yang digunakan. Strain gage yang digunakan menggunakan jenis dinamik. Dengan pembebanan statik dan beban yang kecil, maka strain gage tidak bisa membaca dengan baik karena tidak sesuai dengan spesifikasi penggunaan yang dianjurkan produsen.

4.3 Analisis Regangan Longitudinal

Regangan longitudinal dibaca dengan menggunakan alat Kyowa DBU-120A. Posisi strain gage yang dipasang terlihat pada gambar 3.21. Dengan meletakkan strain gage pada posisi tersebut didapatkan regangan untuk pembebanan seperti terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Regangan longitudinal

Beban (kg/m)	Regangan ($\mu\text{m/m}$)
10	0.0169
20	0.070333333
30	0.3880675
40	0.391718462
50	0.456641538
60	0.571194286
70	0.595149231
80	0.638234545

Regangan diperlukan untuk mengetahui besarnya momen yang bekerja akibat beban hidup. Momen ini didapatkan melalui perhitungan :

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (4.1)$$

dimana : E = modulus elastisitas beton

ε = regangan beton

σ = tegangan beton

$$M_u = \sigma \cdot S_x \quad (4.2)$$

dimana : M_u = momen ultimate

Dengan menggunakan kedua rumus di atas, maka didapatkan besar momen yang bekerja akibat setiap beban hidup yang ditambahkan seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Momen *ultimate*

Beban (kg/m)	M_u (N.mm)
10	26.094
20	108.546
30	599.09
40	604.8
50	705.011
60	881.959
70	918.862
80	985.41

Momen yang berada di dalam tabel 4.5. memiliki nilai yang terlalu kecil. Pernyataan ini didasarkan pada perhitungan manual di mana untuk besar beban garis yang bekerja dengan besar dan posisi yang sama di suatu balok sederhana pada dua tumpuan memiliki nilai seperti yang ada di tabel 4.6.

Tabel 4.6 Momen *ultimate* pada balok sederhana

Beban (kg/m)	M_u (N.mm)
10	6889.0725
20	13778.145
30	20667.217
40	27556.29
50	34445.36
60	41334.423
70	48223.507
80	55112.58

Kecilnya nilai momen yang dihasilkan melalui pembacaan regangan disebabkan oleh tidak tepatnya pemakaian *strain gage*. *Strain gage* yang digunakan memiliki kondisi yang baik. Akan tetapi, *strain gage* tersebut seharusnya digunakan untuk pembebanan dinamik sedangkan pada pengujian digunakan beban statik. Akibatnya, regangan yang dibaca menjadi tidak akurat.

4.4 Analisis Pemodelan sebagai Balok dengan SAP2000 v15

Pemodelan dengan SAP2000 v15 dilakukan dengan menggunakan struktur grid dan dimodelkan sebagai balok. Pemodelan ini mendapatkan perlakuan khusus dengan cara memberikan *partial fixity* pada sambungan antar pelat berongga. Kombinasi *partial fixity* dimodelkan dan diberikan beban dengan jenis beban seperti yang ada pada tabel 4.7. Beban-beban tersebut menggunakan faktor pengali satu.

Tabel 4.7. Nama Beban

Nama Beban di SAP 2000	Keterangan
DEAD	Berat sendiri pelat berongga
SIDL	<i>Ballast</i>
TENDON	Gaya prategang
LIVE 10	Beban hidup 10 kg/m
LIVE 20	Beban hidup 20 kg/m
LIVE 30	Beban hidup 30 kg/m
LIVE 40	Beban hidup 40 kg/m
LIVE 50	Beban hidup 50 kg/m
LIVE 60	Beban hidup 60 kg/m
LIVE 70	Beban hidup 70 kg/m
LIVE 80	Beban hidup 80 kg/m

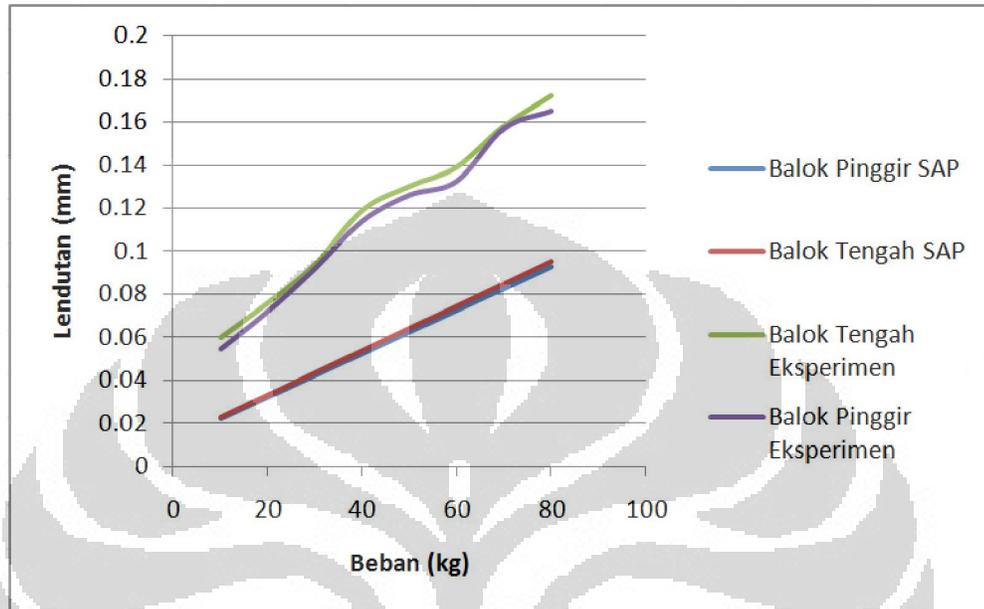
Beban tersebut dikombinasikan dengan faktor beban satu seperti pada tabel 4.8. Hanya pada kombinasi sembilan berat sendiri diperhitungkan.

Tabel 4.8. Kombinasi Beban

Kombinasi Beban	Jenis Kombinasi
1	TENDON + SIDL + LIVE 10
2	TENDON + SIDL + LIVE 20
3	TENDON + SIDL + LIVE 30
4	TENDON + SIDL + LIVE 40
5	TENDON + SIDL + LIVE 50
6	TENDON + SIDL + LIVE 60
7	TENDON + SIDL + LIVE 70
8	TENDON + SIDL + LIVE 80
9	TENDON + DEAD

Setelah pemodelan dilakukan, maka akan ditinjau lendutan dan momen lentur yang terjadi di tengah bentang untuk balok di sisi pinggir dan di sisi tengah. Kedua balok ini ditinjau untuk mengetahui perilaku dari pelat berongga yang

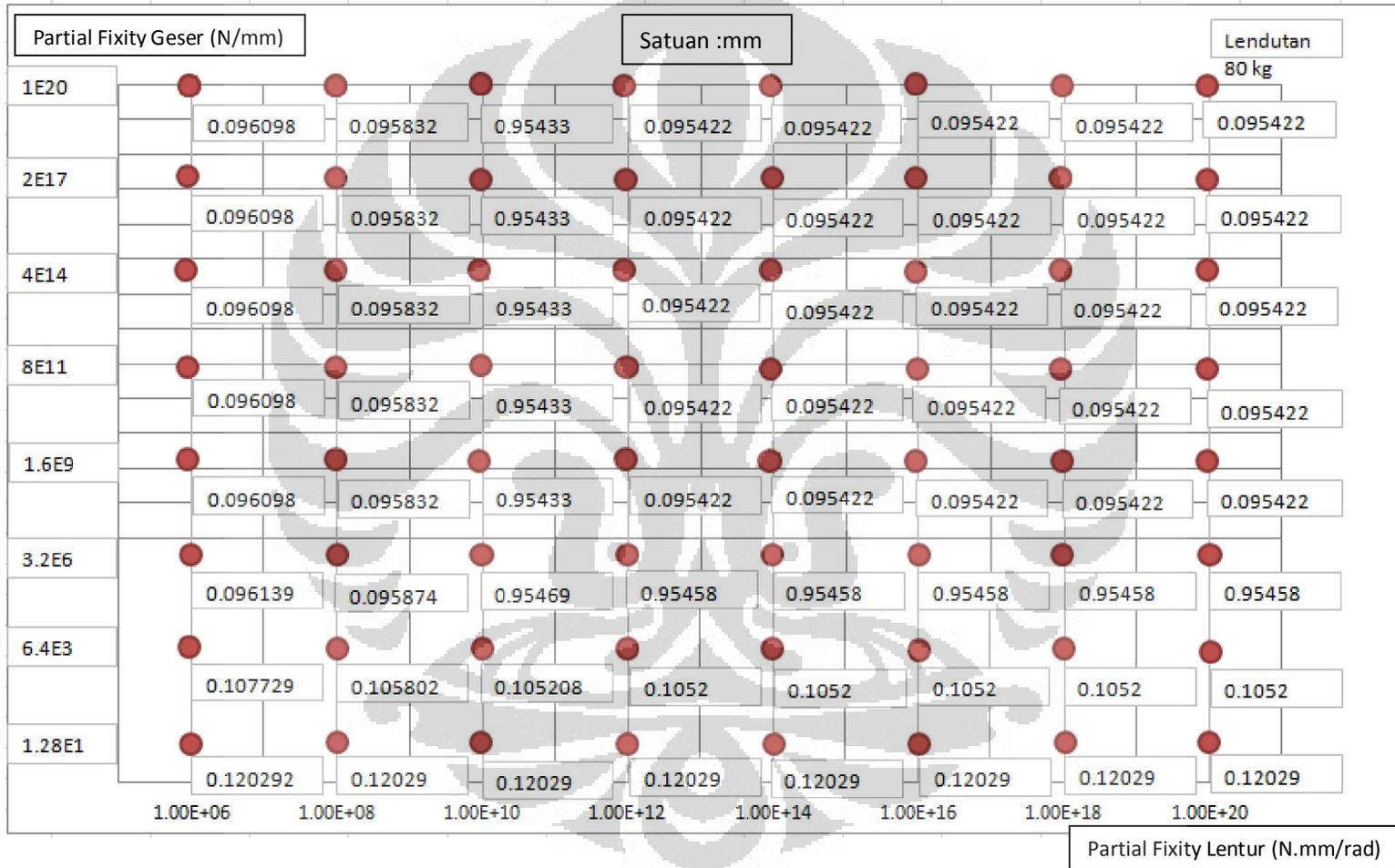
digunakan. Untuk mempermudah analisis, maka data yang ada dimasukkan ke dalam grafik. Judul grafik menjelaskan kombinasi *partial fixity* yang digunakan.



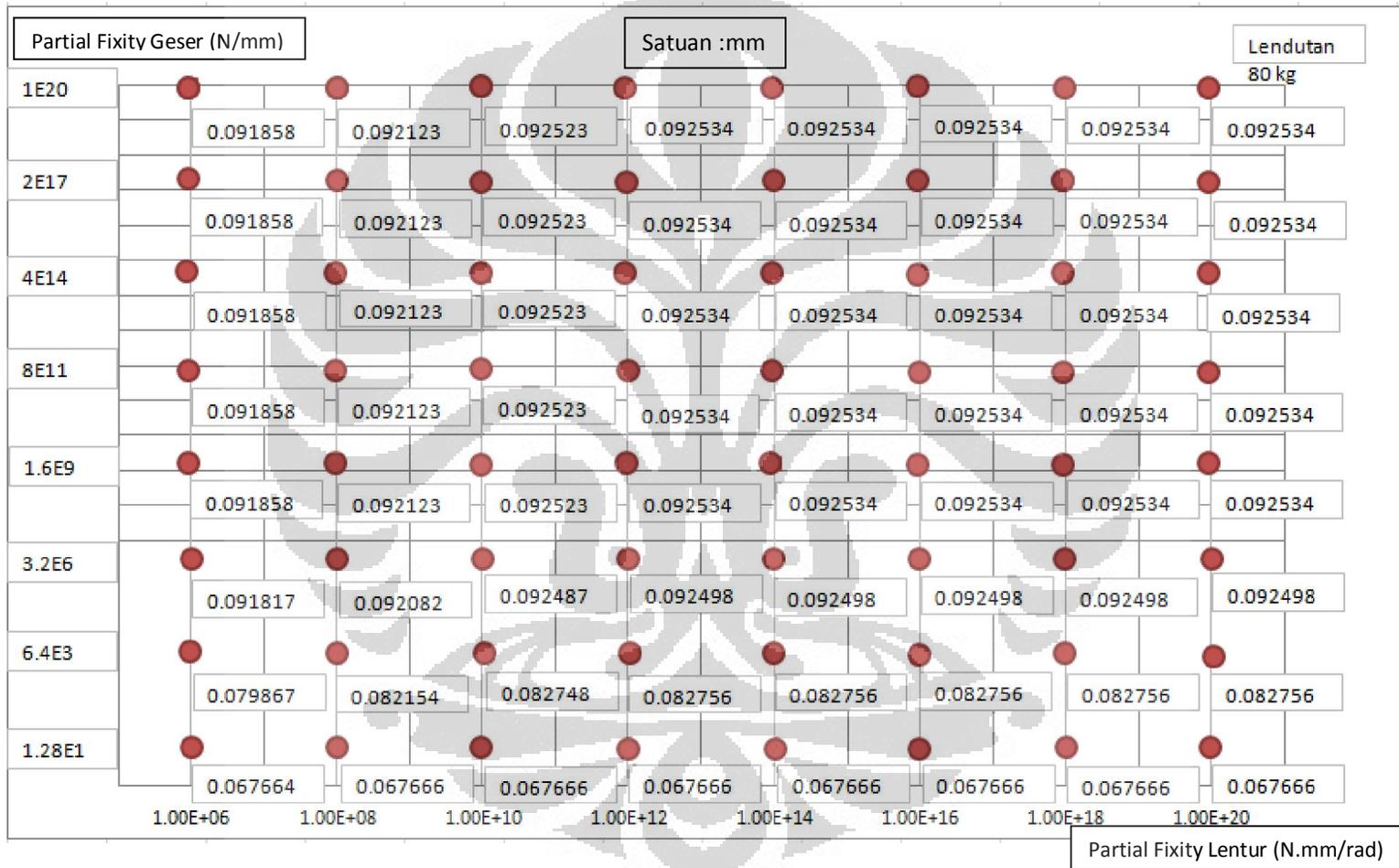
Gambar 4.12 Lendutan tanpa Partial Fixity

Gambar 4.13 menunjukkan lendutan yang terjadi yang ditimbulkan oleh setiap kombinasi *partial fixity* geser dan *partial fixity* lentur pada balok tengah akibat beban 80 kg. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar *partial fixity* geser dan lentur yang digunakan maka akan semakin kecil lendutan yang terjadi, sedangkan pada *partial fixity* geser dan lentur yang kecil maka lendutan pada balok tengah semakin besar karena hubungan antar balok tepi dan tengah semakin lemah.

Gambar 4.14 menunjukkan lendutan yang terjadi yang ditimbulkan oleh setiap kombinasi *partial fixity* geser dan *partial fixity* lentur pada balok tepi akibat beban 80 kg. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin kecil *partial fixity* geser dan lentur yang digunakan maka akan semakin kecil lendutan yang terjadi, sedangkan pada *partial fixity* geser dan lentur yang besar maka lendutan pada balok tengah semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin kecil *partial fixity* yang digunakan maka akan semakin lemah hubungan antar balok yang ada sehingga balok tepi tidak menanggung beban yang ada dari balok tengah.



Gambar 4.13. Lendutan pada Balok Tengah Akibat Beban 80 kg/m



Gambar 4.14. Lendutan pada Balok Tepi Akibat Beban 80 kg/m

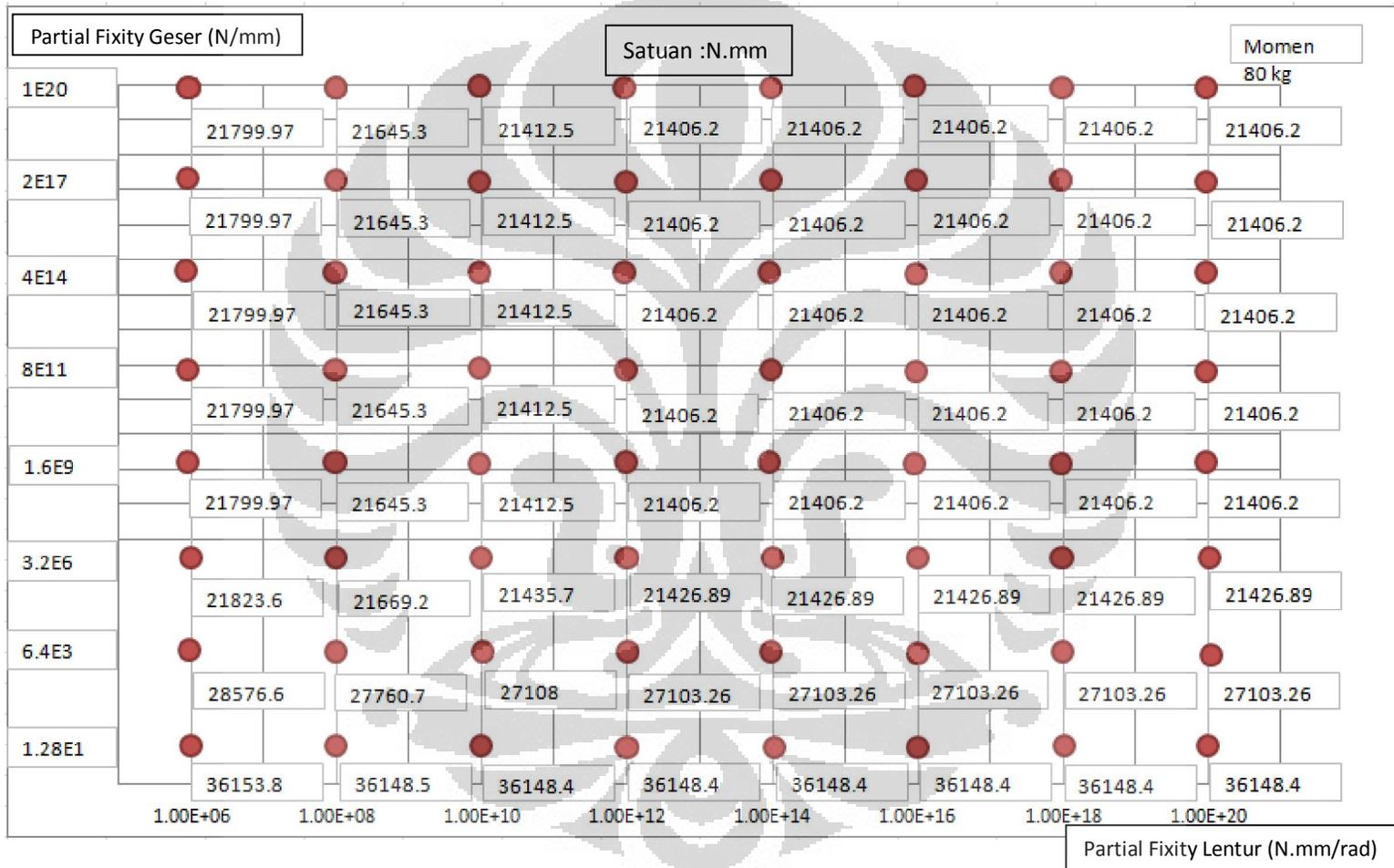
Gambar 4.15 menunjukkan momen yang terjadi yang ditimbulkan oleh setiap kombinasi *partial fixity* geser dan *partial fixity* lentur pada balok tengah akibat beban 80 kg. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar *partial fixity* geser dan lentur yang digunakan maka akan semakin kecil momen yang terjadi, sedangkan pada *partial fixity* geser dan lentur yang kecil maka momen pada balok tengah semakin besar karena hubungan antar balok tepi dan tengah semakin lemah.

Gambar 4.16 menunjukkan momen yang terjadi yang ditimbulkan oleh setiap kombinasi *partial fixity* geser dan *partial fixity* lentur pada balok tepi akibat beban 80 kg. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin kecil *partial fixity* geser dan lentur yang digunakan maka akan semakin kecil momen yang terjadi, sedangkan pada *partial fixity* geser dan lentur yang besar maka momen pada balok tengah semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin kecil kombinasi *partial fixity* yang digunakan maka akan semakin lemah hubungan antar balok yang ada sehingga balok tepi tidak menanggung beban yang ada dari balok tengah.

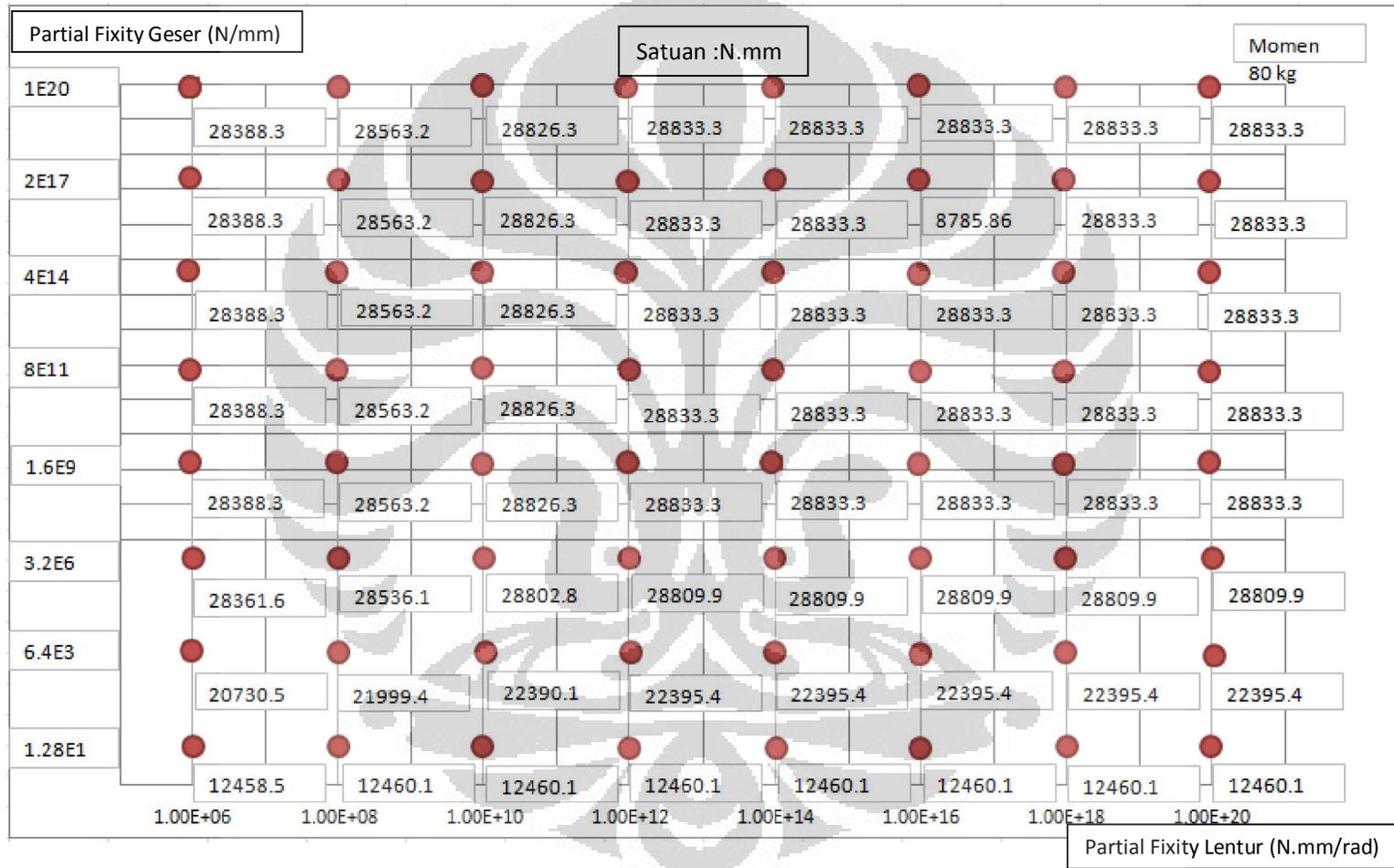
Pada pemodelan ini, balok tepi memiliki momen yang lebih besar dari pada balok tengah. Padahal, pada balok tengah terdapat beban garis yang bekerja. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya distribusi gaya. Ketika dibebani, balok tengah dapat mendistribusikan gaya yang ada ke balok tepi. Distribusi gaya yang ada menyebabkan momen pada balok tepi lebih besar.

Pada gambar 4.17. dan 4.18 terdapat gambar gaya geser berdasarkan kombinasi berbagai *partial fixity* yang dilihat pada seperempat bentang. Pada balok tepi dapat dilihat bahwa semakin kecil *partial fixity* geser dan lentur yang digunakan maka akan semakin kecil gaya geser yang terjadi, sedangkan pada *partial fixity* geser dan lentur yang besar maka gaya geser pada balok tepi akan semakin besar.

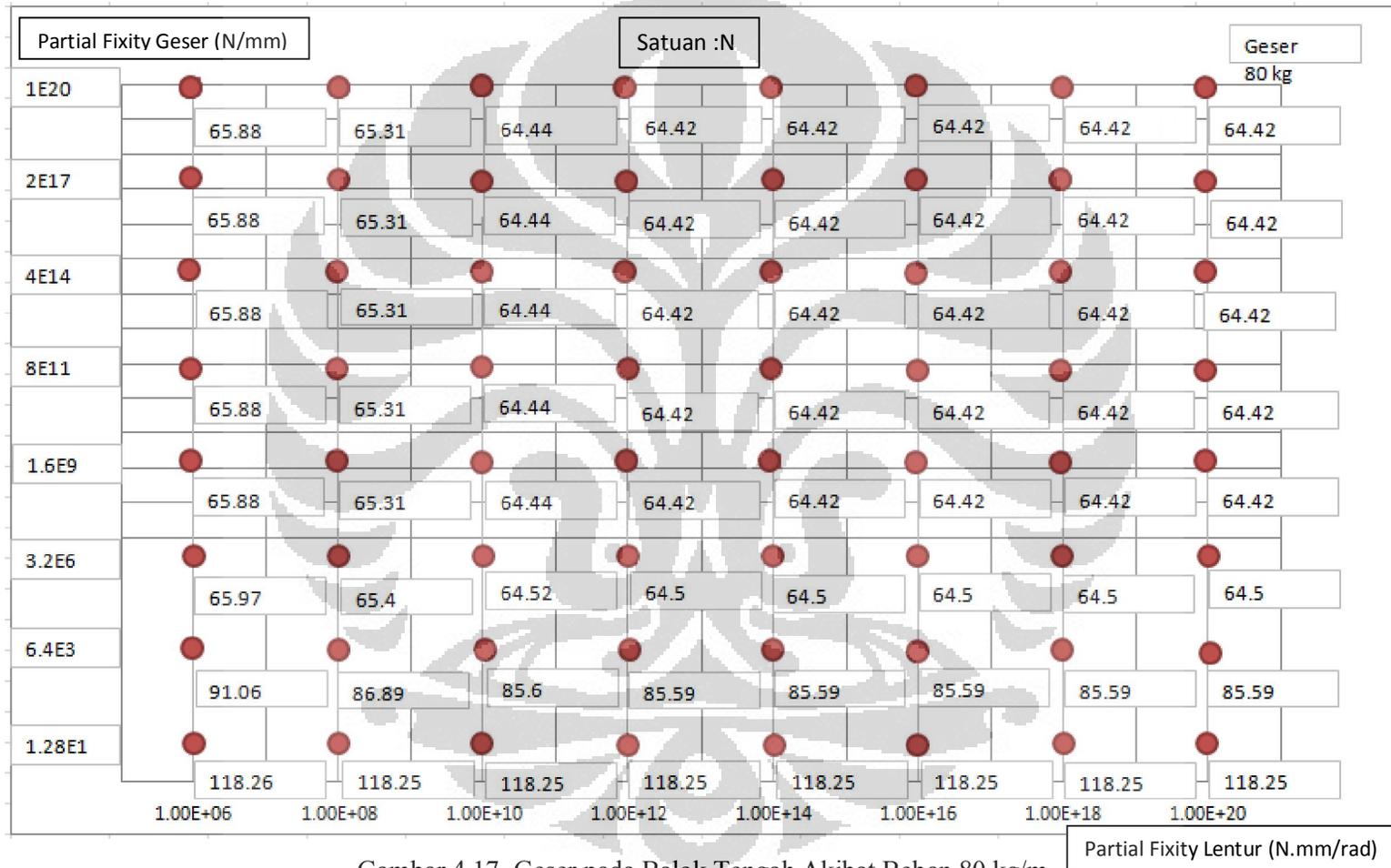
Hal sebaliknya berlaku untuk balok tengah di mana semakin kecil *partial fixity* geser dan lentur yang digunakan maka akan semakin besar gaya geser yang terjadi, sedangkan pada *partial fixity* geser dan lentur yang kecil maka gaya geser pada balok tengah semakin besar.



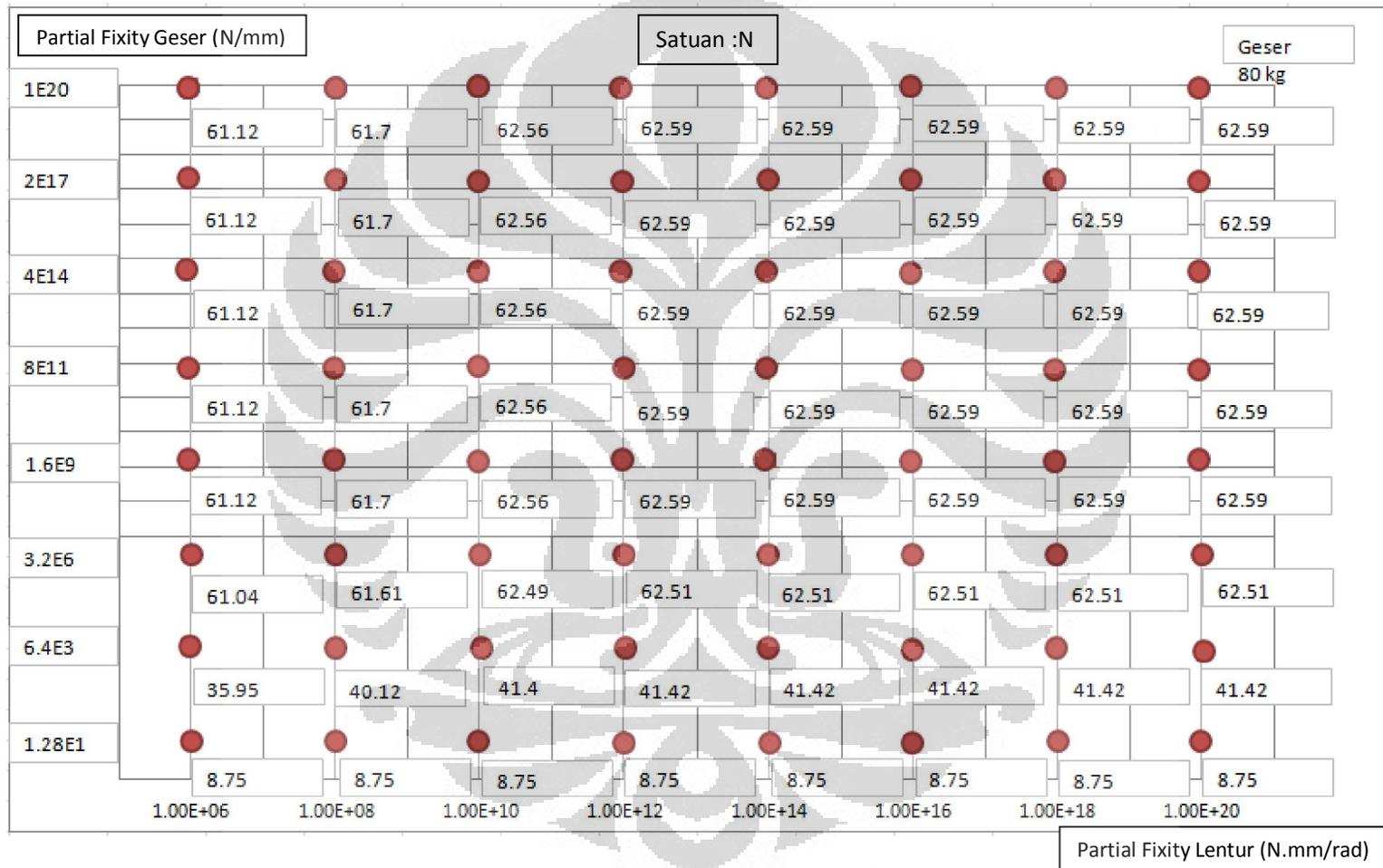
Gambar 4.15. Momen pada Balok Tengah Akibat Beban 80 kg/m



Gambar 4.16. Momen pada Balok Tepi Akibat Beban 80 kg/m



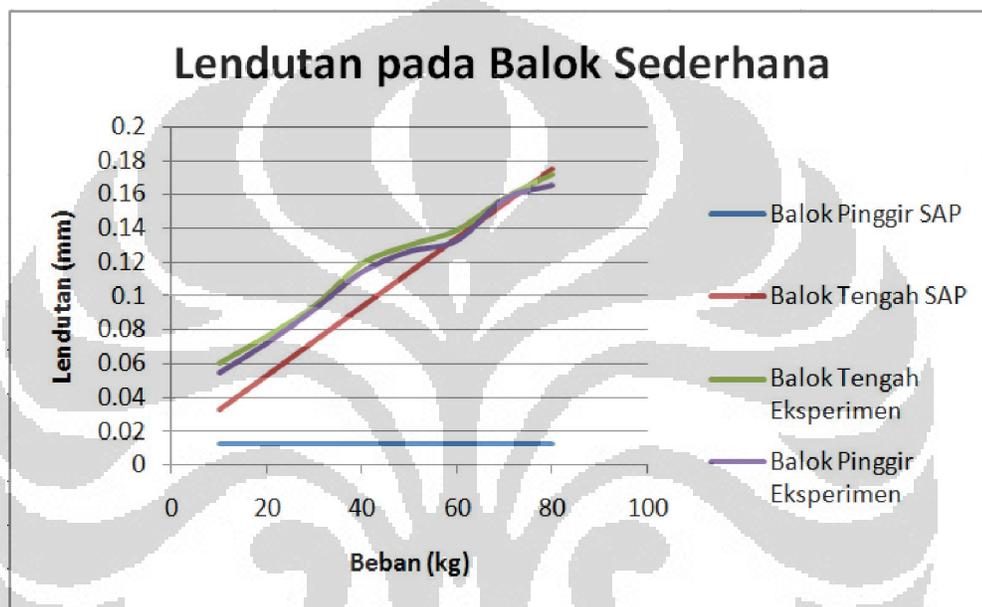
Gambar 4.17. Geser pada Balok Tengah Akibat Beban 80 kg/m



Gambar 4.18. Geser pada Balok Tepi Akibat Beban 80 kg/m

4.5 Analisis Pemodelan sebagai Balok Sederhana

Pemodelan sebagai balok sederhana dilakukan untuk membandingkan apakah sebenarnya pelat berongga yang dimodelkan di laboratorium bergerak masing-masing ataupun bergerak bersamaan. Pada SAP2000, balok sederhana dimodelkan dengan properti penampang dan pembebanan yang sama dengan percobaan di laboratorium. Gambar 4.19. menunjukkan lendutan hasil pemodelan balok sederhana.



Gambar 4.19. Lendutan akibat pembebanan pada Balok Sederhana

Gambar 4.19. menunjukkan bahwa lendutan yang terjadi sudah mendekati dari percobaan. Garis hijau menunjukkan lendutan pada balok tengah hasil percobaan. Garis ungu menunjukkan lendutan pada balok pinggir hasil percobaan. Garis merah menunjukkan lendutan pada balok tengah hasil pemodelan pada SAP2000. Garis biru menunjukkan lendutan pada balok pinggir hasil pemodelan pada SAP2000. Meskipun lendutan balok tengah sudah mendekati percobaan, balok pinggir yang ada tidak mengalami lendutan sehingga dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemodelan dengan balok sederhana tidak bisa menunjukkan pergerakan bersamaan yang ditimbulkan oleh pelat berongga seperti yang dihasilkan pada percobaan di laboratorium.

4.6 Analisis Pemodelan sebagai Pelat

Pemodelan sebagai pelat dilakukan untuk mengetahui apakah benda uji memiliki perilaku sebagai pelat. Pelat merupakan suatu struktur bidang yang lurus yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensinya yang lain (Szilard, 1989). Pelat dimodelkan dengan menggunakan struktur grid dan dijelaskan pada sub bab 3.4. Tabel 4.9 menunjukkan lendutan pada pelat yang dibandingkan dengan lendutan pada pengujian di laboratorium.

Tabel 4.9. Lendutan Pelat

Beban (kg)	Lendutan (mm)			
	Pinggir Pelat	Tengah Pelat	Balok Pinggir Eksperimen	Balok Tengah Eksperimen
10	0.0353	0.0349	0.0545	0.06
20	0.0467	0.046	0.072	0.076
30	0.0646	0.0639	0.092	0.094
40	0.0792	0.0794	0.114	0.119
50	0.0939	0.093	0.126	0.13
60	0.1086	0.1075	0.1325	0.139
70	0.1232	0.122	0.157	0.158
80	0.1379	0.1365	0.165	0.172

Pemodelan dengan pelat menunjukkan penurunan yang sama untuk semua bagian di tengah bentang. Penurunan yang sama di tengah bentang ini menunjukkan hasil yang paling mendekati dengan percobaan di laboratorium. Pemodelan dengan pelat dapat mendekati hasil eksperimen dikarenakan pemodelan ini menggunakan metode *equivalent area*.

Tabel 4.10 Lendutan tiap Pemodelan

Beban (kg)	Lendutan (mm)							
	Balok Tepi Eksperimen	Balok Tengah Eksperimen	Tepi Balok Sederhana	Tengah Balok Sederhana	Tepi Pelat	Tengah Pelat	Tepi Partial Fixity	Tengah Partial Fixity
10	0.0545	0.0600	0.0127	0.0330	0.0353	0.0349	0.0195	0.0261
20	0.0720	0.0760	0.0127	0.0533	0.0467	0.0460	0.0264	0.0396
30	0.0920	0.0940	0.0127	0.0736	0.0646	0.0639	0.0333	0.0530
40	0.1140	0.1190	0.0127	0.0939	0.0792	0.0794	0.0402	0.0665
50	0.1260	0.1300	0.0127	0.1143	0.0939	0.0930	0.0474	0.0799
60	0.1325	0.1390	0.0127	0.1346	0.1086	0.1075	0.0539	0.0934
70	0.1570	0.1580	0.0127	0.0155	0.1232	0.1220	0.0608	0.1068
80	0.1650	0.1720	0.0127	0.1753	0.1379	0.1365	0.0677	0.1203

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

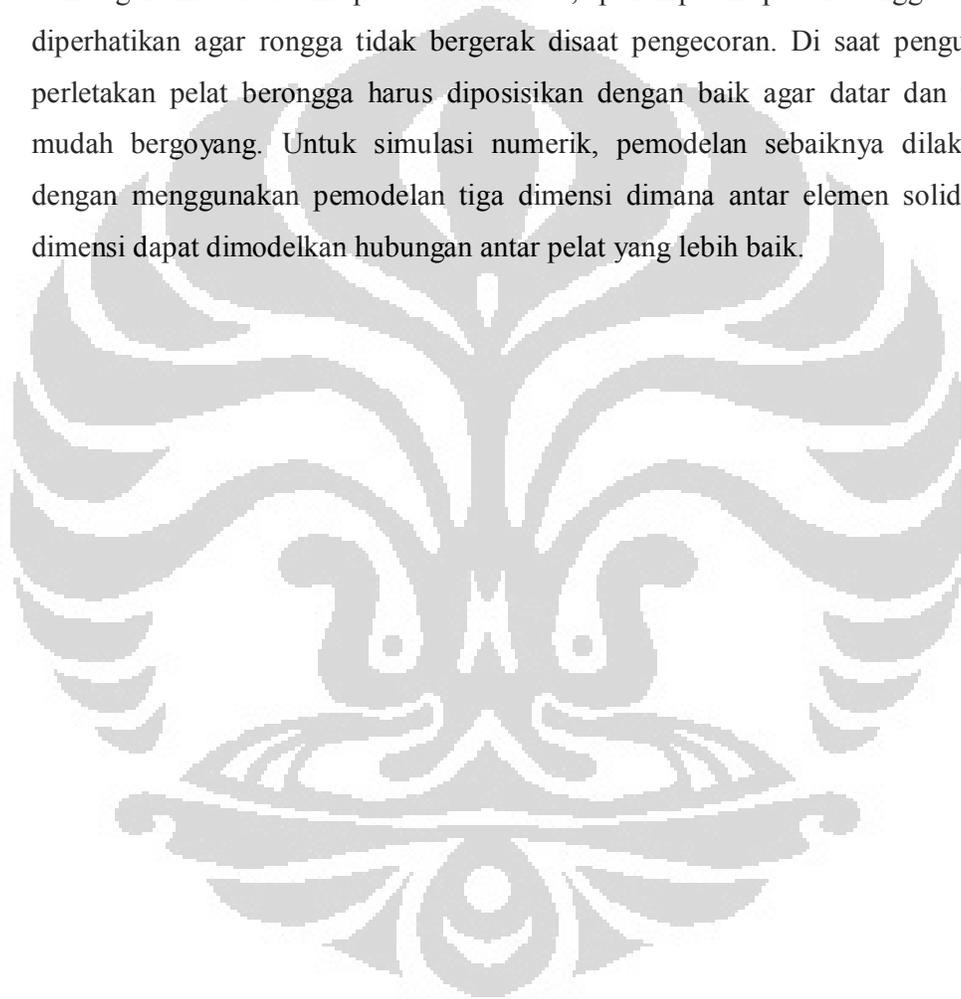
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Bagian tepi dan tengah dari pelat berongga memiliki lendutan yang berbeda ketika dibebani meskipun perbedaan yang ada hanya sebesar 4.06%.
- b. Pemodelan sebagai grid tanpa *partial fixity* memiliki perbedaan lendutan sebesar 44.5% dengan hasil eksperimen. Pemberian *partial fixity* dapat mengurangi kekakuan sambungan baik itu sambungan geser maupun lentur. Pemodelan balok grid dengan *partial fixity* geser yang kaku lebih baik karena pelat berongga dapat turun secara bersamaan seperti yang ditunjukkan oleh hasil eksperimen. Pemodelan dengan *partial fixity* geser dan lentur yang kaku memberikan hasil yang sama dengan pemodelan sebagai grid tanpa *partial fixity*.
- c. Pemodelan sebagai balok sederhana memiliki perbedaan sebesar 1.91% eksperimen. Akan tetapi pemodelan sebagai balok sederhana tidak mewakili perilaku pelat berongga karena balok tepi tidak turun bersamaan dengan balok tengah dan memiliki perbedaan lendutan antara keduanya sebesar 92.928%.
- d. Pemodelan pelat dengan *equivalent area* memiliki perbedaan lendutan sebesar 20.63% dengan lendutan hasil eksperimen.
- e. Pemodelan sebagai pelat dengan *equivalent area* memberikan hasil yang paling mendekati perilaku pelat berongga yang diujicobakan di laboratorium.
- f. Perbedaan lendutan yang terjadi antara pemodelan di SAP2000 v15 dengan eksperimen disebabkan karena tidak representatifnya pemodelan prategang di SAP2000 v15 dengan eksperimen dan tidak representatifnya geometri material yang digunakan di SAP2000 v15 dengan eksperimen

5.2 Saran

Percobaan pada penelitian ini memiliki perbedaan yang besar antara simulasi numerik dan eksperimen. Hal ini dapat dikurangi bila terdapat penelitian lebih lanjut terhadap properti material yang digunakan dan juga pemakaian material prategang yang lebih representatif ketika dimodelkan dengan simulasi numerik. Pemasangan pada saat pengecoran benda uji juga harus diperhatikan lebih baik agar mortar lebih padat. Selain itu, penempatan posisi rongga harus diperhatikan agar rongga tidak bergerak disaat pengecoran. Di saat pengujian, perletakan pelat berongga harus diposisikan dengan baik agar datar dan tidak mudah bergoyang. Untuk simulasi numerik, pemodelan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan pemodelan tiga dimensi dimana antar elemen solid tiga dimensi dapat dimodelkan hubungan antar pelat yang lebih baik.

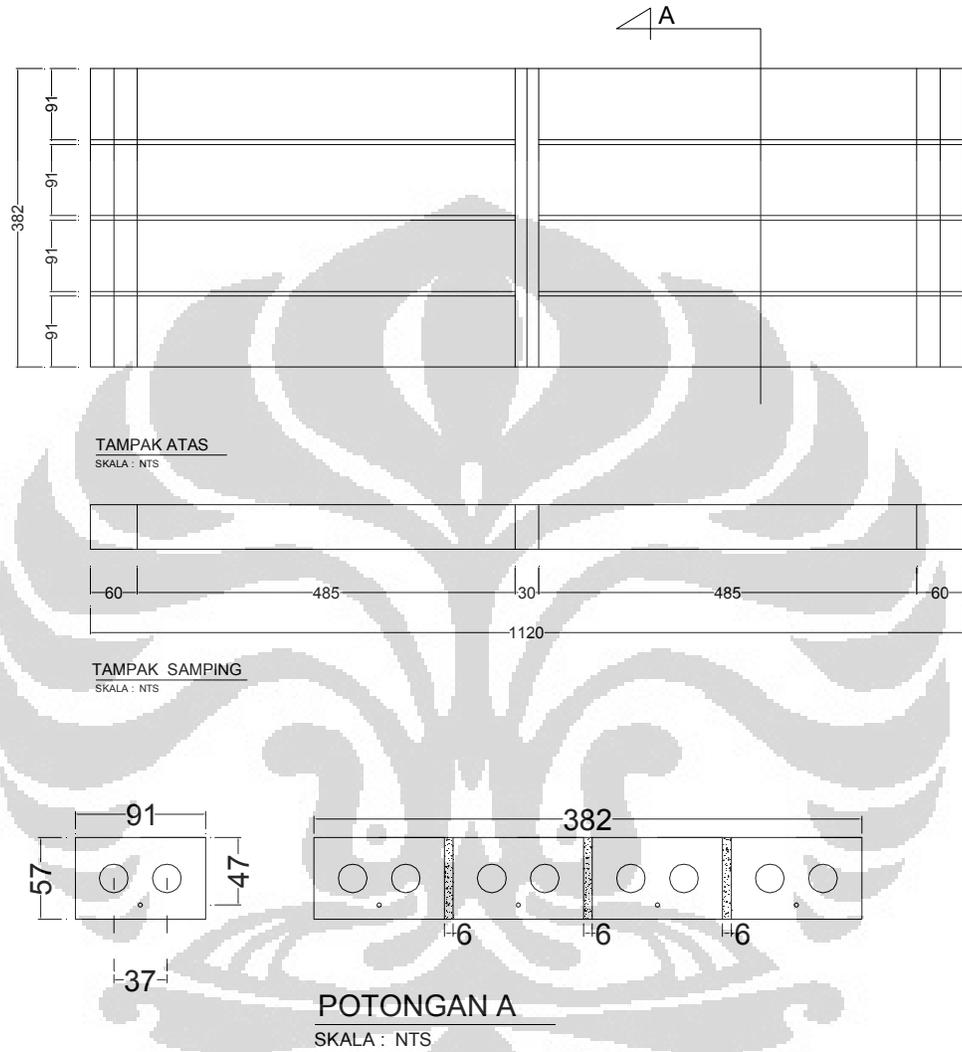


DAFTAR REFERENSI

- 15-3758-2004, S. (2004). *Semen Masonry*.
- Aeberhard, H. U., Buergi, P., Ganz, H. R., Marti, P., Matt, P., & Sieber, T. (1992). *External Post-tensioning*. Hongkong: VSL International Ltd.
- Al-Omaishi, N., Tadros, M. K., & Seguirant, S. J. (2009). Estimating prestress loss in pretensioned, high strength concrete members. *PCI Journal* , 132.
- Bakht, B., & Jaeger, L. G. (1987). *Bridge Analysis Simplified*. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- Balazs, G. L. (1993). Transfer Length of Prestressing Strand as a Function of Draw-In and Initial Prestress. *PCI Journal* , 86.
- Cusens, A., & Pama, A. (1979). *Bridge Deck Analysis*. London: John Wiley & Sons.
- Dewobroto, W. (2007). *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Elisabeth, B. (2011, November 16). *Kebutuhan Transportasi Umum Belum Terpenuhi*. Retrieved Januari 2, 2012, from Bisnis Indonesia: <http://www.bisnis.com/articles/kebutuhan-transportasi-umum-belum-terpenuhi>
- Hornbostel, C. (1978). *Construction Materials*. New York: John Wiley & Sons.
- Jaeger, L. G., Bakht, B., & Tadros, G. (1998). *Equivalent Area of Voided Slabs*. NRC.
- Katili, I. (2008). *Metode Elemen Hingga untuk Skeletal*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (1991). *Desain Struktur Beton Prategang edisi 3*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

- O'Brien, E. J., & Keogh, D. L. (1999). *Bridge Deck Analysis*. London: E & FN Spon.
- Raju, N. K. (1993). *Beton Prategang*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- RSNI T-12-2004, P. (2004). *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*.
- SNI 15-3758-2004. (2004). *Semen Masonry*.
- Szilard, R. (1989). *Teori dan Analisis Pelat*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Tonias, D. E., & Zhao, J. J. (1995). *Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridge*. New York: Mc Graw Hill.
- Utomo, S. H. (2009). *Jalan Rel*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Walsh, K. Q., & Kurama, Y. C. (2010). Behavior of unbonded post-tensioning monostrand anchorage systems under monotonic tensile loading. *PCI Journal*, 100.

LAMPIRAN 1 : GAMBAR PELAT BERONGGA DUA



LAMPIRAN 2 : KUAT TEKAN MORTAR

Kubus 1

Dimensi : (5 x 5 x 5) cm

Massa : 0,274 kg

ρ : 2192 kg/m³

f'_c : 42,89 MPa

Kubus 2

Dimensi : (5 x 5 x 5) cm

Massa : 0,271 kg

ρ : 2168 kg/m³

f'_c : 45,62 MPa

Kubus 3

Dimensi : (5 x 5 x 5) cm

Massa : 0,273 kg

ρ : 2184 kg/m³

f'_c : 47,87 MPa

$$f'_c \text{ rata-rata} = (42,89 + 45,62 + 47,87) / 3$$

$$= 45,46 \text{ MPa}$$

$$\bar{\rho} : 2181,333 \text{ kg/m}^3$$

$$E = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{45,46}$$

$$= 31689 \text{ N/mm}^2$$

LAMPIRAN 3 : KEHILANGAN PRATEGANG

Kehilangan Prategang Pratarik

$$P = 981 \text{ N}$$

$$e = 8,5 \text{ mm}$$

$$A = 4558 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1388672 \text{ mm}^4$$

$$\phi = 1,5 \text{ mm}$$

$$E_{\text{beton}} = 29,75 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{baja}} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_e = 6,67$$

$$\epsilon_{cs} = 300 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_{cc} = 41 \times 10^{-6}$$

$$\text{Tegangan awal pada baja} = \frac{P}{A_{\text{tendon}}}$$

$$= \frac{981}{1,77}$$

$$= 554 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan pada beton, } f_c = \frac{981}{4558} + \frac{981 \cdot 18,5 \cdot 10}{1388672}$$

$$= 0,346 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan tegangan akibat deformasi elastis beton} = \alpha_e f_c$$

$$= 6,67 \times 0,346$$

$$= 2,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan prategang akibat regangan susut} = \epsilon_{cs} \times E_{\text{beton}}$$

$$= (300 \times 10^{-6}) \cdot (200 \times 10^3)$$

$$= 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan prategang akibat rangkai beton} = \epsilon_{cc} \times f_c \times E_s$$

$$= (41 \times 10^{-6}) \cdot (0,346) \cdot (200 \times 10^3)$$

$$= 2,97 \text{ N/mm}^2$$

Kehilangan akibat relaksasi baja = 5%

Kehilangan akibat relaksasi tegangan pada baja biasanya ditentukan berdasarkan standar yang berlaku di suatu negara seperti dalam RSNI T-12-2004 untuk peraturan Indonesia, BS-2691 untuk peraturan Inggris, dan IS 1343 untuk peraturan India. Setiap peraturan memiliki pendekatan yang berbeda-beda yang menyebabkan perlu adanya penyesuaian di dalam penerapan aturan tersebut. Nilai kehilangan prategang sebesar 5% yang digunakan diambil dari peraturan Inggris BS-2691.

Kehilangan Prategang	Nilai (N/mm ²)
Deformasi elastis beton	2,31
Relaksasi tegangan pada baja	27,7
Penyusutan beton	60
Rangkak beton	2,97

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan Prategang total} &= 92,98 \text{ N/mm}^2 \\ &= 16,78 \% \end{aligned}$$

Kehilangan Prategang Pascatarik

$$P = 500 \text{ N}$$

$$e = 0 \text{ mm}$$

$$A = 3420 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 925965 \text{ mm}^4$$

$$\phi = 1,5 \text{ mm}$$

$$E_{\text{beton}} = 29,75 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{baja}} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_e = 6,67$$

$$\epsilon_{cs} = 300 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_{cc} = 41 \times 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan awal pada baja} &= \frac{P}{A_{\text{tendon}}} \\ &= \frac{490,5}{1,77} \end{aligned}$$

$$= 277,12 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan pada beton, } f_c = \frac{490,5}{3420}$$

$$= 0,143 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan tegangan akibat deformasi elastis beton} = \alpha_e f_c$$

$$= 6,67 \times 0,143$$

$$= 0,957 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan prategang akibat regangan susut} = \epsilon_{cs} \times E_{\text{beton}}$$

$$= (300 \times 10^{-6}) \cdot (200 \times 10^3)$$

$$= 60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan prategang akibat rangkai beton} = \epsilon_{cc} \times f_c \times E_s$$

$$= (41 \times 10^{-6}) \cdot (0,143) \cdot (200 \times 10^3)$$

$$= 1,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kehilangan akibat relaksasi baja} = 5\%$$

Kehilangan akibat relaksasi tegangan pada baja biasanya ditentukan berdasarkan standar yang berlaku di suatu negara seperti dalam RSNI T-12-2004 untuk peraturan Indonesia, BS-2691 untuk peraturan Inggris, dan IS 1343 untuk peraturan India. Setiap peraturan memiliki pendekatan yang berbeda-beda yang menyebabkan perlu adanya penyesuaian di dalam penerapan aturan tersebut. Nilai kehilangan prategang sebesar 5% yang digunakan diambil dari peraturan Inggris BS-2691.

$$\text{Total kehilangan} = 27,42\%$$

Kehilangan Prategang	Nilai (N/mm ²)
Deformasi elastis beton	0,96
Relaksasi tegangan pada baja	27,7
Penyusutan beton	60
Rangkai beton	2,97

$$\text{Kehilangan Prategang total} = 92,98 \text{ N/mm}^2$$

$$= 16,78 \%$$

LAMPIRAN 5 : PERHITUNGAN PANJANG TRANSMISI

Bentangan balok = 1120 mm

Diameter kawat yang dipakai = 1,5 mm

Koefisien gesekan antara baja dan beton = 0,1

Rasio poisson untuk baja = 0,3

Rasio poisson untuk beton = 0,2

$E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$

$E_c = 29,75 \text{ kN/mm}^2$

Tegangan awal pada baja = 554 N/mm^2

Tegangan efektif pada baja = $461,02 \text{ N/mm}^2$

Dengan memakai persamaan Hoyer,

$$L_t = \frac{\phi}{2\mu} (1 + \nu_c) \left(\frac{\alpha_e}{\nu_s} - \frac{f_{pi}}{E_c} \right) \left(\frac{f_{pe}}{2f_{pi} - f_{pe}} \right)$$

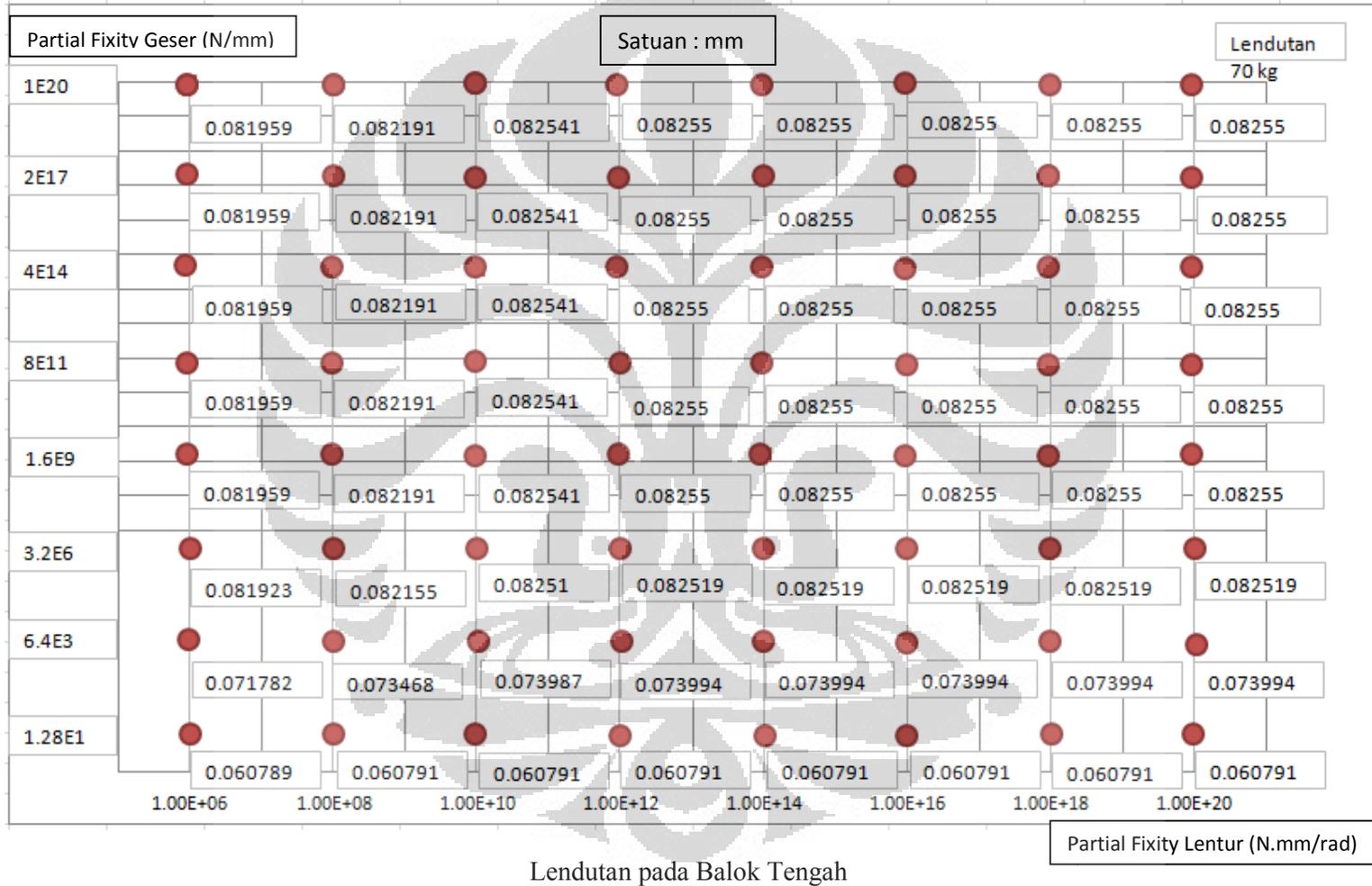
$$L_t = \frac{1,5}{2 \cdot 0,1} (1 + 0,2) \left(\frac{6,67}{0,3} - \frac{554}{29,75 \cdot 1000} \right) \left(\frac{461,02}{2 \cdot 554 - 461,02} \right)$$

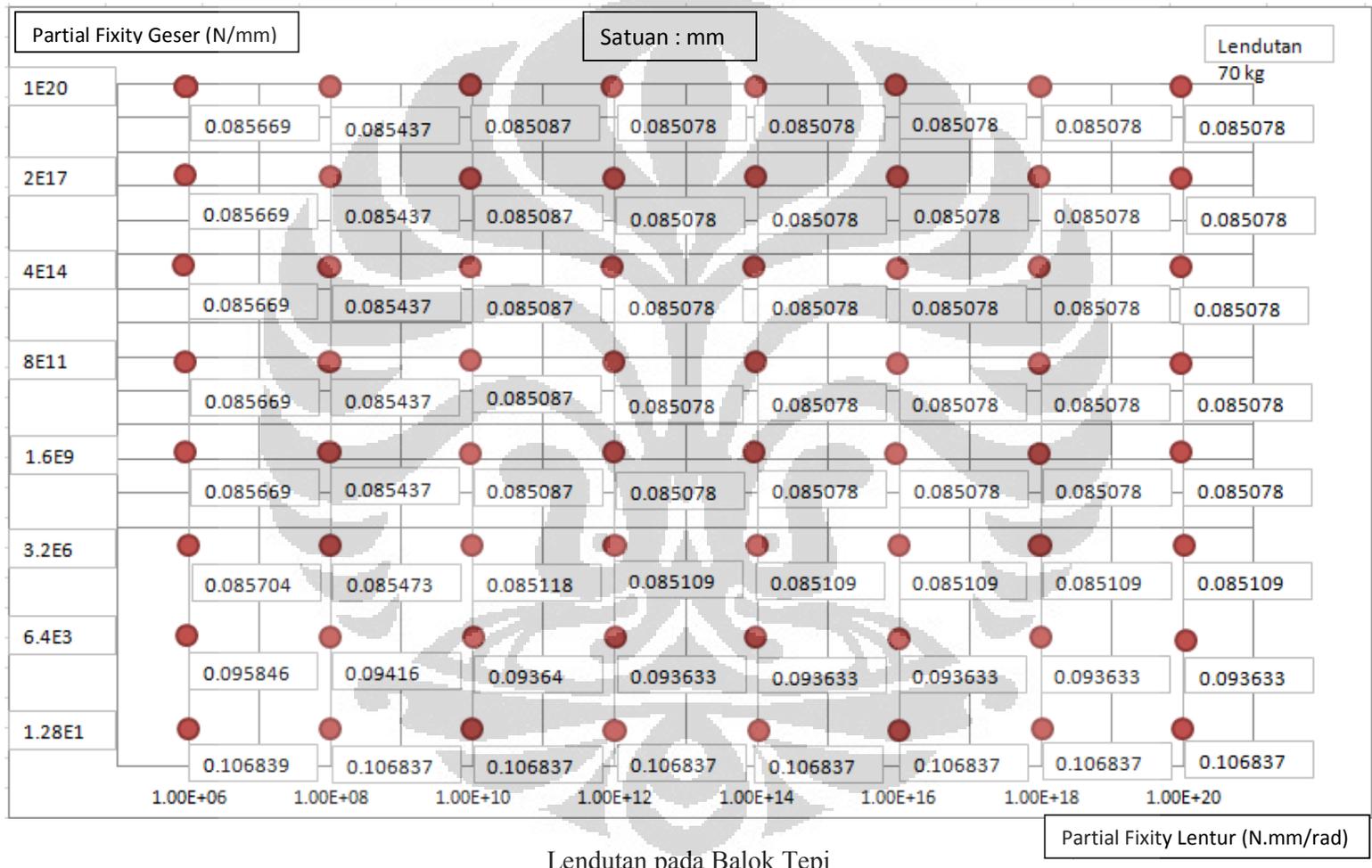
$L_t = 142,46 \text{ mm} \approx 140 \text{ mm}$

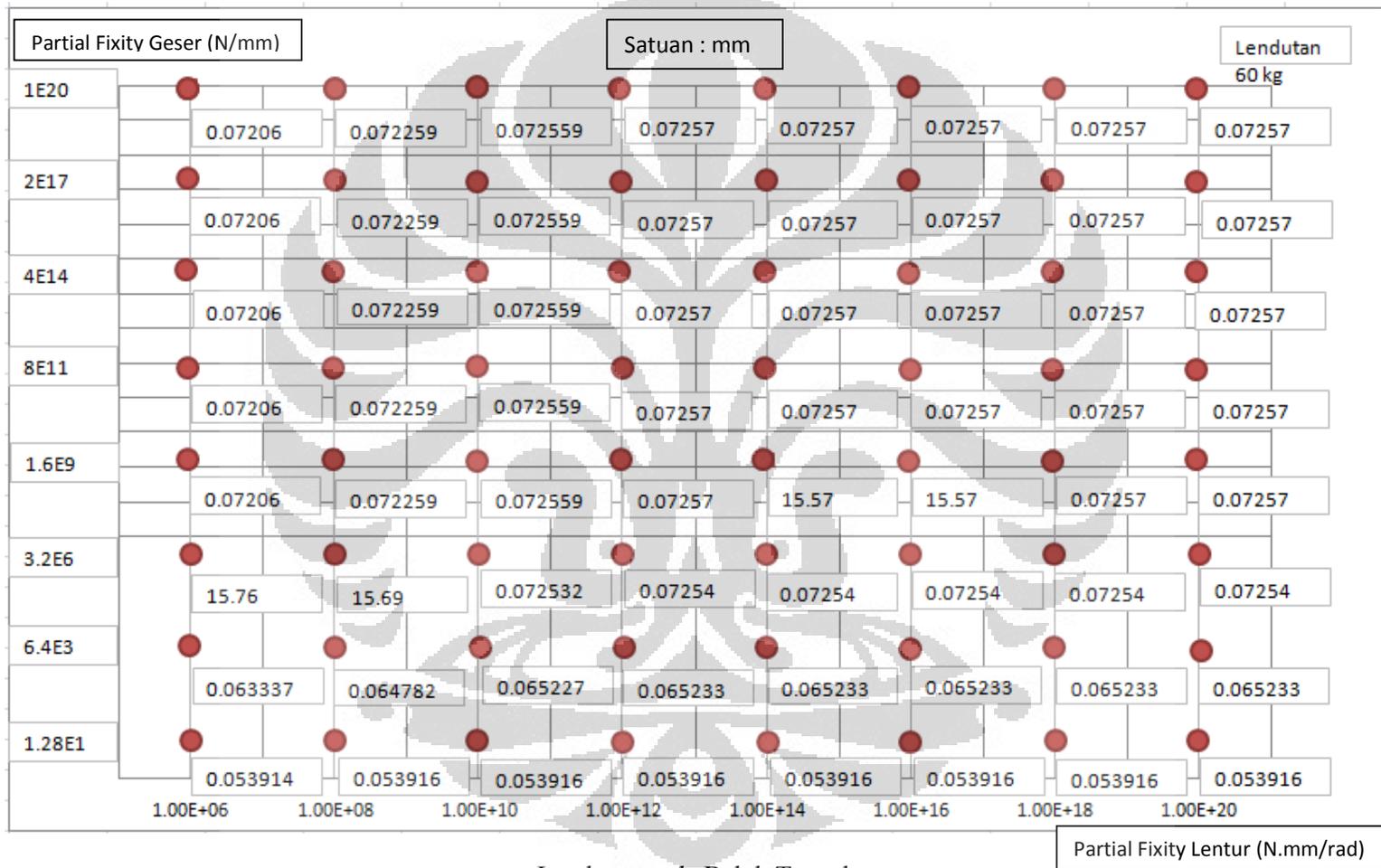
LAMPIRAN 5 : LENDUTAN HASIL PERCOBAAN

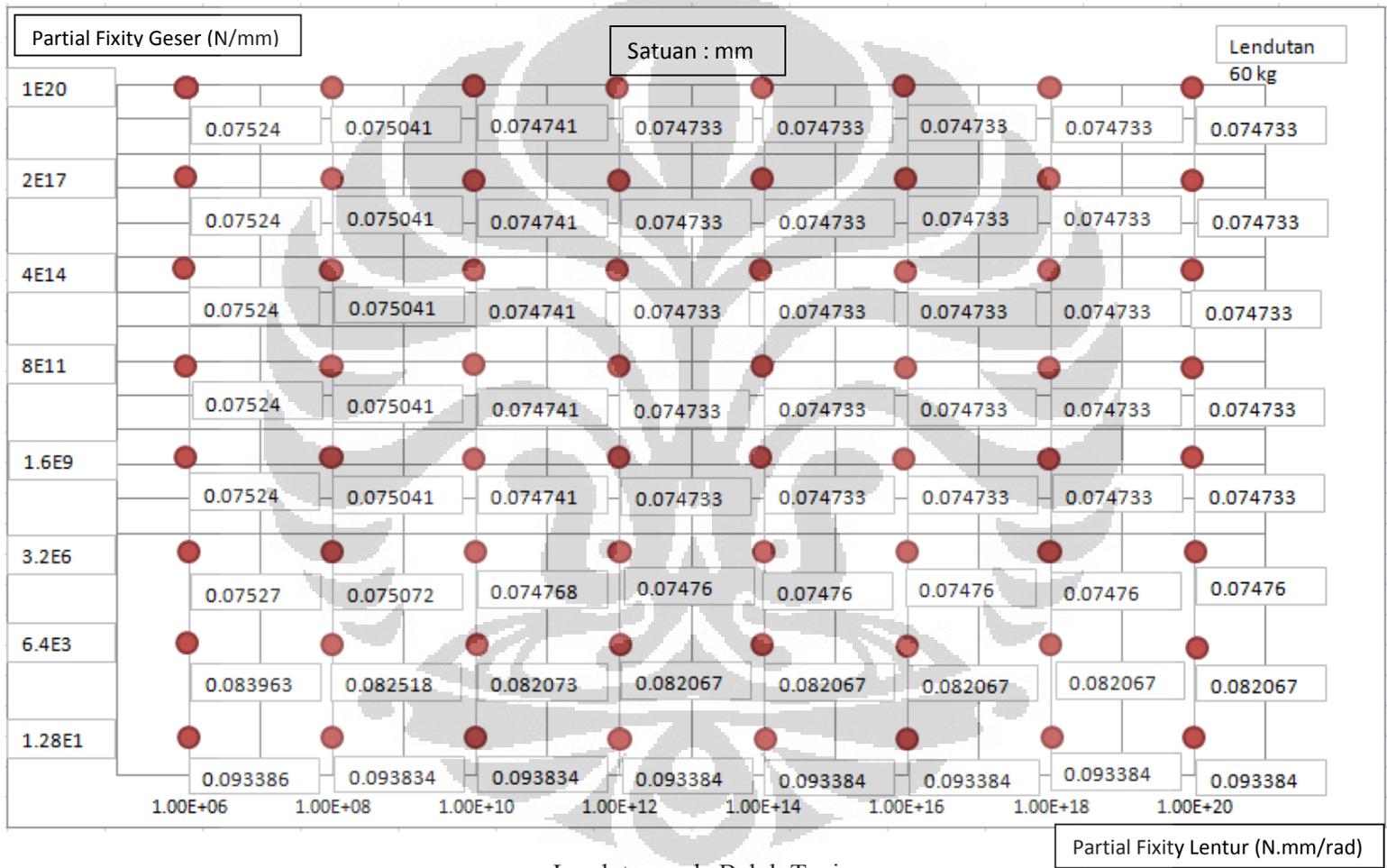
Beban (kg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
0	0	0	0
10	18	16	15
0	0	0	0
10	18	16	13
20	38	32	30
10	20	16	15
0	0	0	0
10	15	14	14
20	35	33	34
30	52	50	56
20	36	35	38
10	16	15	16
0	-1	-1	-1
10	14	11	14
20	36	34	34
30	55	54	50
40	77	75	75
30	56	56	56
20	33	32	31
10	18	18	18
0	-8	-7	-5
10	14	11	14
20	36	34	34
30	55	54	50
40	77	75	75
50	82	86	84
40	77	75	75
30	55	54	50
20	36	34	34
10	14	11	14
0	-8	-7	-5
10	14	11	14
20	36	34	34
30	55	54	50
40	77	75	75
50	82	86	84
60	90	95	99

50	82	86	84
40	77	75	75
30	55	54	50
20	36	34	34
10	14	11	14
0	-9	-5	-4
10	14	11	14
20	36	34	34
30	55	54	50
40	77	75	75
50	82	86	84
60	90	95	99
70	120	114	118
60	90	95	99
50	82	86	84
40	77	75	75
30	55	54	50
20	36	34	34
10	14	11	14
0	-20	-18	-14
10	14	11	14
20	36	34	34
30	55	54	50
40	77	75	75
50	82	86	84
60	90	95	99
70	120	114	118
80	129	128	125
70	120	114	118
60	90	95	99
50	82	86	84
40	77	75	75
30	55	54	50
20	36	34	34
10	14	11	14
0	-20	-18	-14

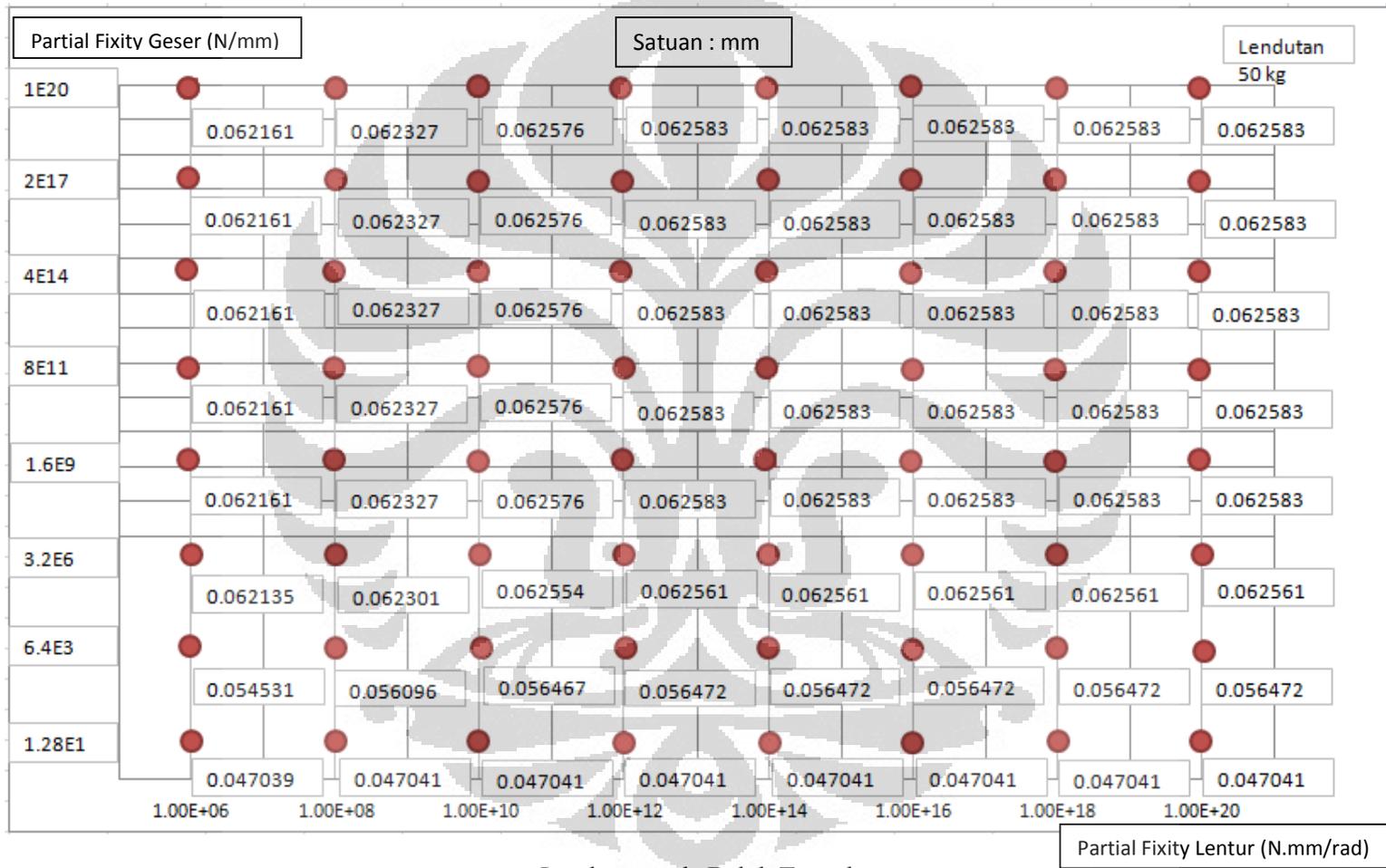




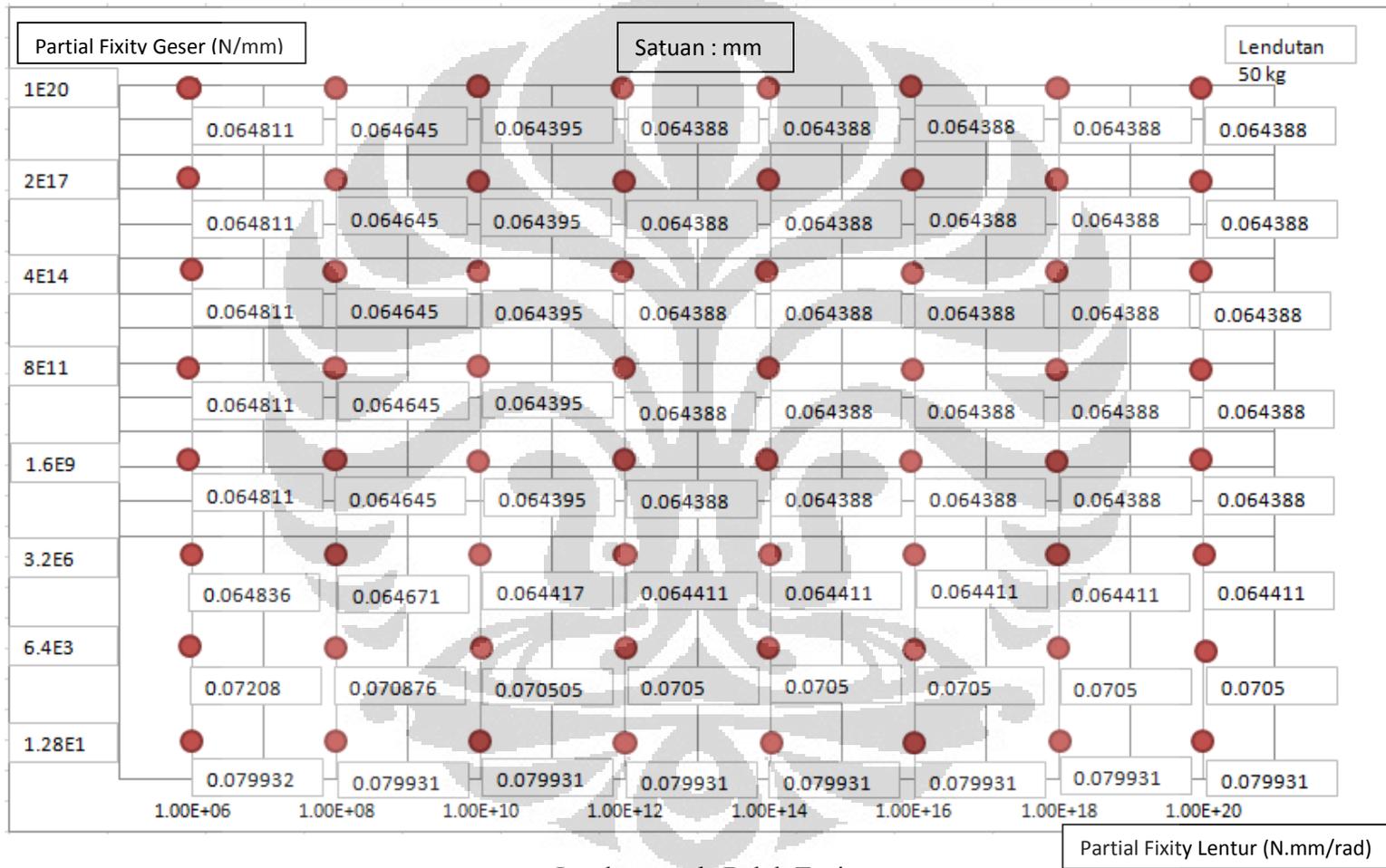




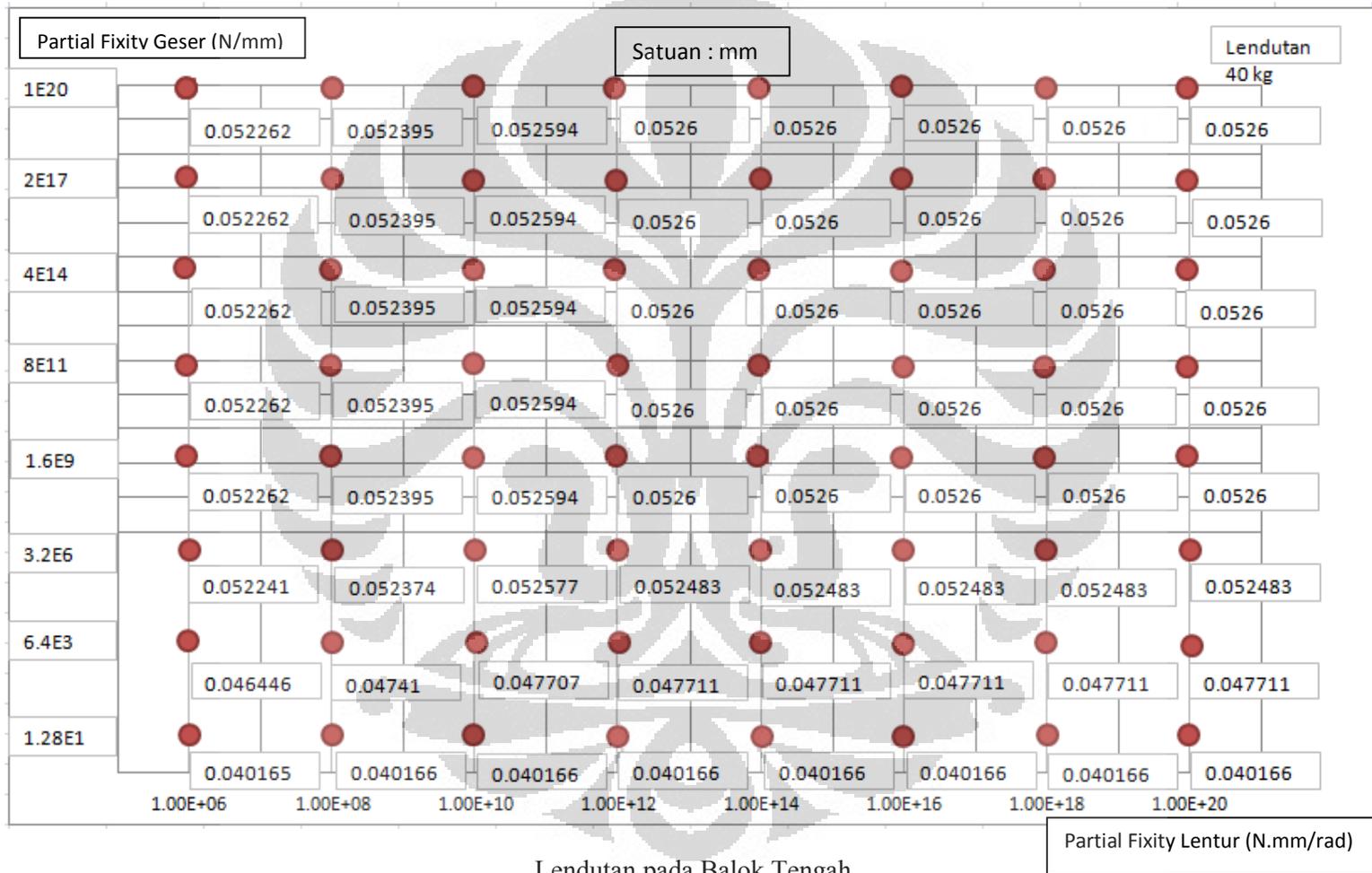
Lendutan pada Balok Tepi

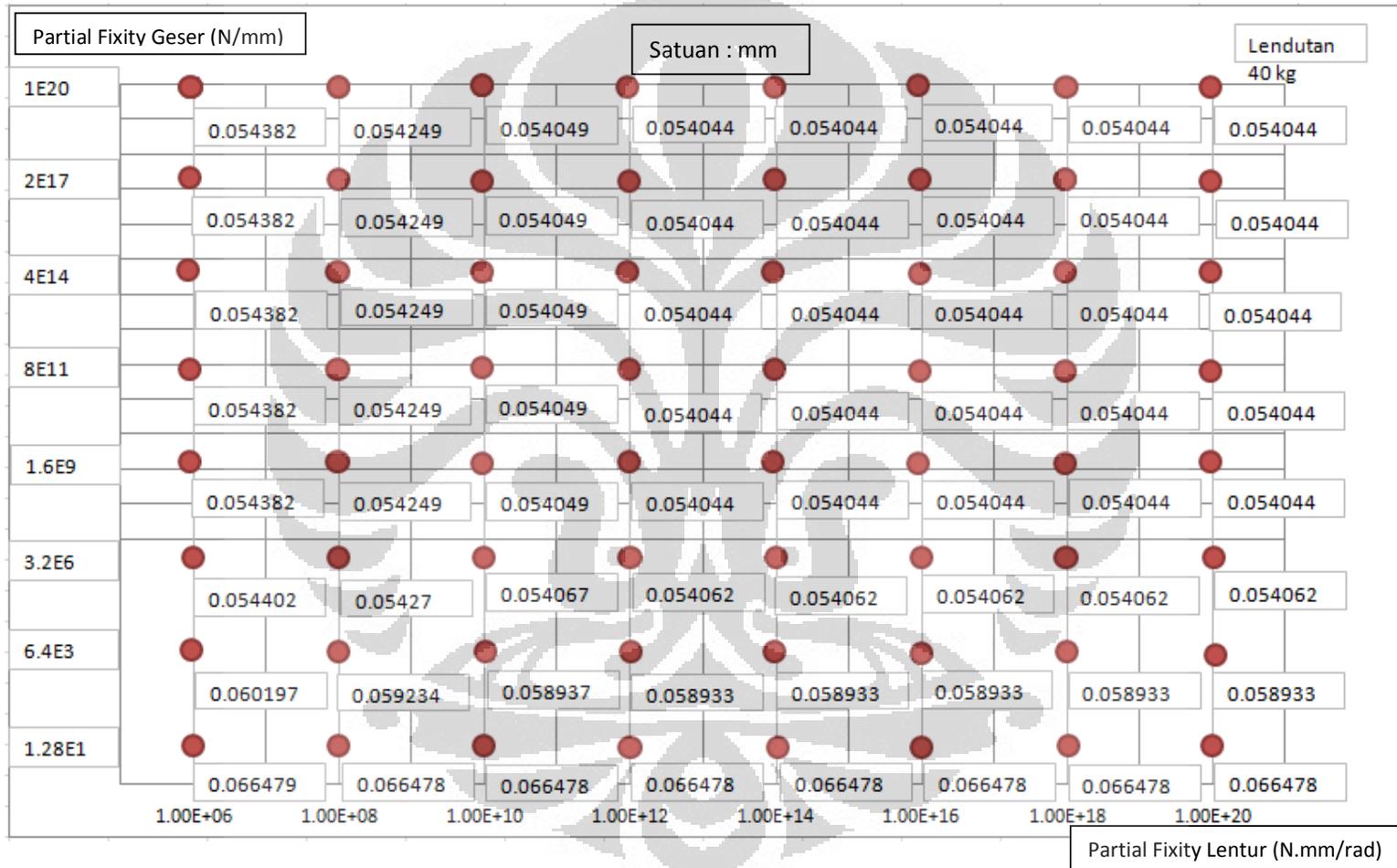


Lendutan pada Balok Tengah

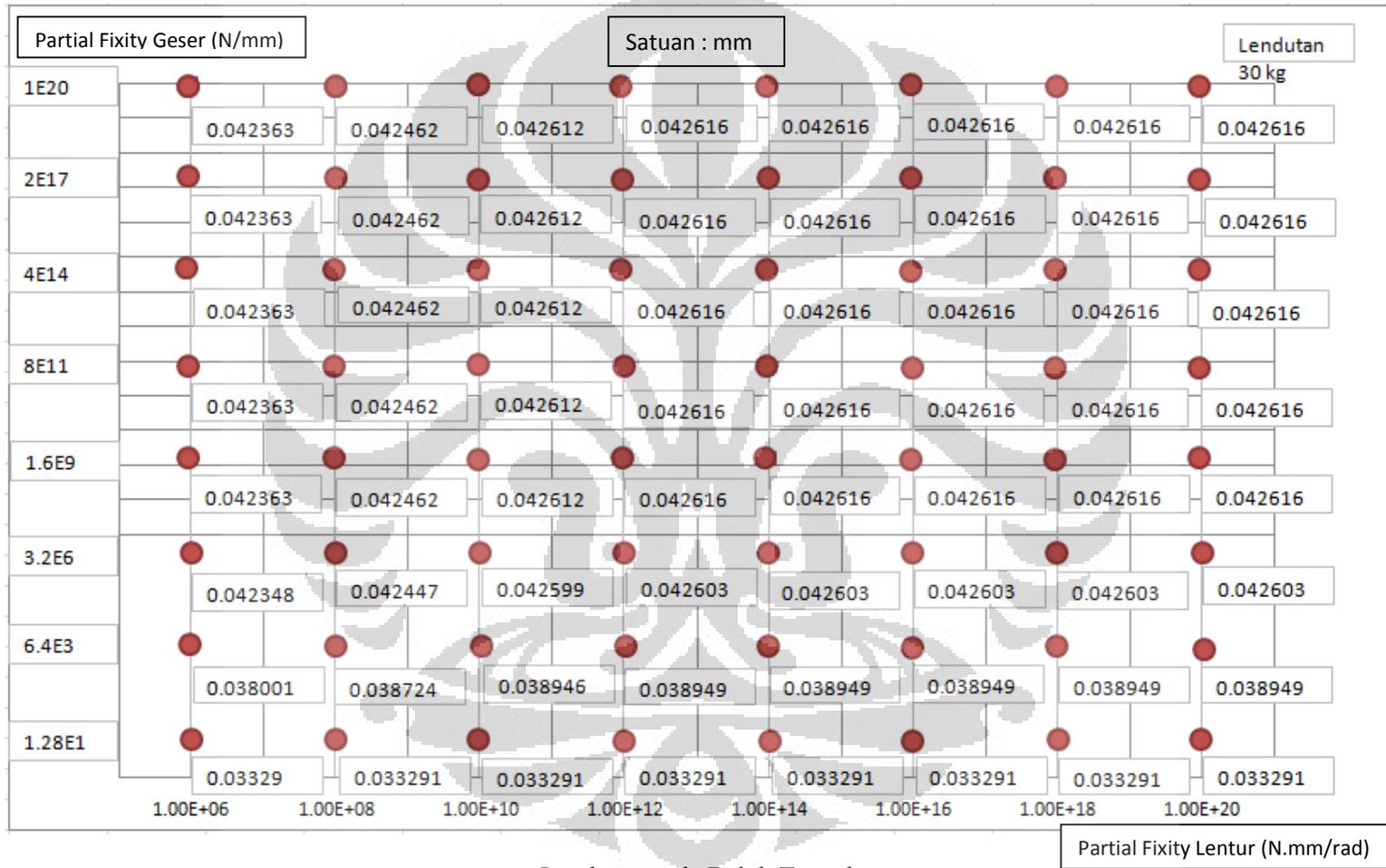


Lendutan pada Balok Tepi

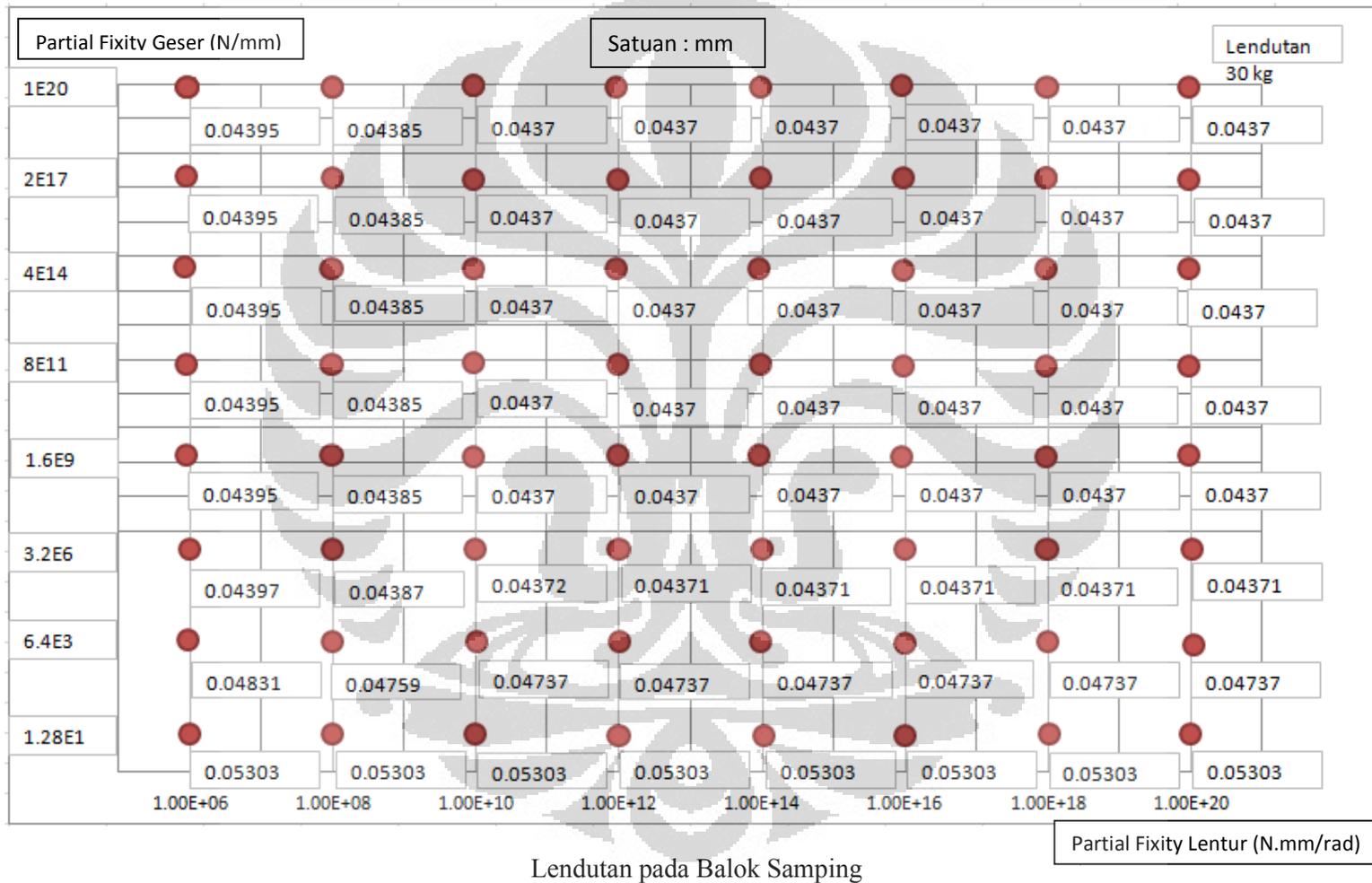


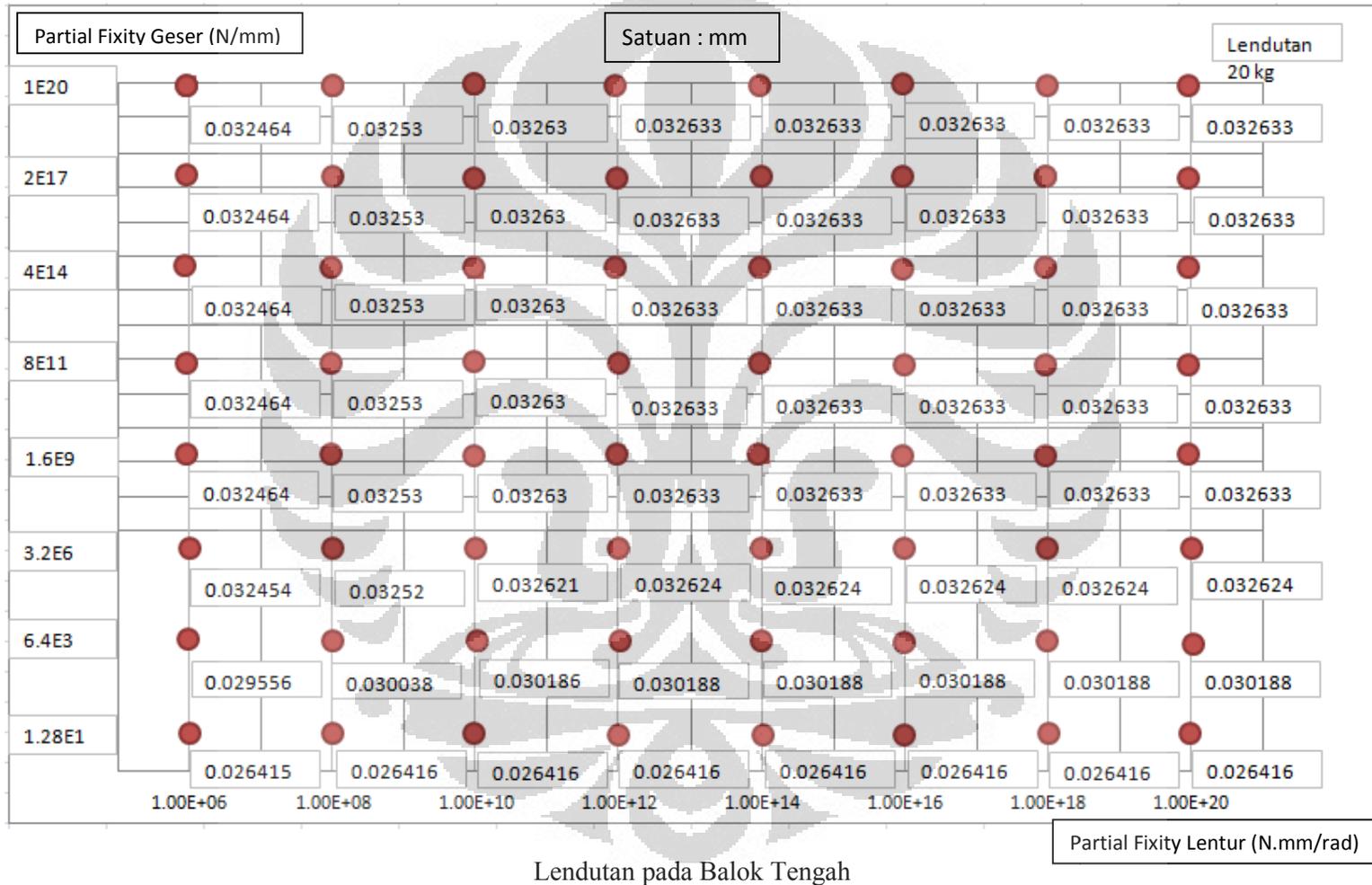


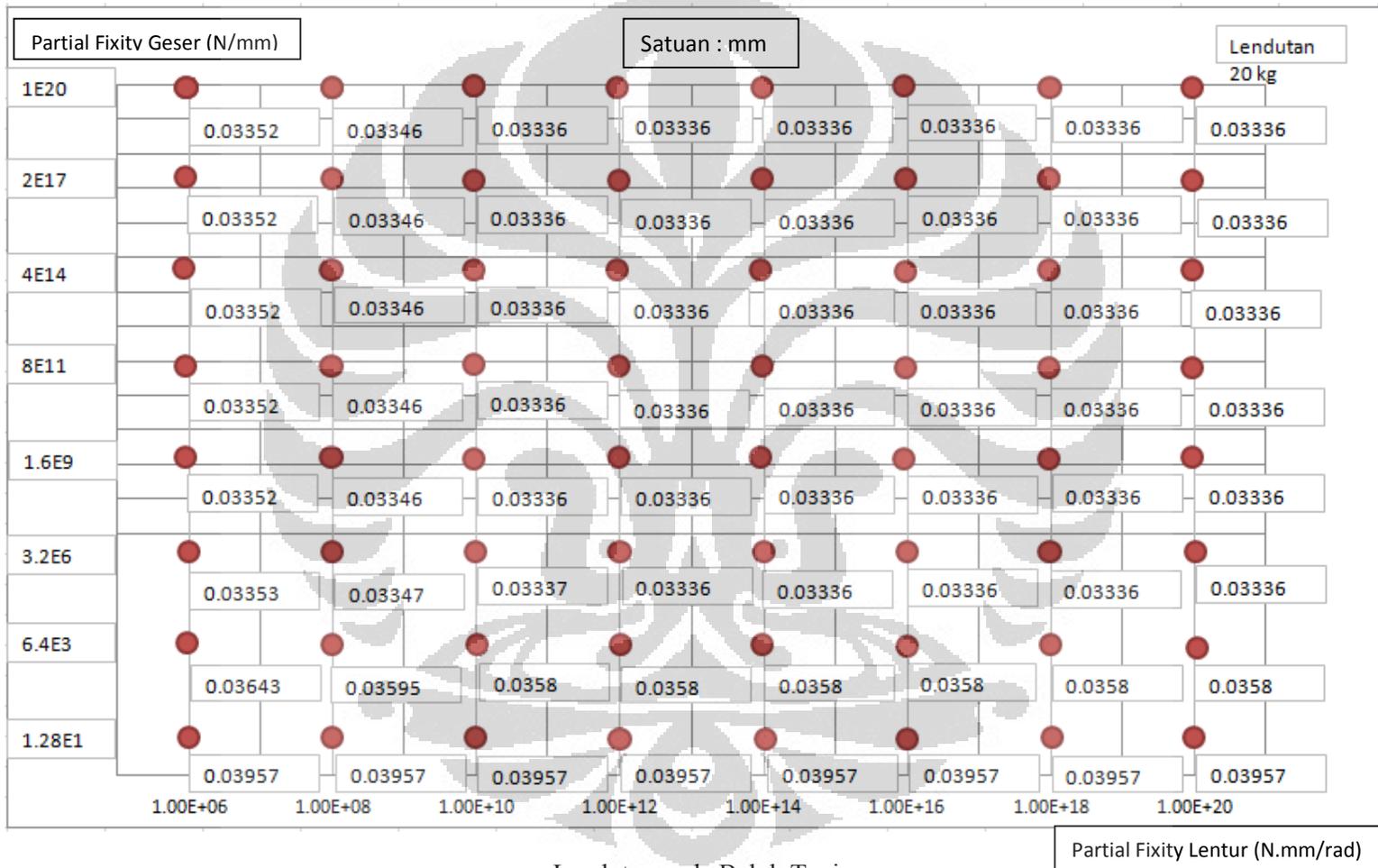
Lendutan pada Balok Tepi

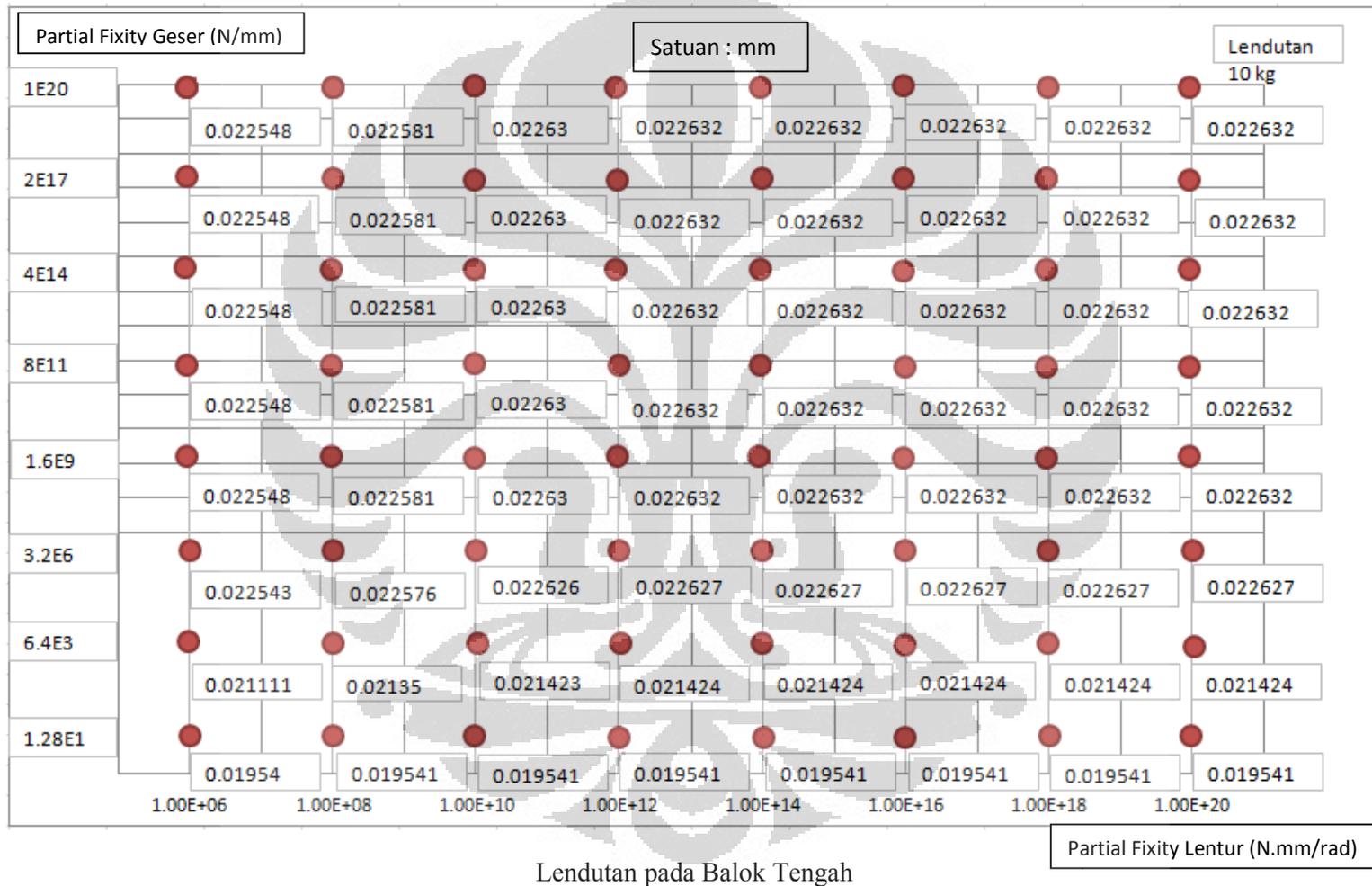


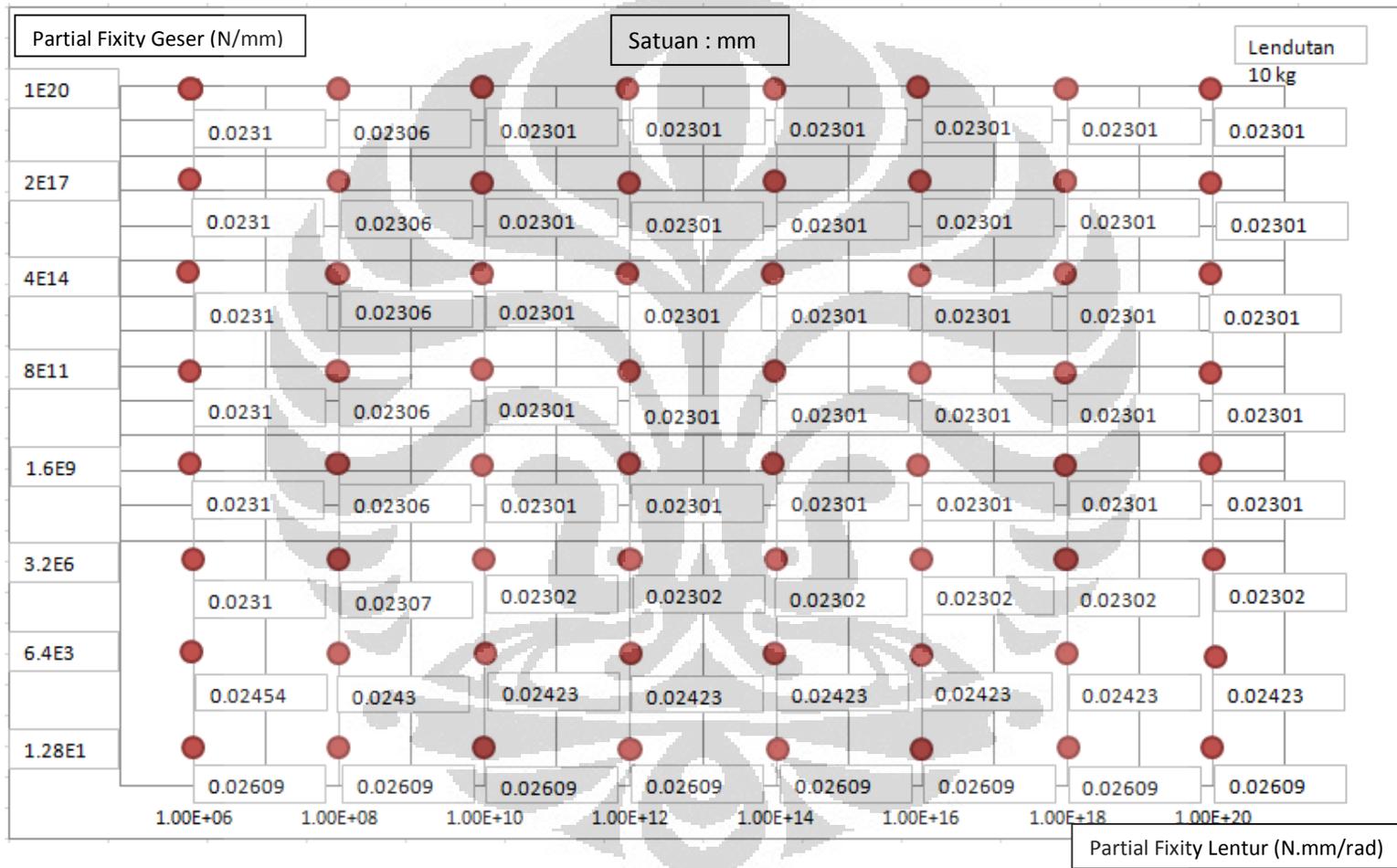
Lendutan pada Balok Tengah



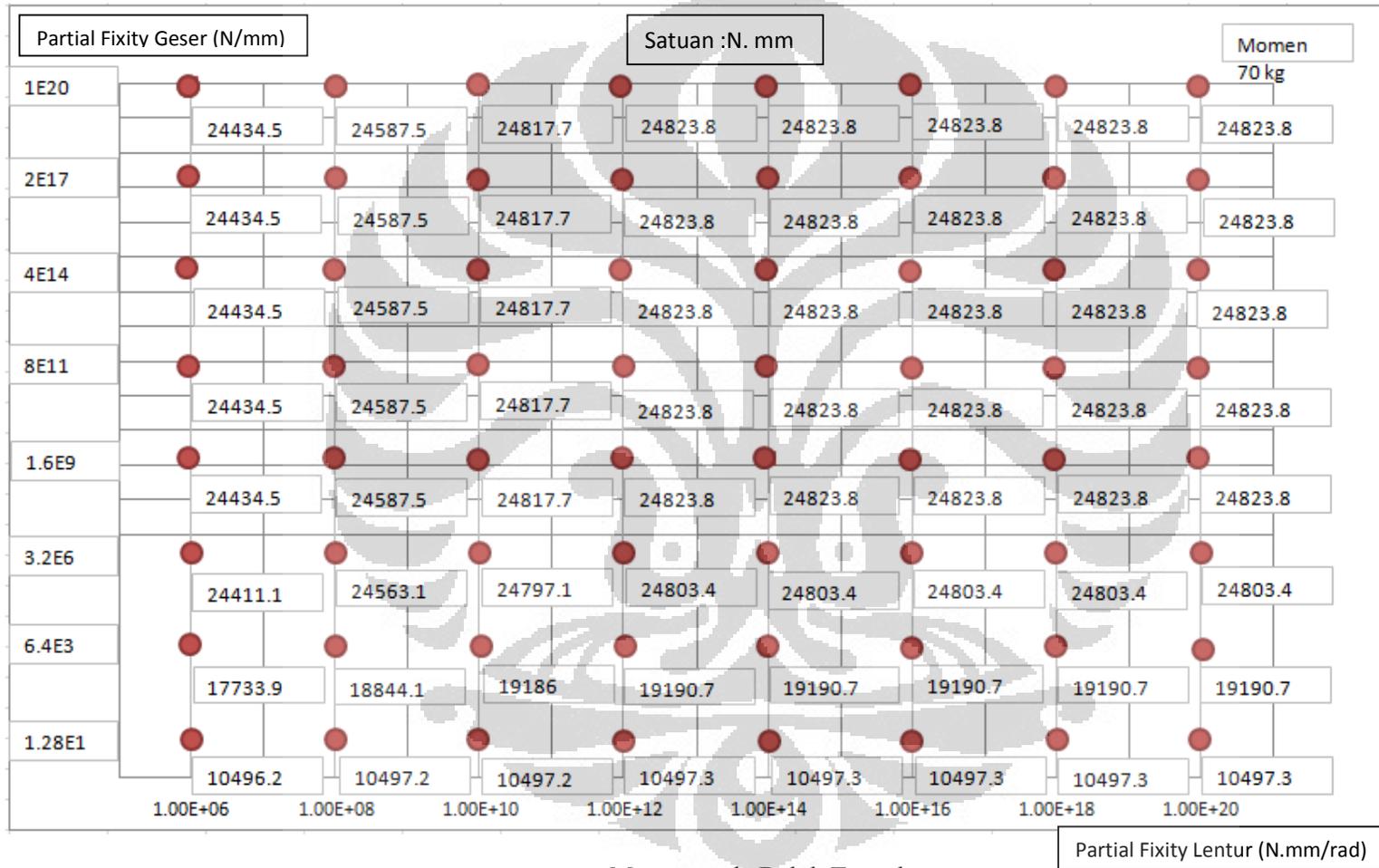




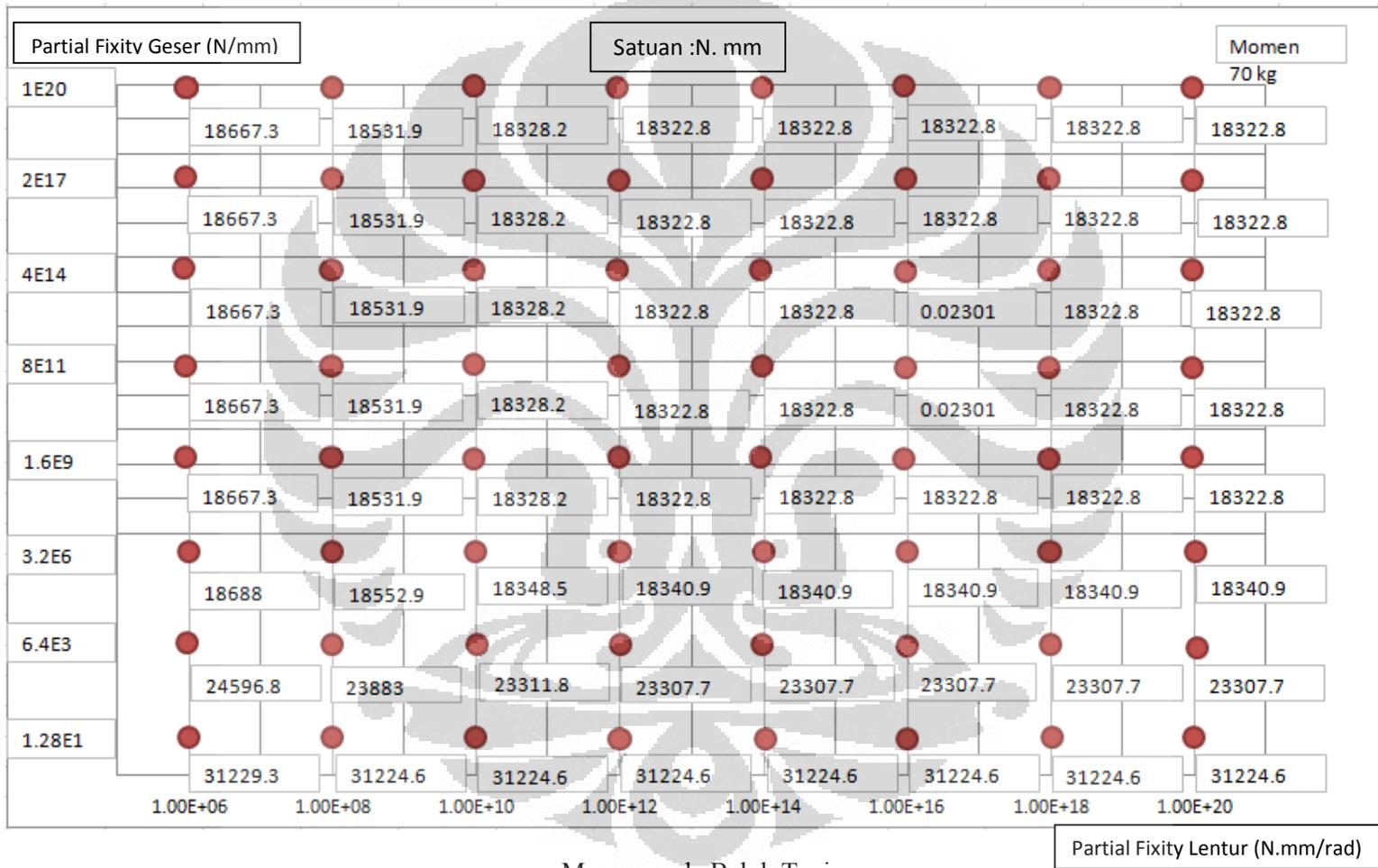


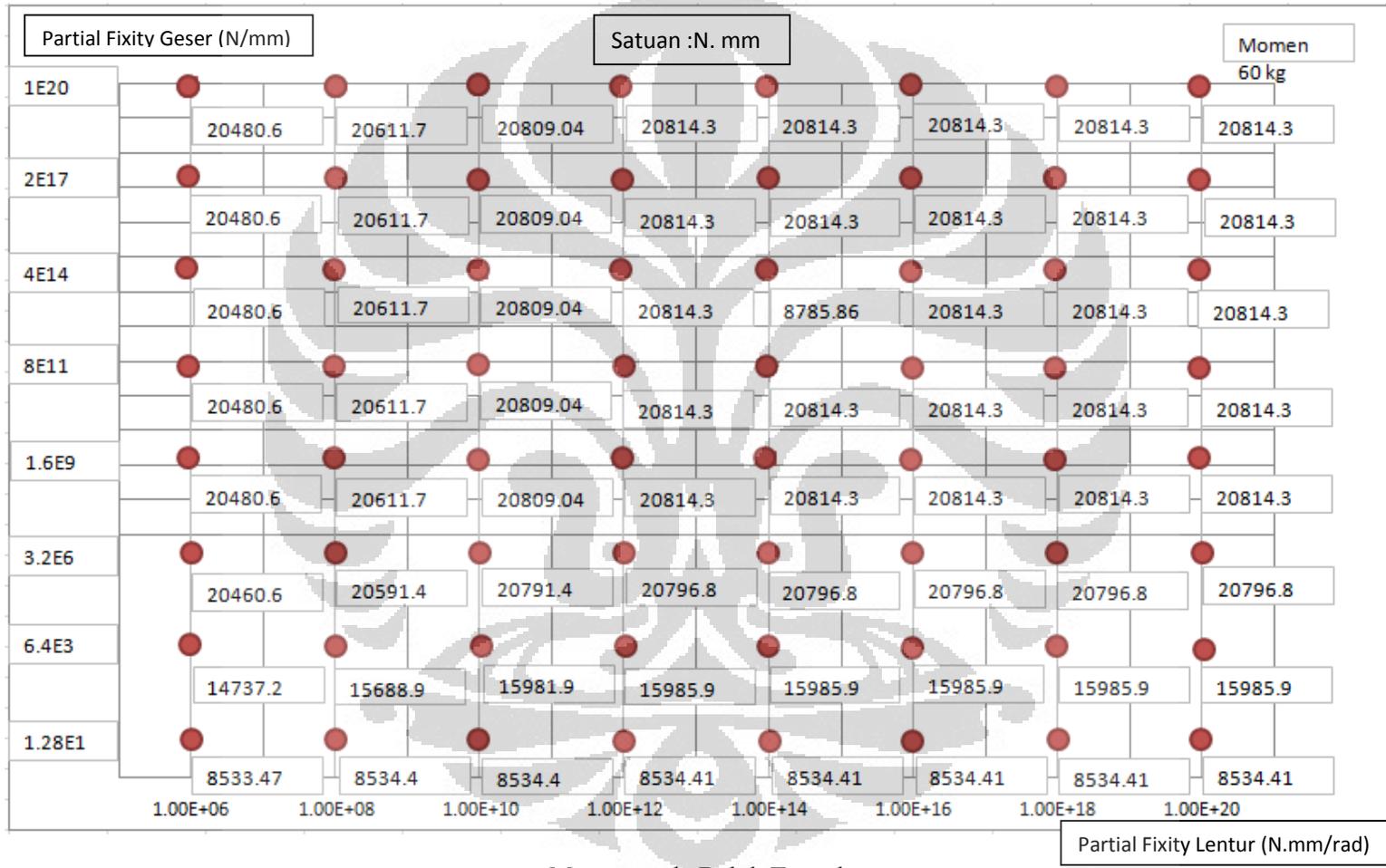


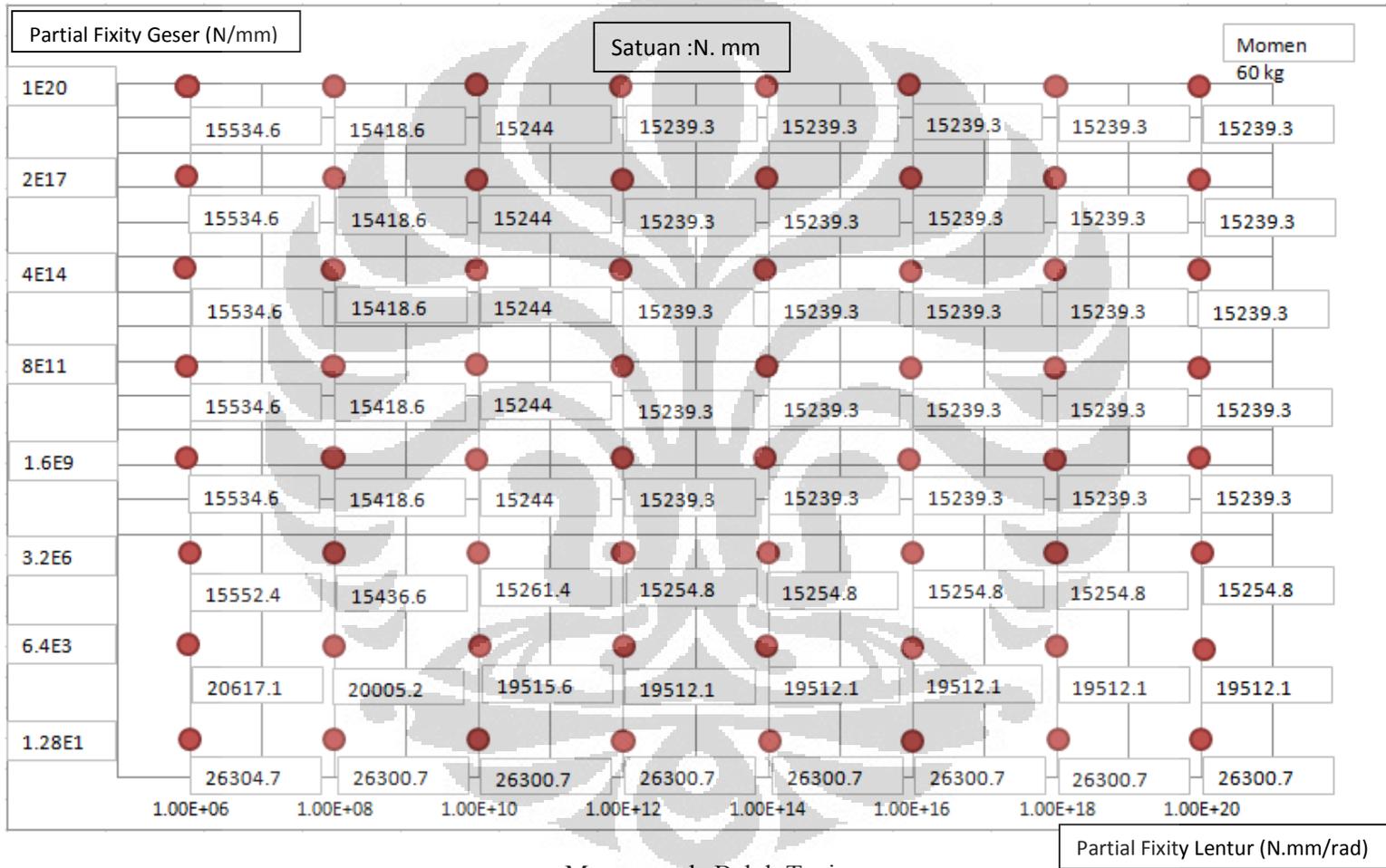
Lendutan pada Balok Tepi

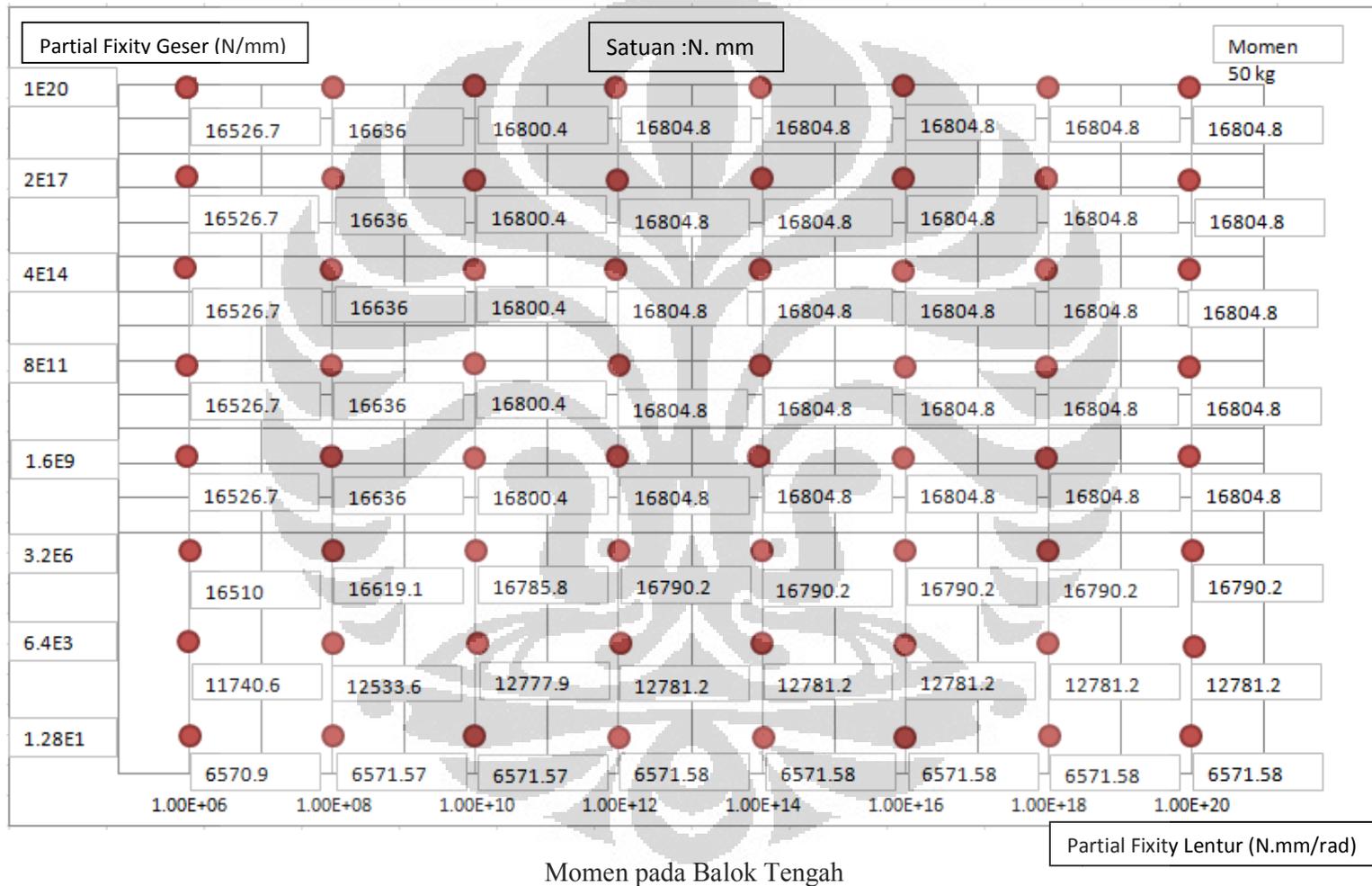


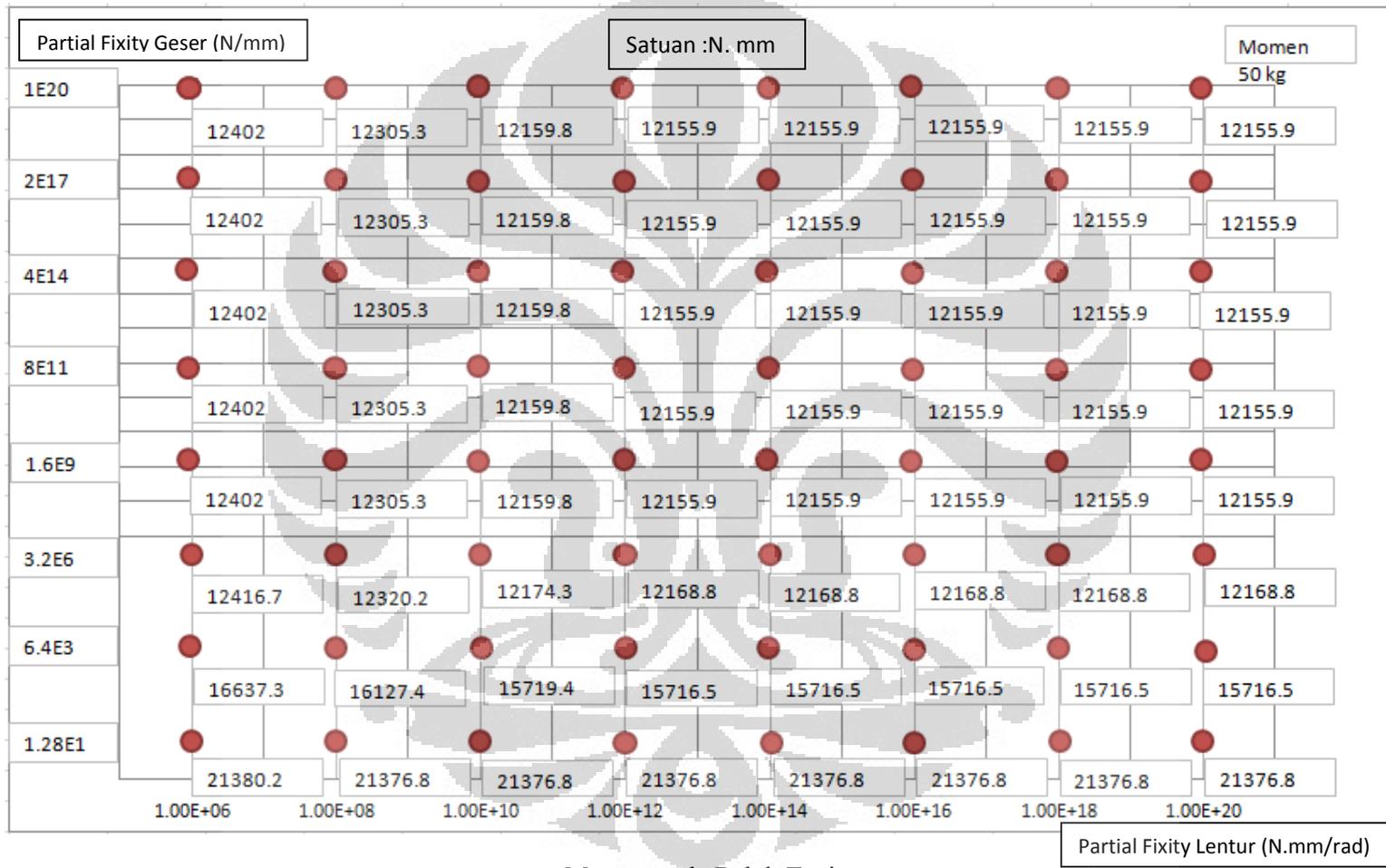
Momen pada Balok Tengah



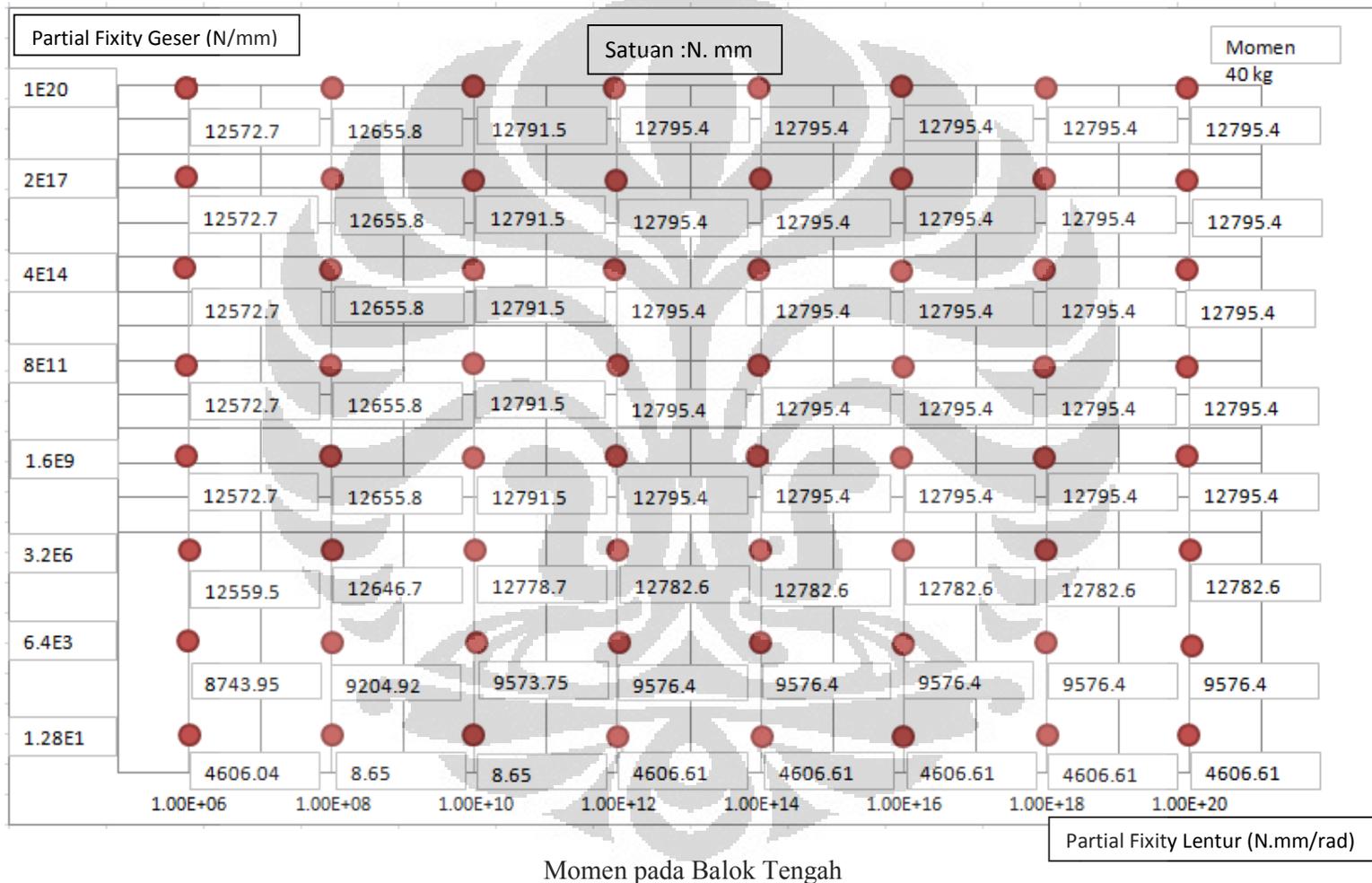


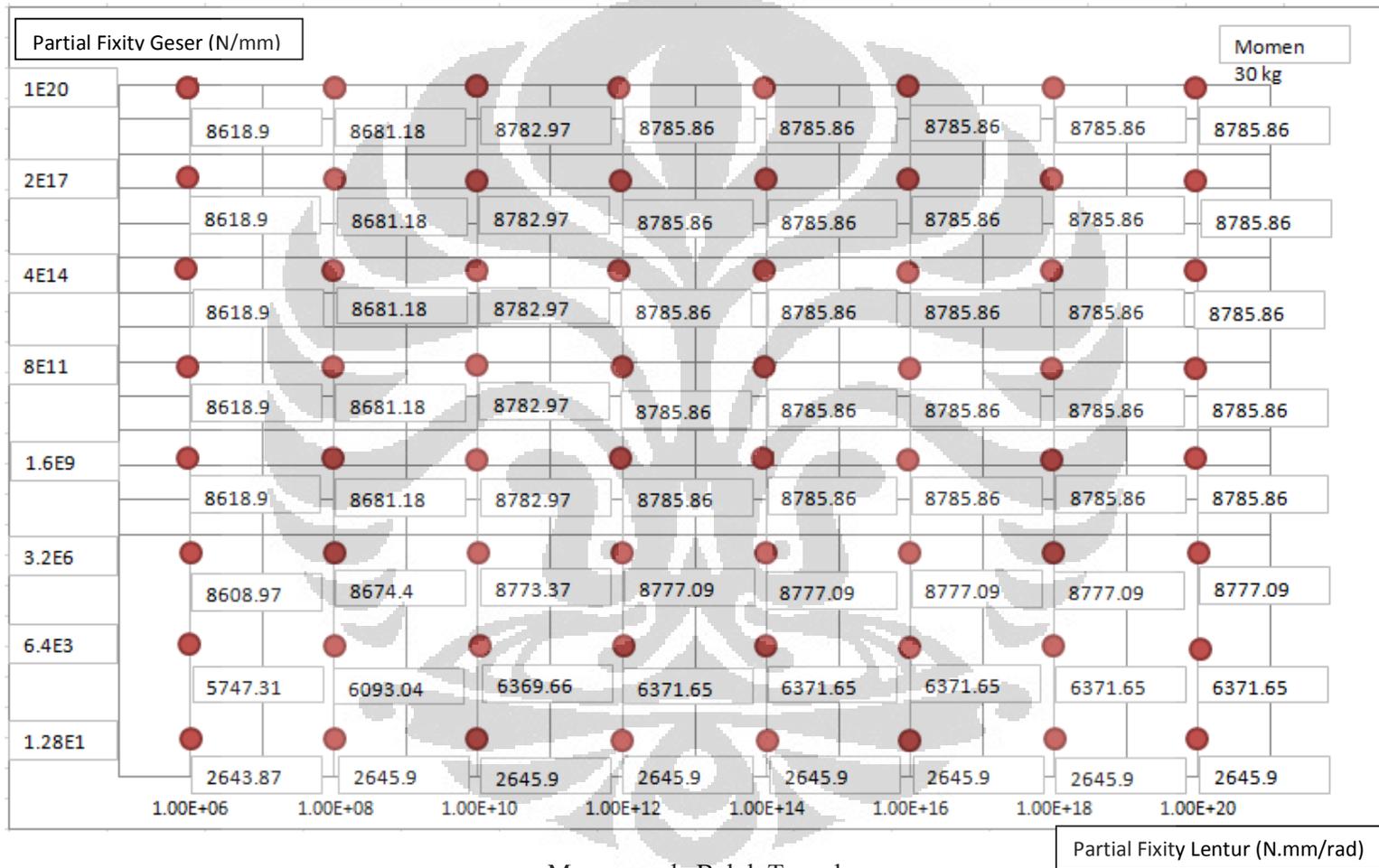


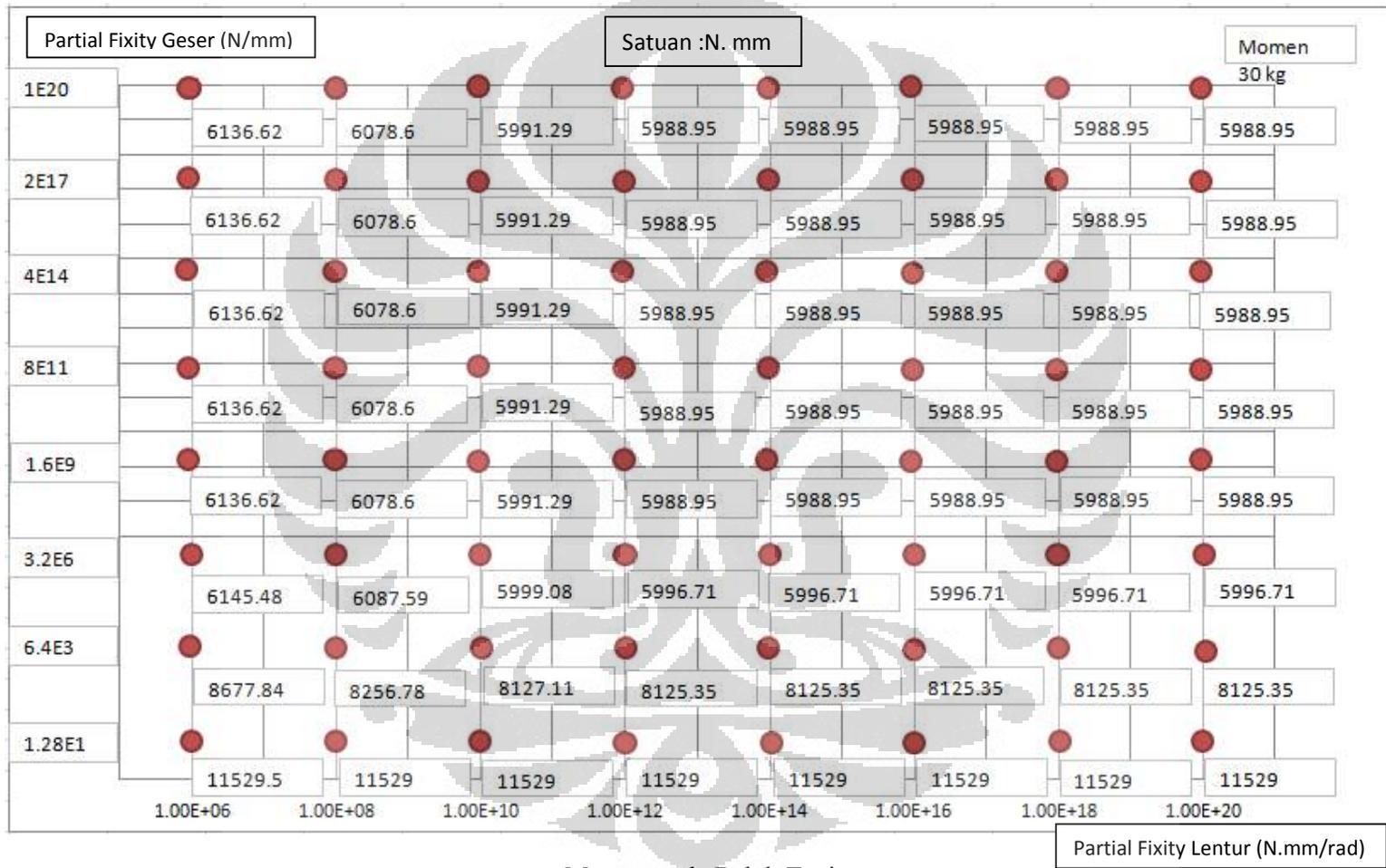




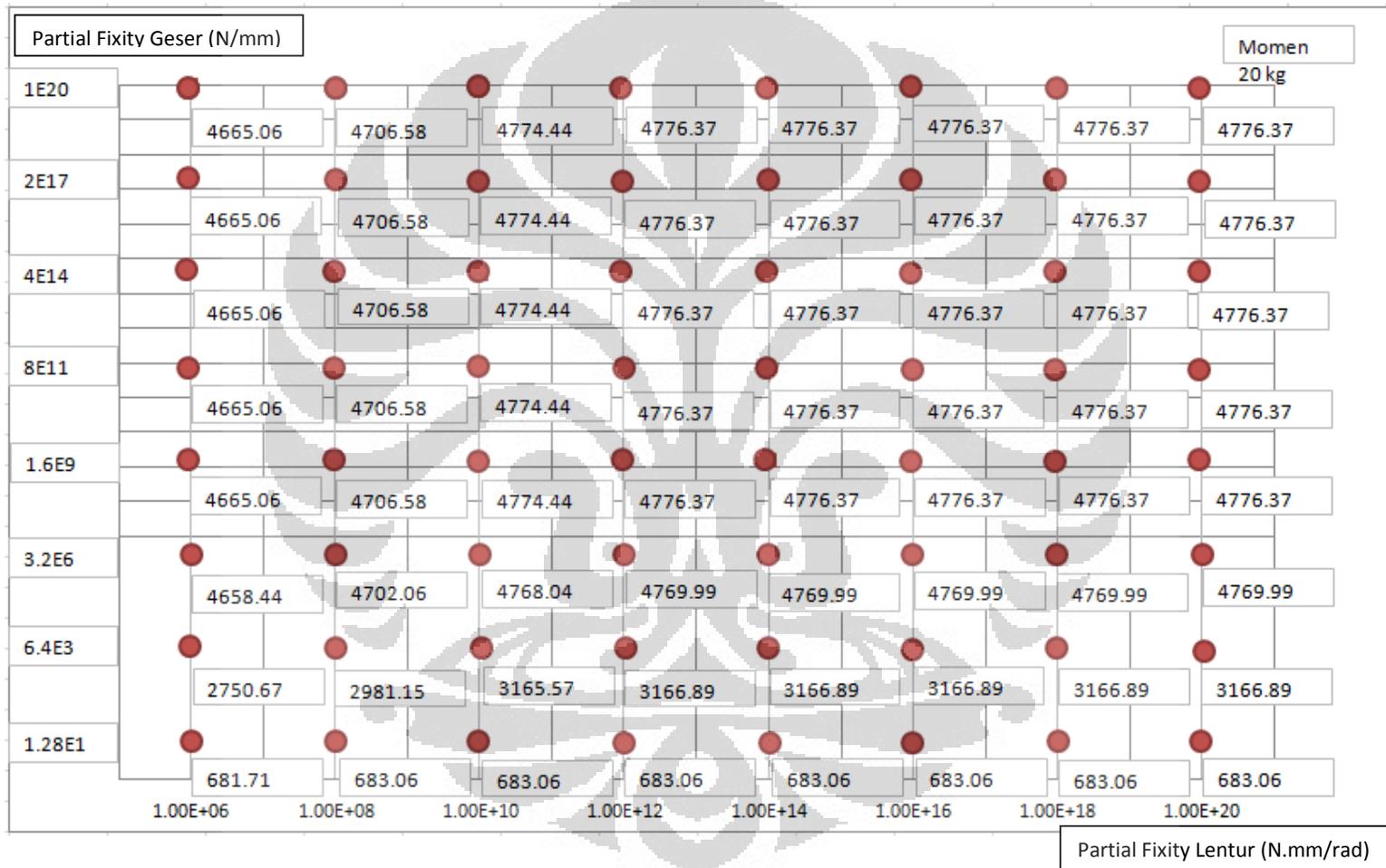
Momen pada Balok Tepi

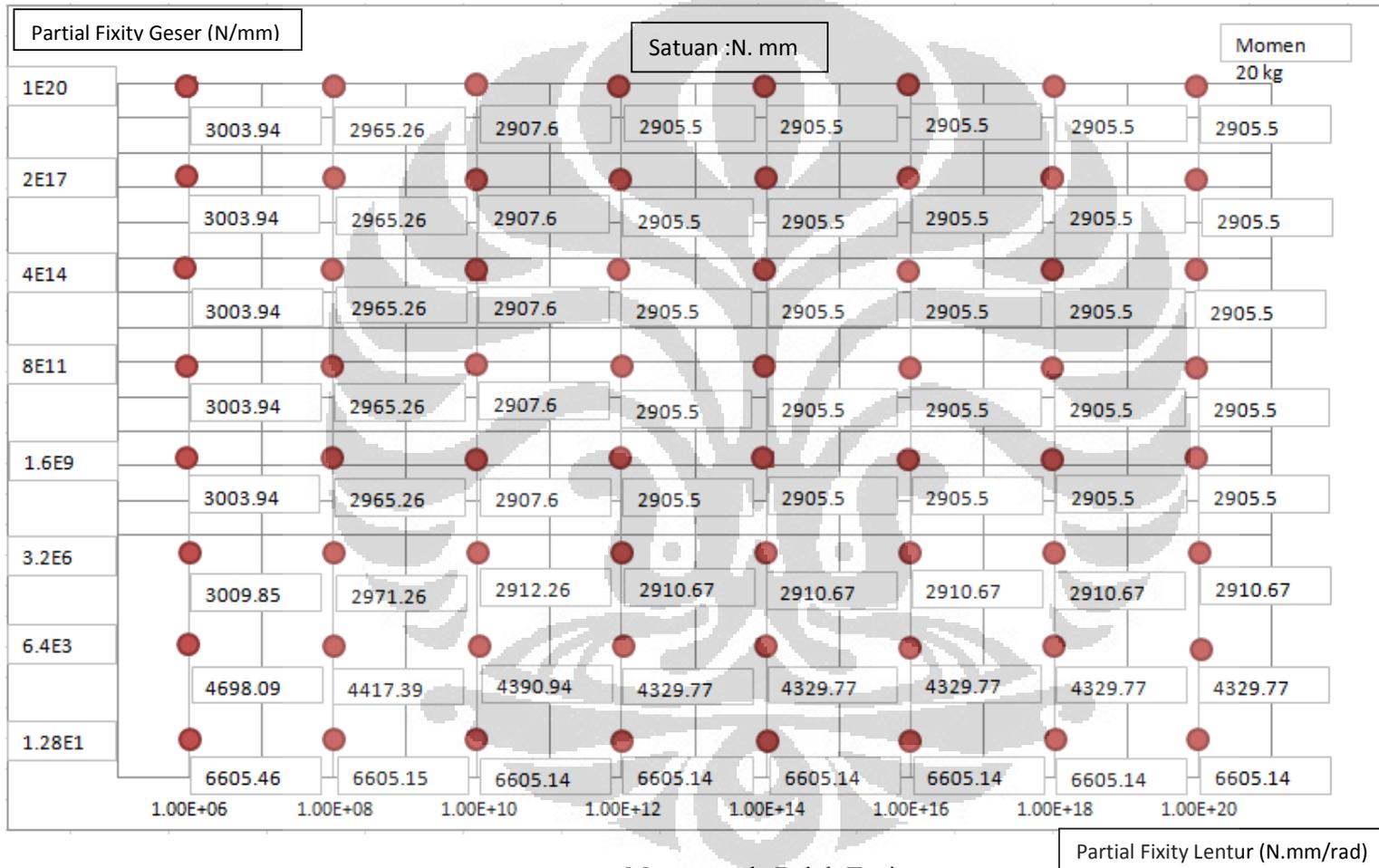




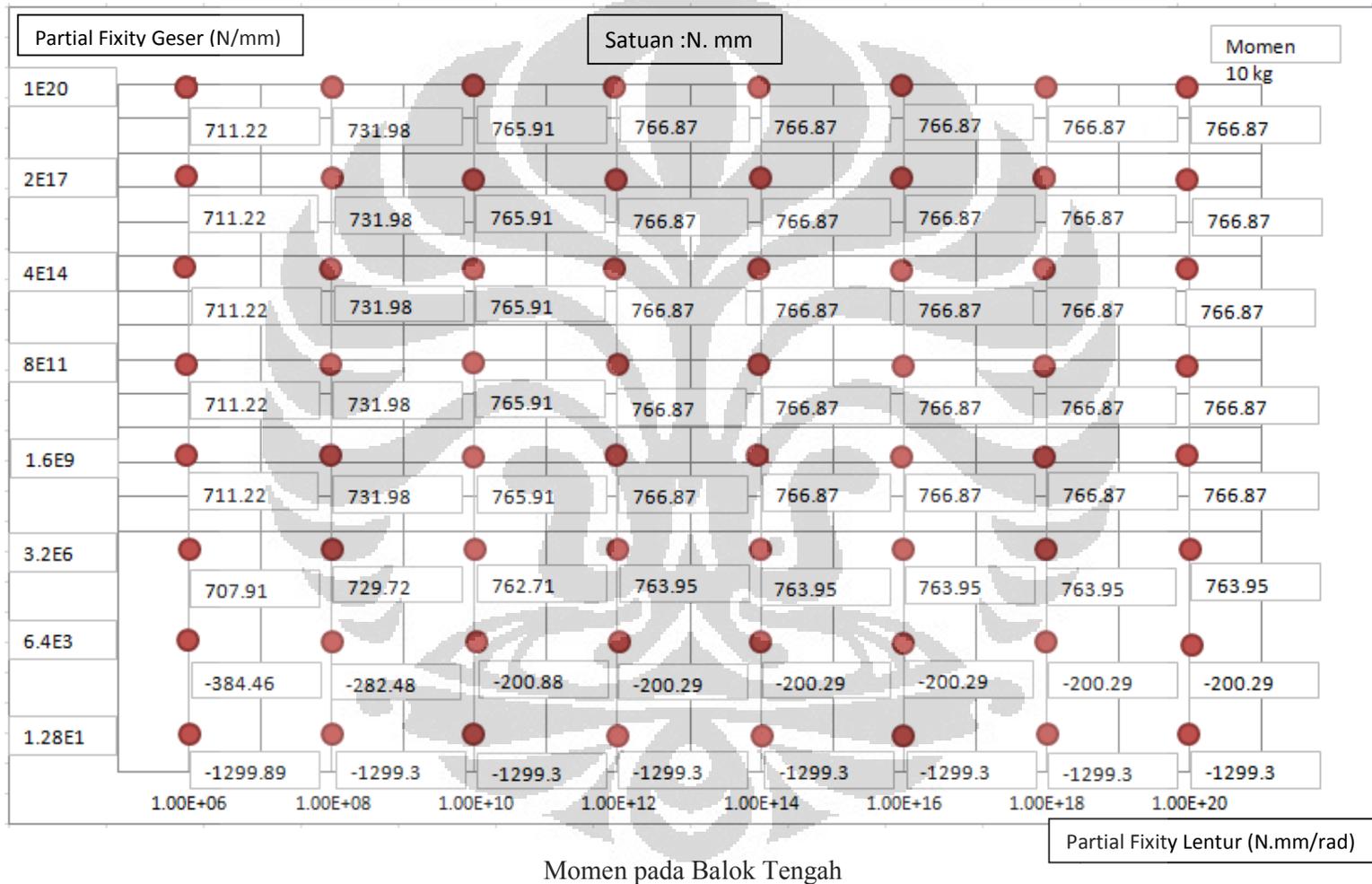


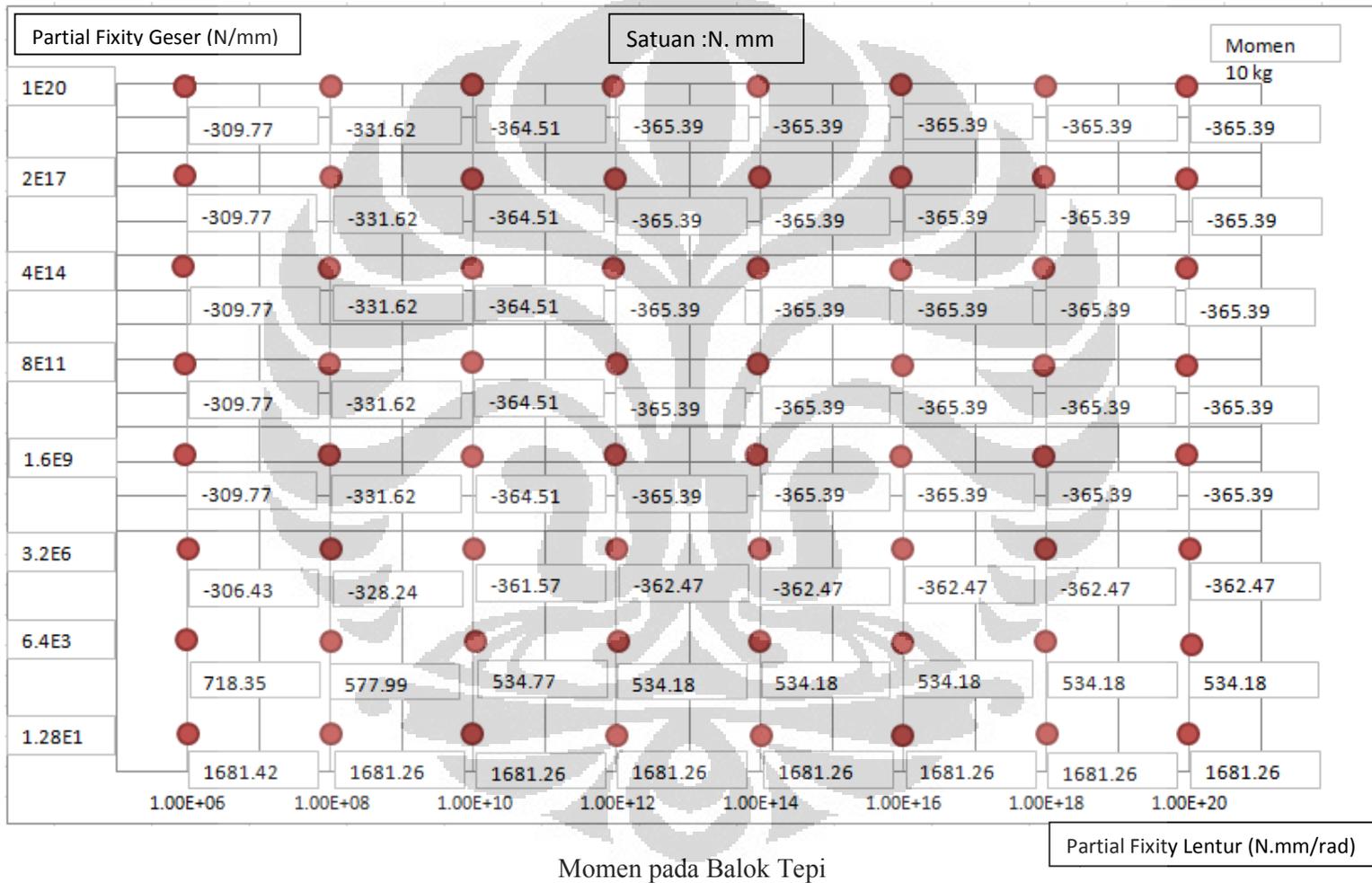
Momen pada Balok Tepi

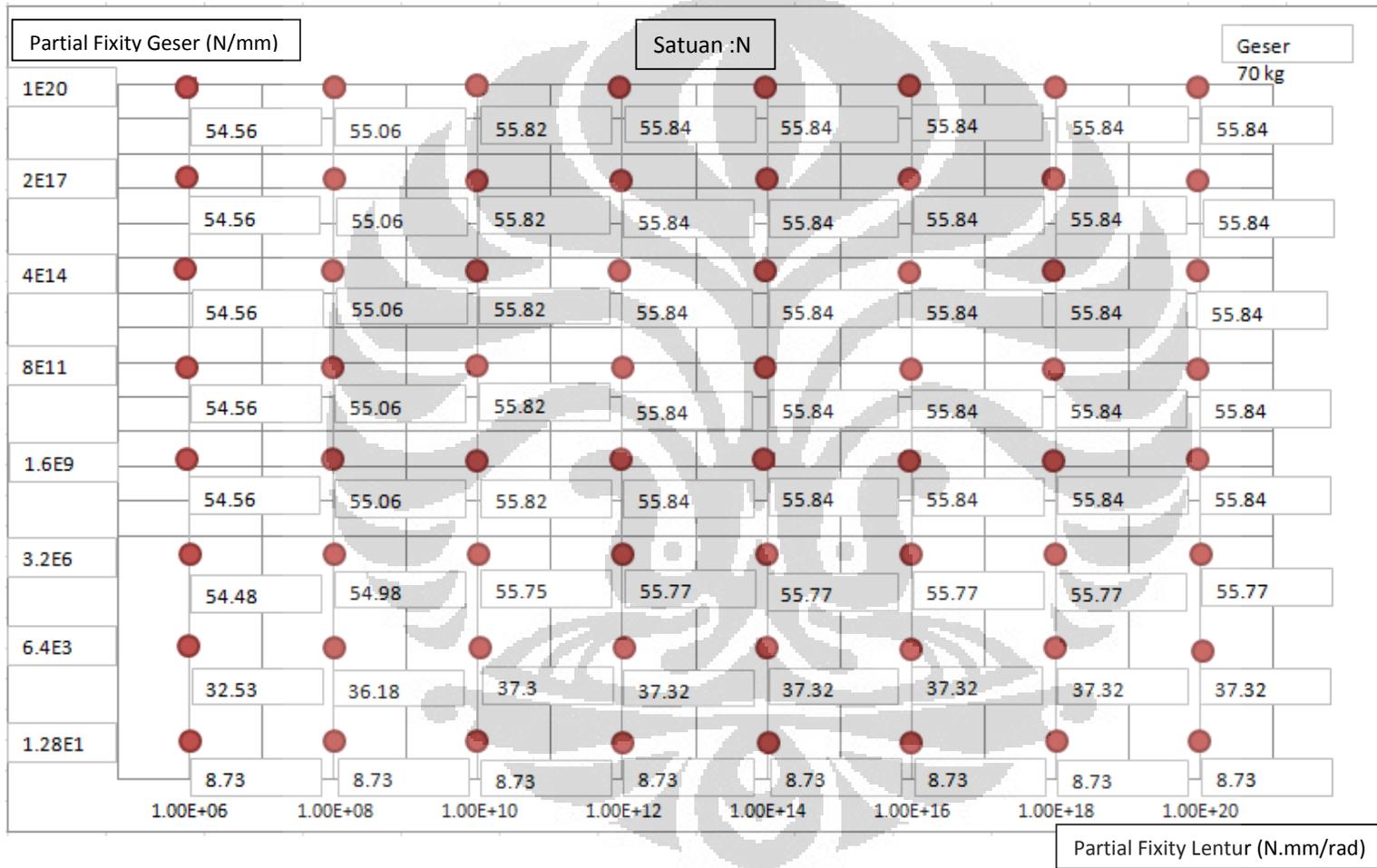


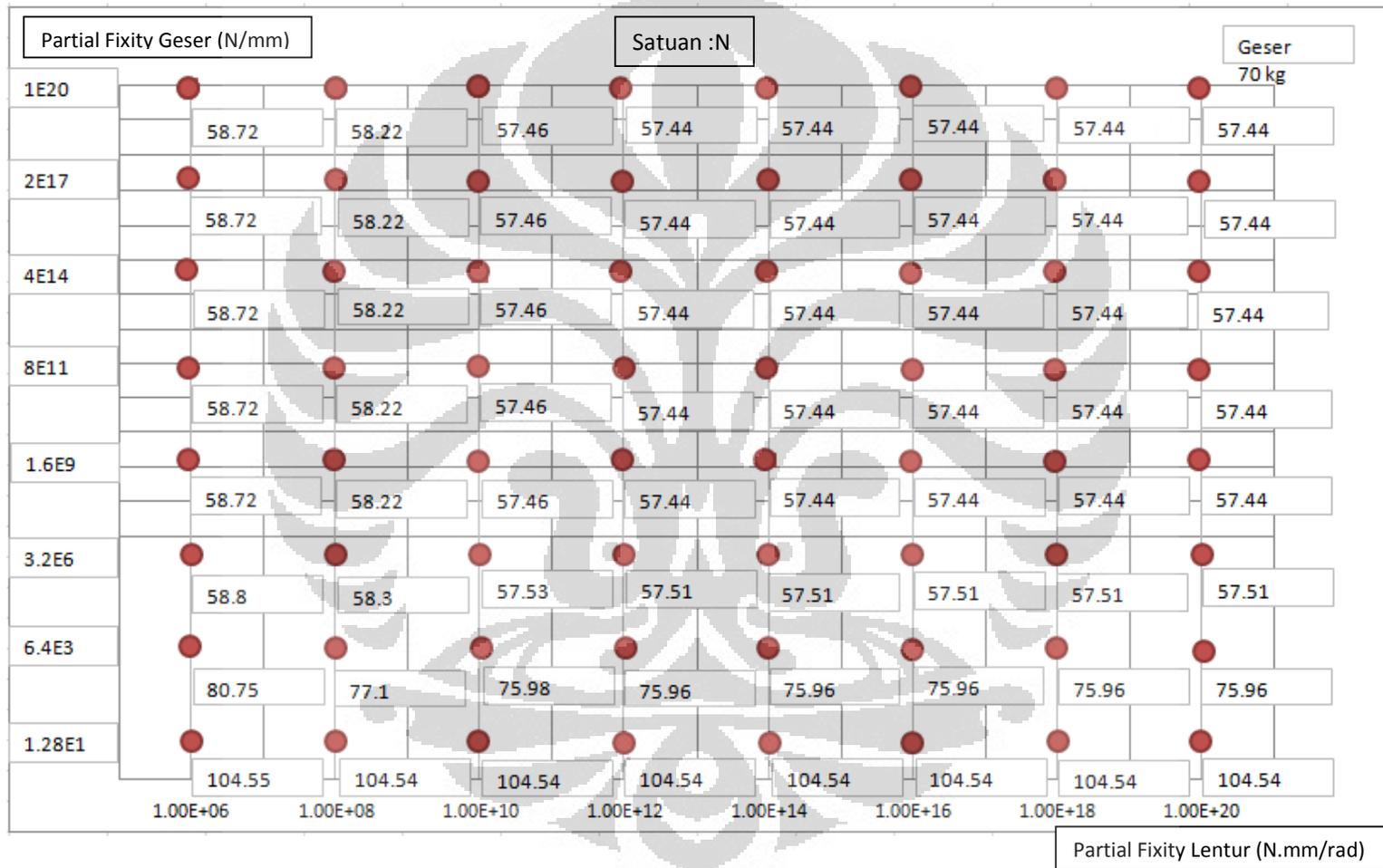


Momen pada Balok Tepi

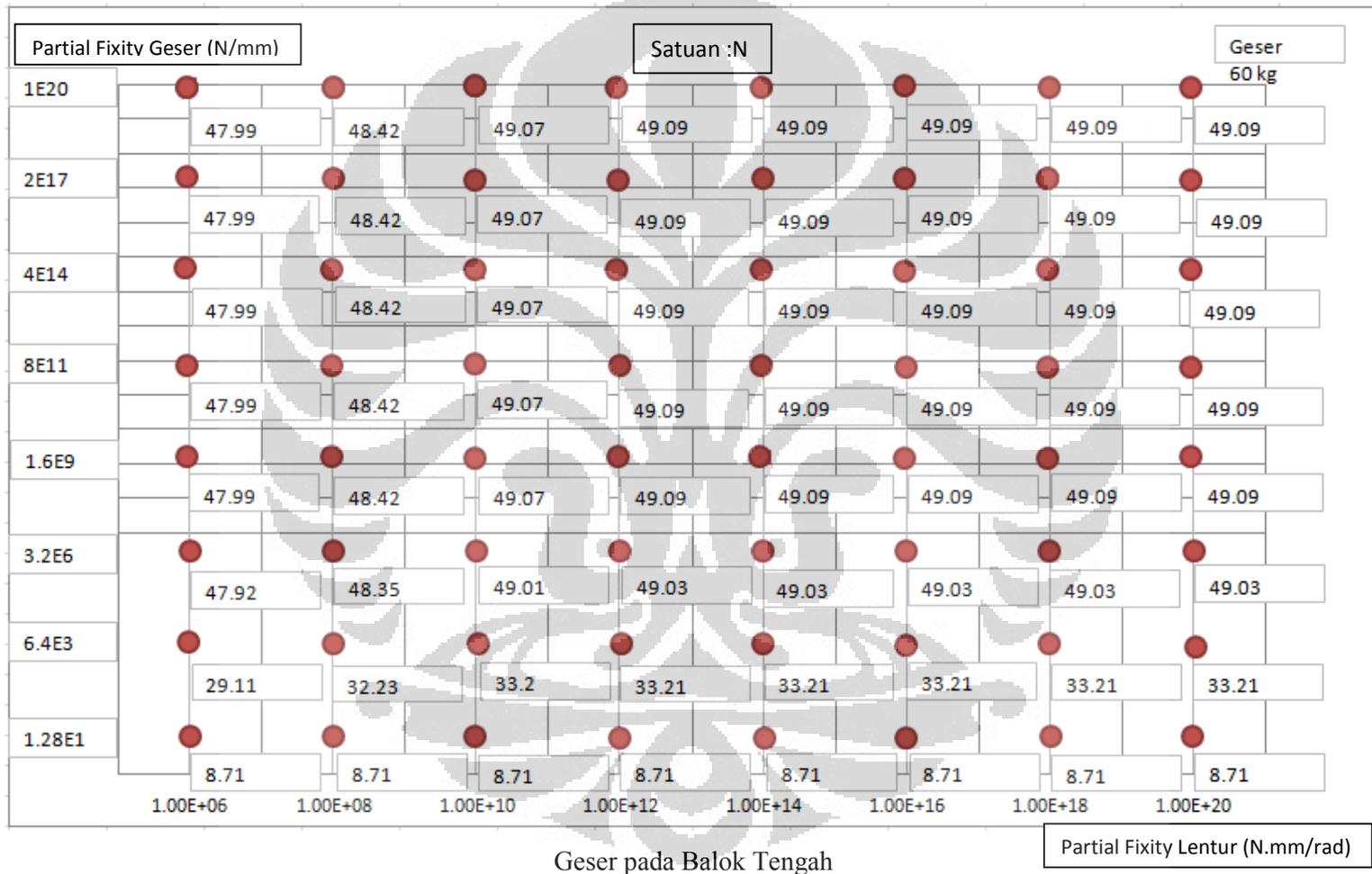


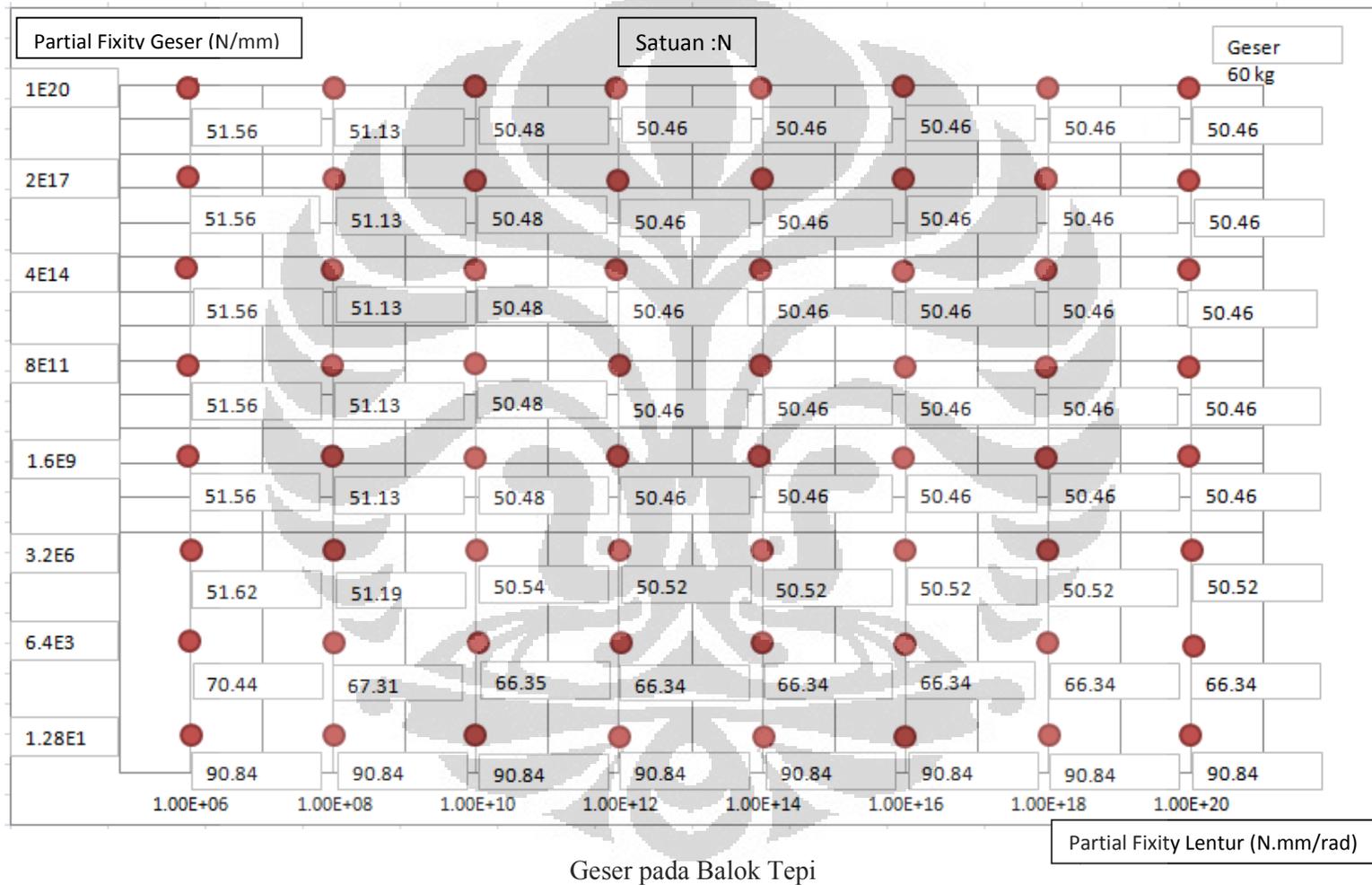


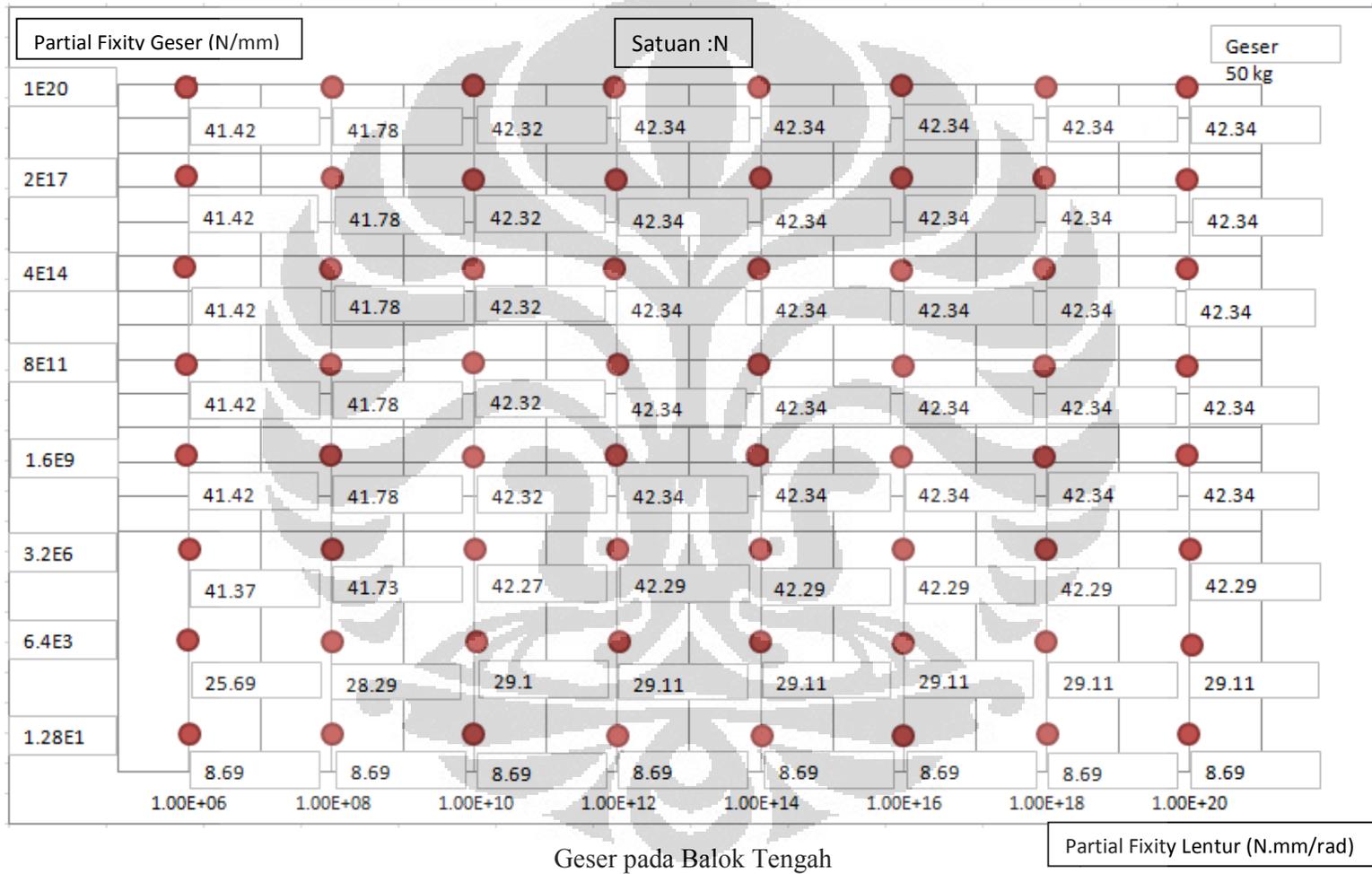


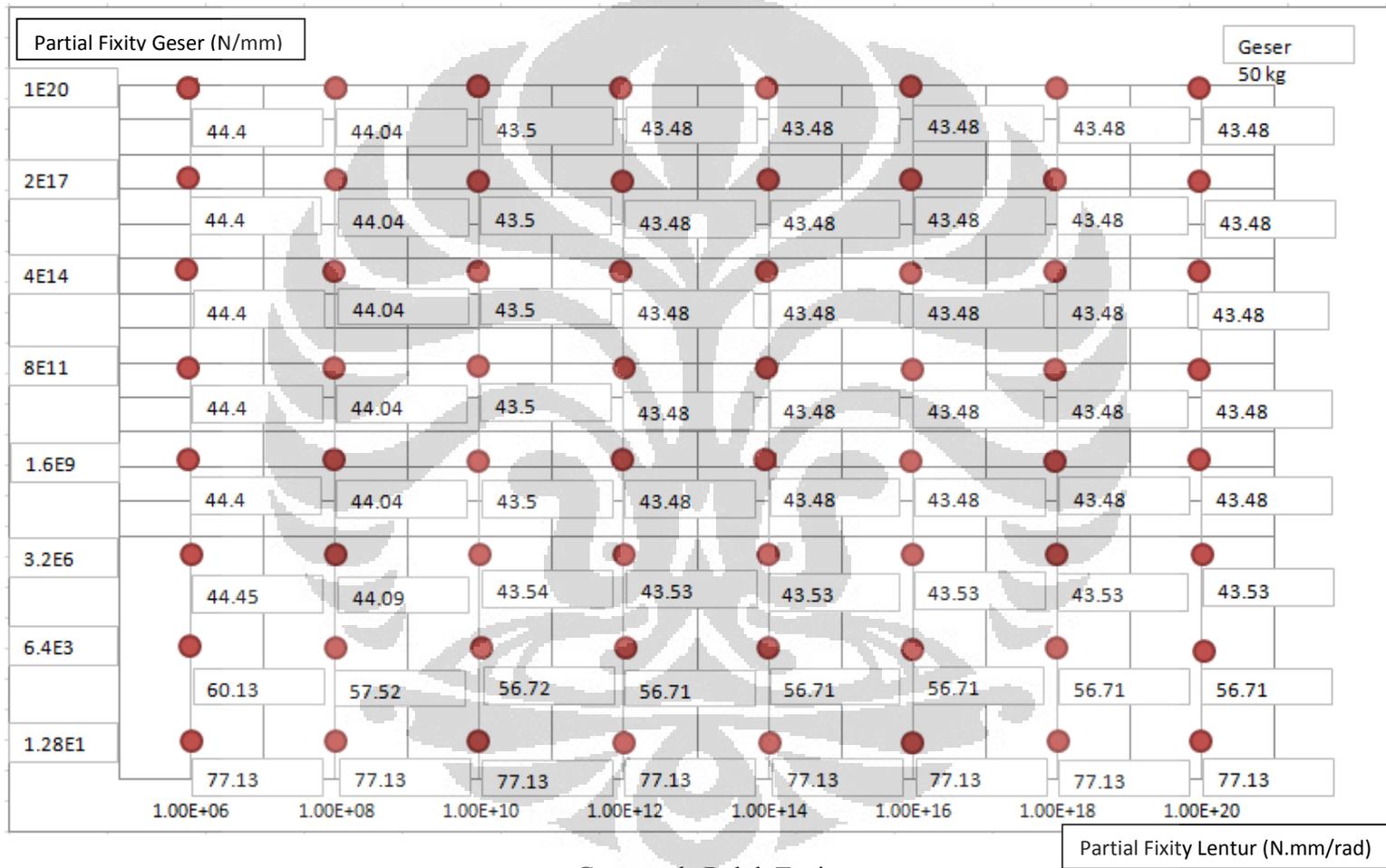


Geser pada Balok Tepi



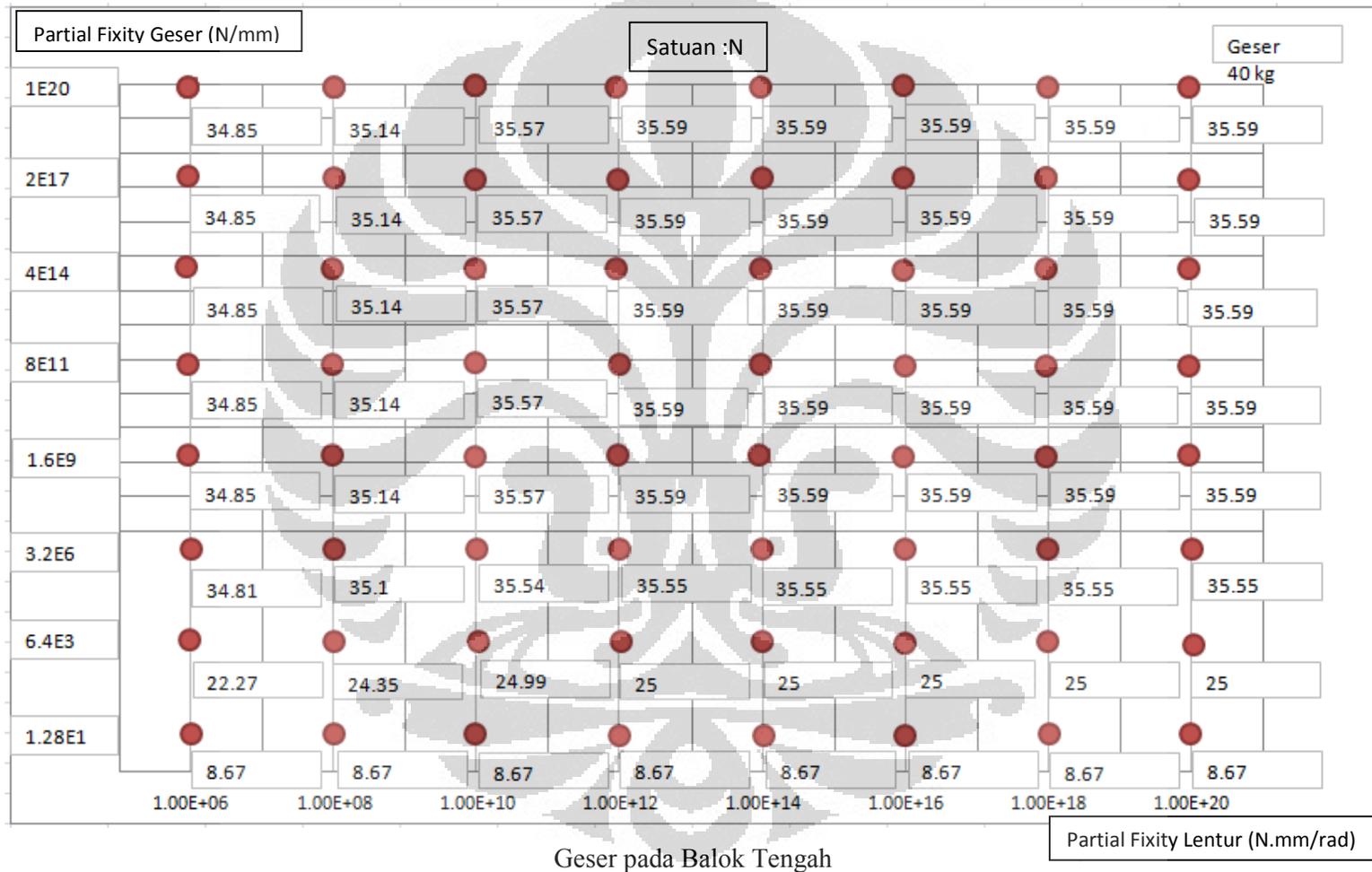


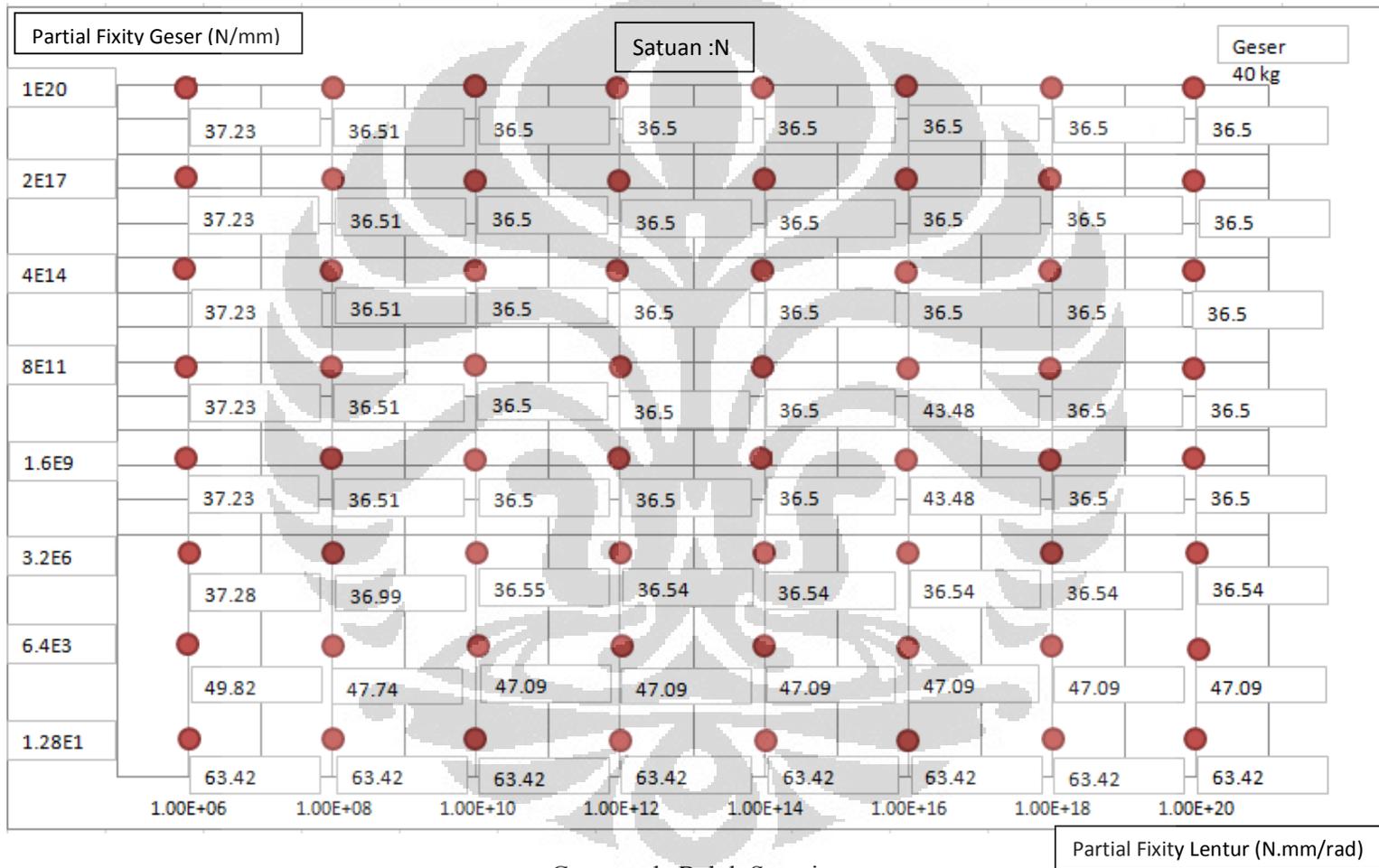




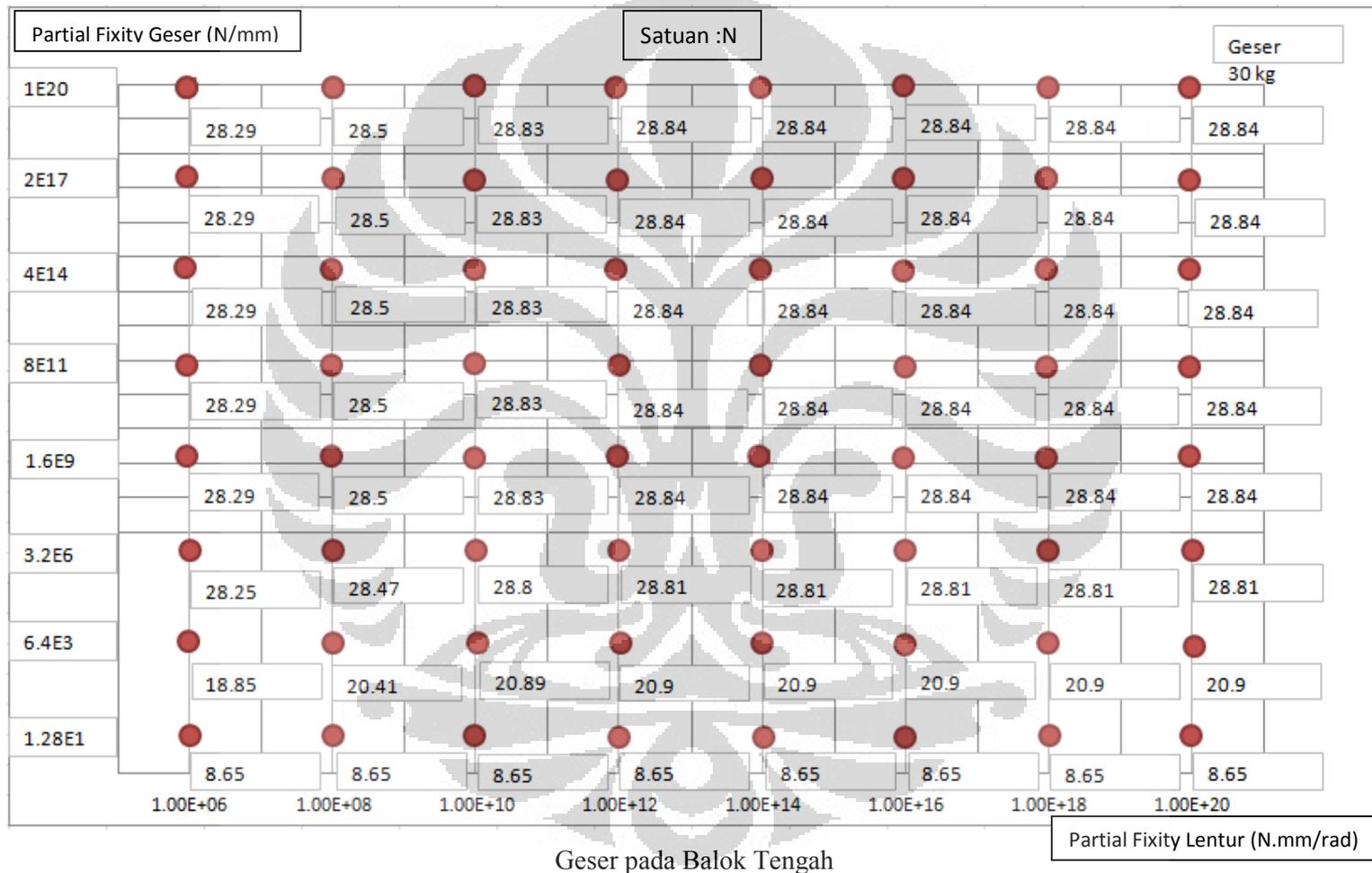
Geser pada Balok Tepi

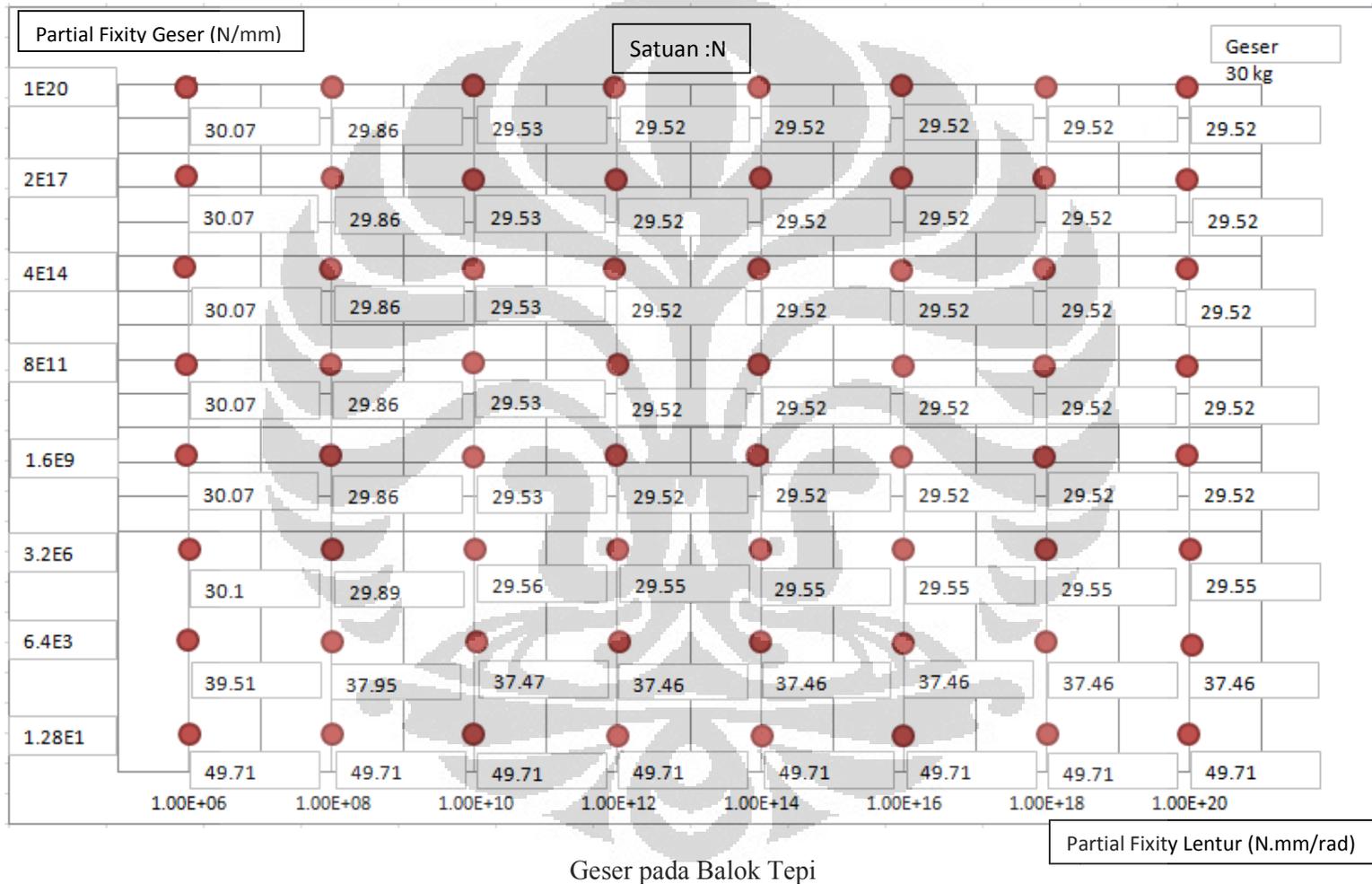
Partial Fixity Lentur (N.mm/rad)

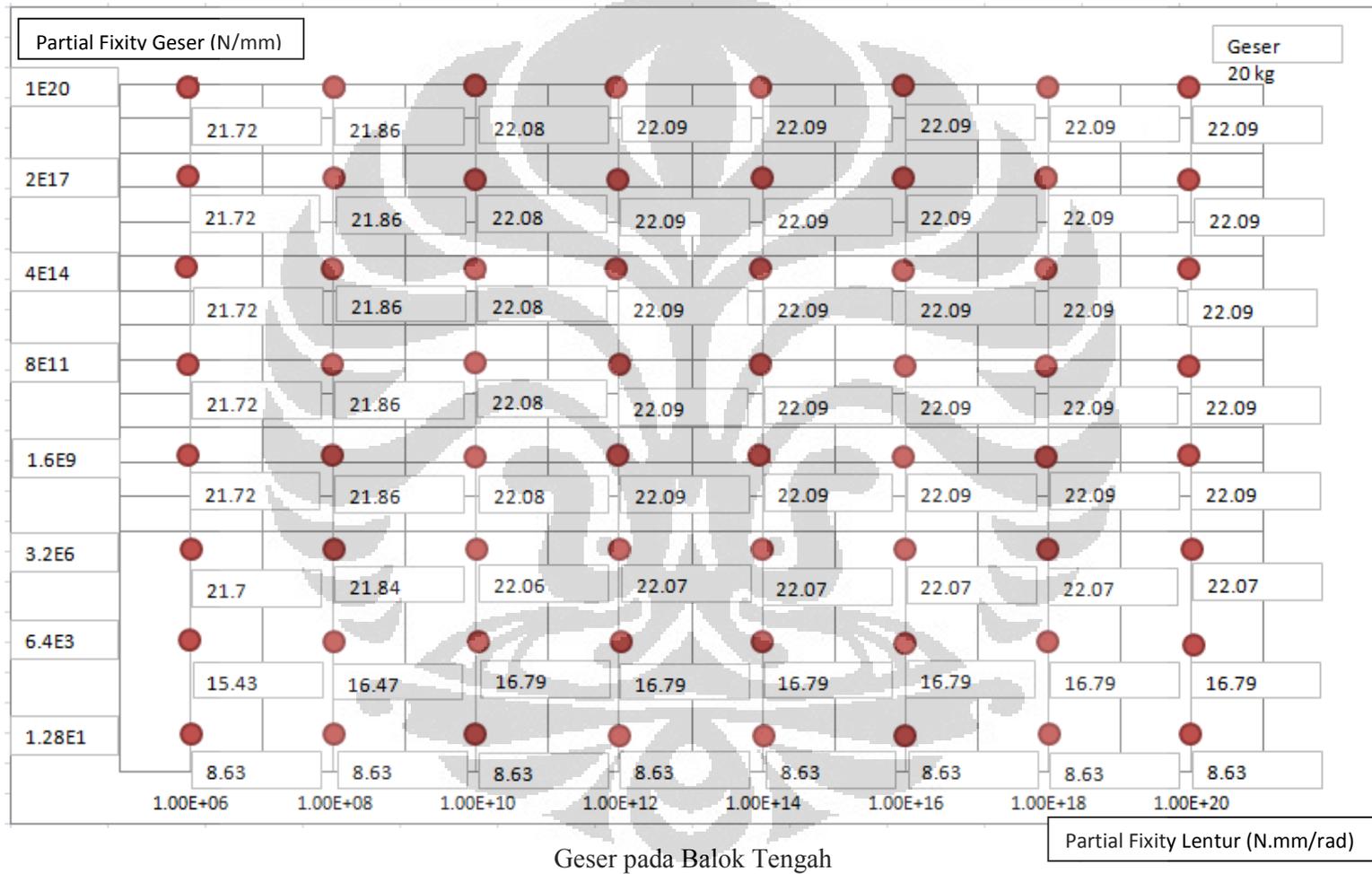


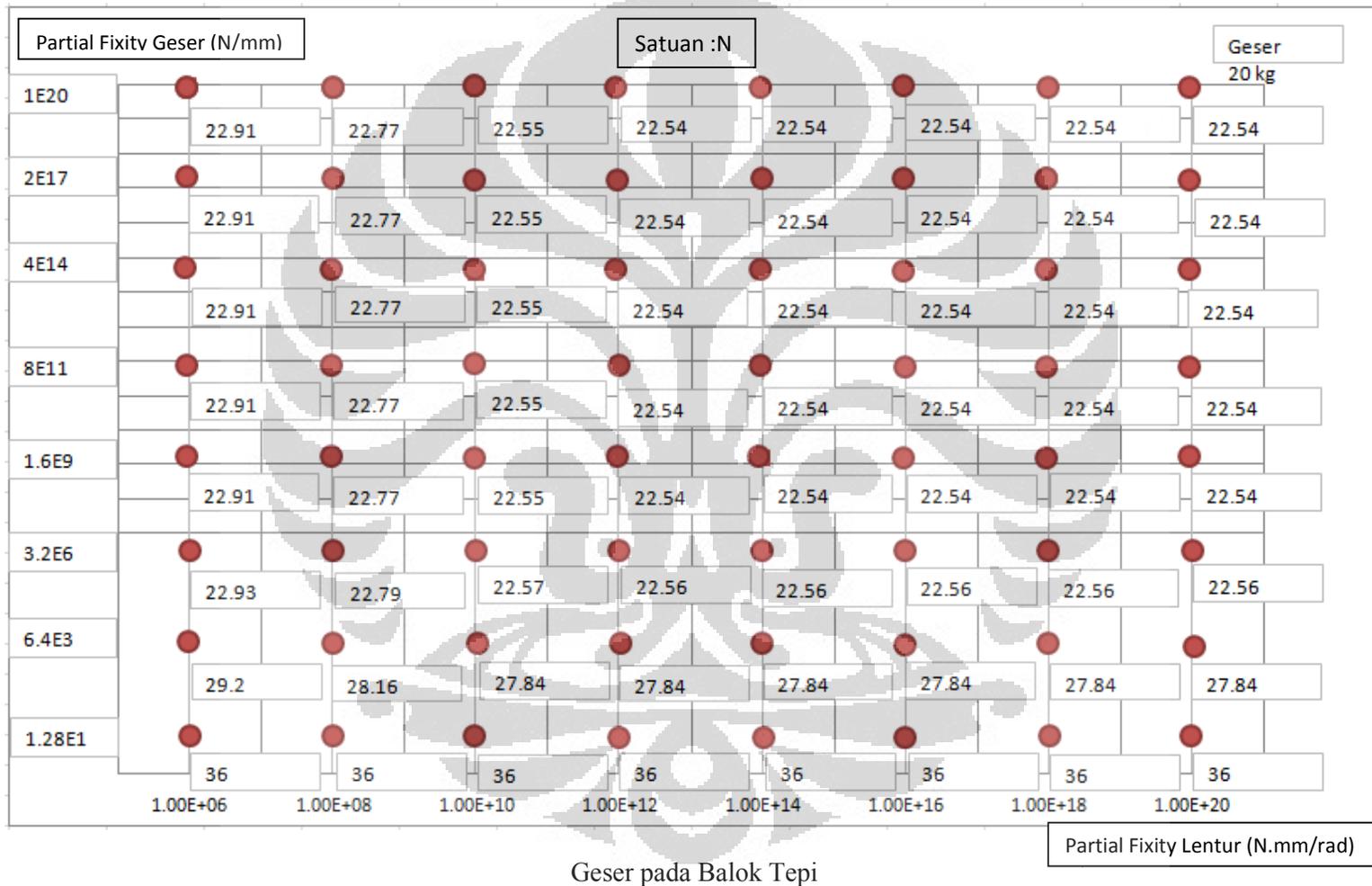


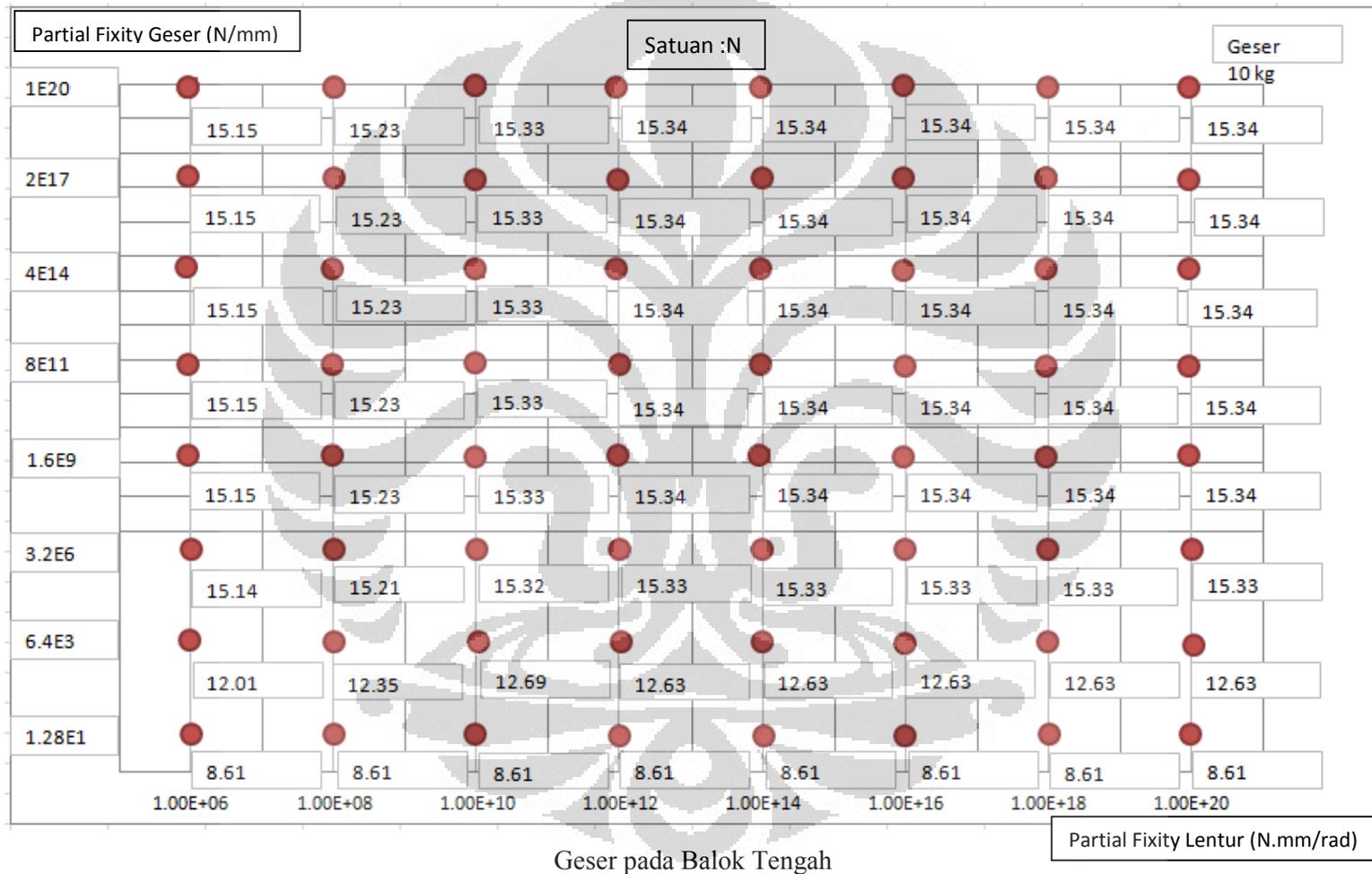
Geser pada Balok Samping

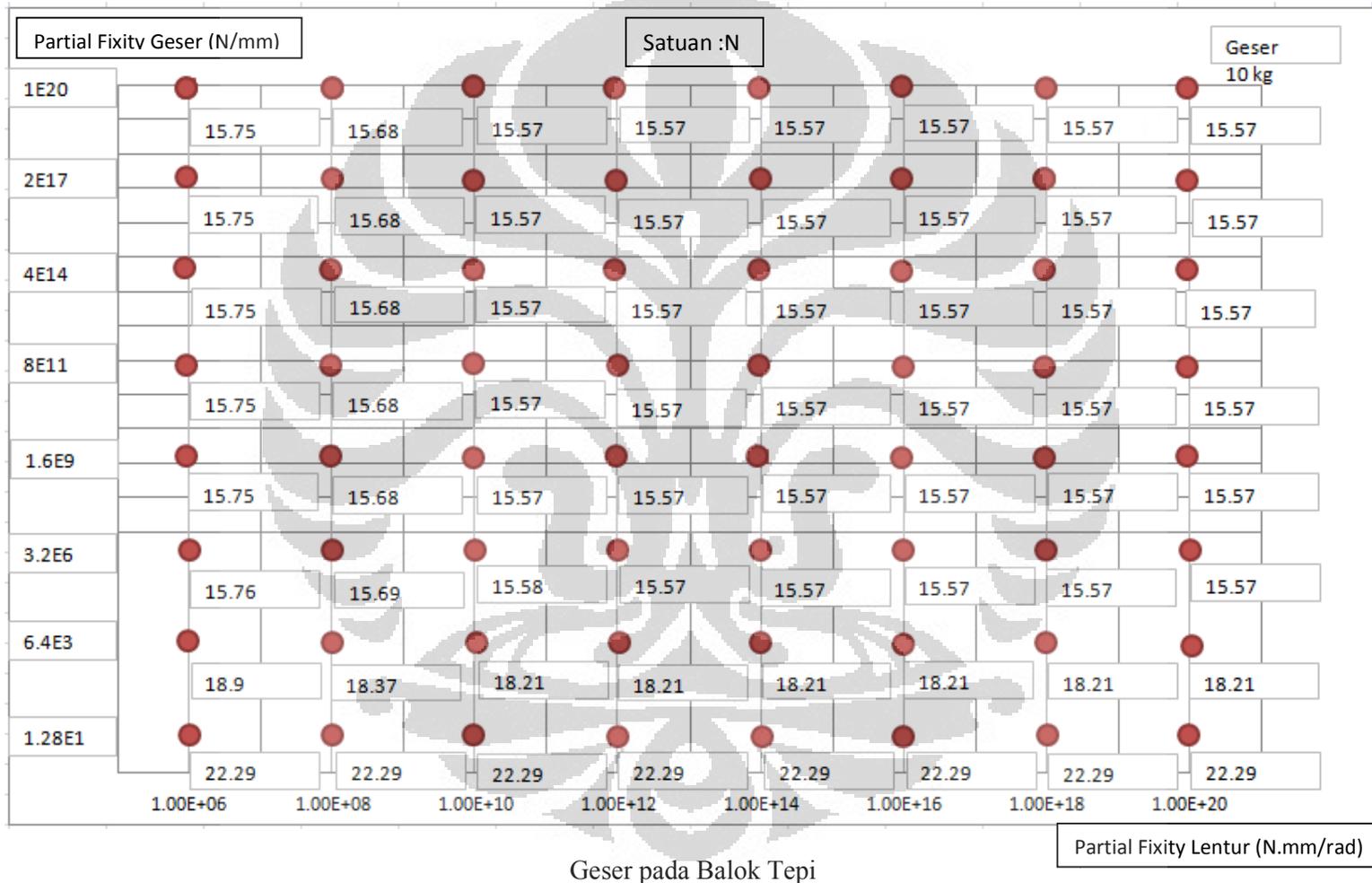












$$\begin{pmatrix} fmx_1 \\ fmy_1 \\ fz_1 \\ fmx_2 \\ fmy_2 \\ fz_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} GJL^2 & 0 & 0 & (-G)JL^2 & 0 & 0 \\ 0 & 4EIL^2 & (-6)EIL & 0 & 2EIL^2 & 6EIL \\ 0 & (-6)EIL & 12EI & 0 & (-6)EIL & (-12)EI \\ (-G)JL^2 & 0 & 0 & GJL^2 & 0 & 0 \\ 0 & 2EIL^2 & (-6)EIL & 0 & 4EIL^2 & 6EIL \\ 0 & 6EIL & (-12)EI & 0 & 6EIL & 12EI \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta x_1 \\ \theta y_1 \\ w_1 \\ \theta x_2 \\ \theta y_2 \\ w_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} fmx_1 \\ fmy_1 \\ fz_1 \\ fmx_2 \\ fmy_2 \\ fz_2 \end{pmatrix} \quad \text{BNE}$$



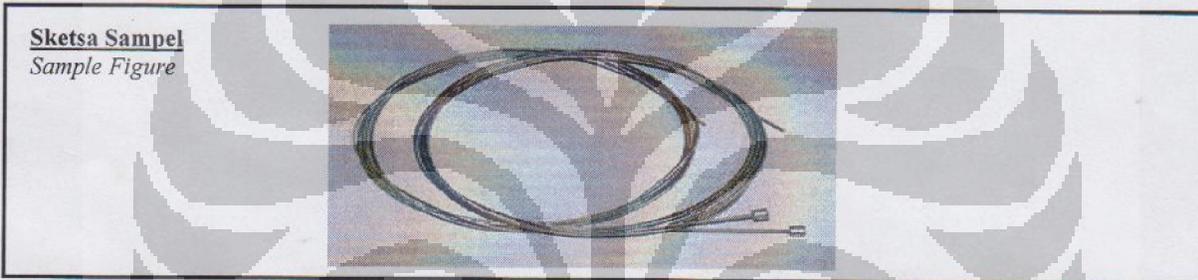
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Page 1 of 4

No Laporan <i>Report Nr</i>	0244	Bahan <i>Material</i>	Baja
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Irvan Timotus	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code: Seling 1
Alamat <i>Address</i>	DTS	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	7 Maret 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0244/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	-
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	12 Maret 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton *



SAMPEL				Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm ²)[N/mm ²]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm ²)[N/mm ²]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
Kode <i>Code</i>	Dimensi <i>Size dimension</i> (mm)	Luas <i>Area</i> (mm ²)	Panjang <i>Gauge length</i> (mm)				
Seling 2	Ø = 1.5	1.77	-	104 [1020]**	-	-	-

catatan :

* ketidakpastian pengukuran di estimasi dengan tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan K=2

** dikali dengan 9.8

Depok, 13 Maret 2012
 Wakil Ketua Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material



FF-22/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



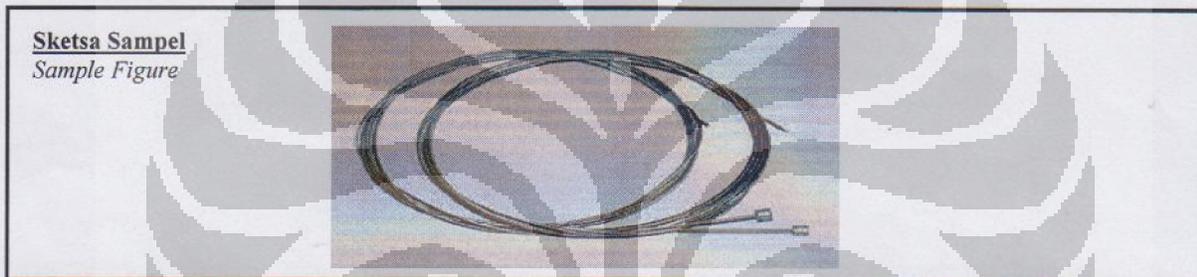
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Page 2 of 4

No Laporan <i>Report Nr</i>	0244	Bahan <i>Material</i>	Baja
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Irvan Timotus	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code: Seling 3
Alamat <i>Address</i>	DTS	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	7 Maret 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0244/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	12 Maret 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton *



Kode <i>Code</i>	SAMPel			Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm ²)[N/mm ²]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm ²)[N/mm ²]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
	Dimensi <i>Ukur</i> Size <i>dimension</i> (mm)	Luas <i>Area</i> (mm ²)	Panjang <i>Ukur</i> Gauge length (mm)				
Seling 3	Ø = 1.5	1.77	-	103 [1010]**	-	-	-

catatan :

* ketidakpastian pengukuran di estimasi dengan tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan K=2

** dikali dengan 9.8

Depok, 13 Maret 2012
 Wakil Ketua Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material



(Ahmad Ashari, ST)

FF-22/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



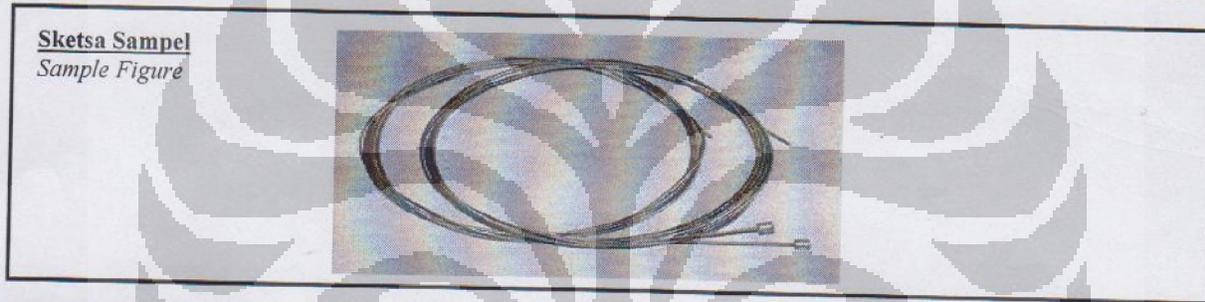
FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN TARIK
TENSILE TEST REPORT

Page 1 of 2

No Laporan <i>Report Nr</i>	0240	Bahan <i>Material</i>	Baja
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Irvan Timotus	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code: Seling 1
Alamat <i>Address</i>	DTS	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	6 Maret 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0240/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	-
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	12 Maret 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 Ton



SAMPPEL				Kuat Tarik <i>Tensile Strength</i> (Kg/mm ²)[N/mm ²]	Batas Luluh <i>Yield Strength</i> (Kg/mm ²)[N/mm ²]	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remark</i>
Kode <i>Code</i>	Dimensi <i>Ukur</i> Size <i>dimension</i> (mm)	Luas <i>Area</i> (mm ²)	Panjang <i>Ukur</i> Gauge <i>length</i> (mm)				
Seling 1	Ø = 1.5	1.77	-	96 [874]**	-	-	-

catatan :

* ketidakpastian pengukuran di estimasi dengan tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan K=2

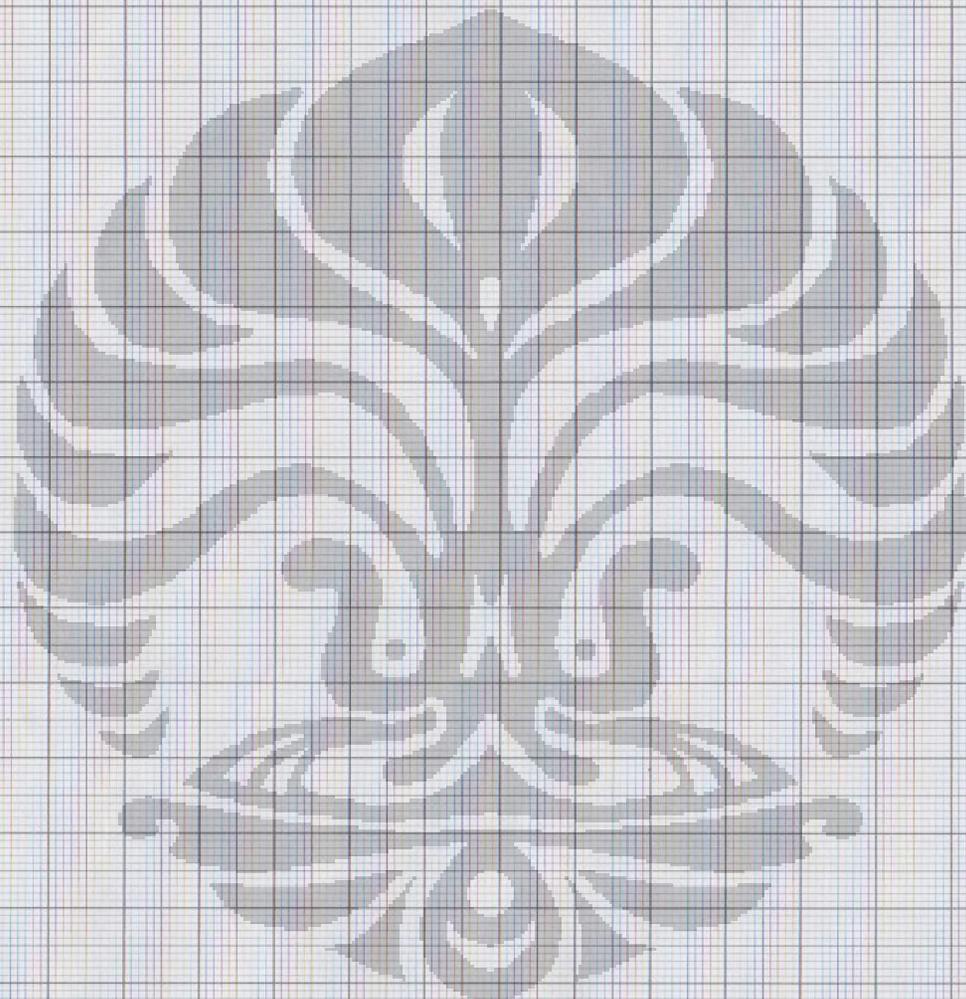
** dikali dengan 9.8

Depok, 13 Maret 2012
 Wakil Ketua Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-22/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



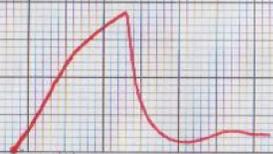
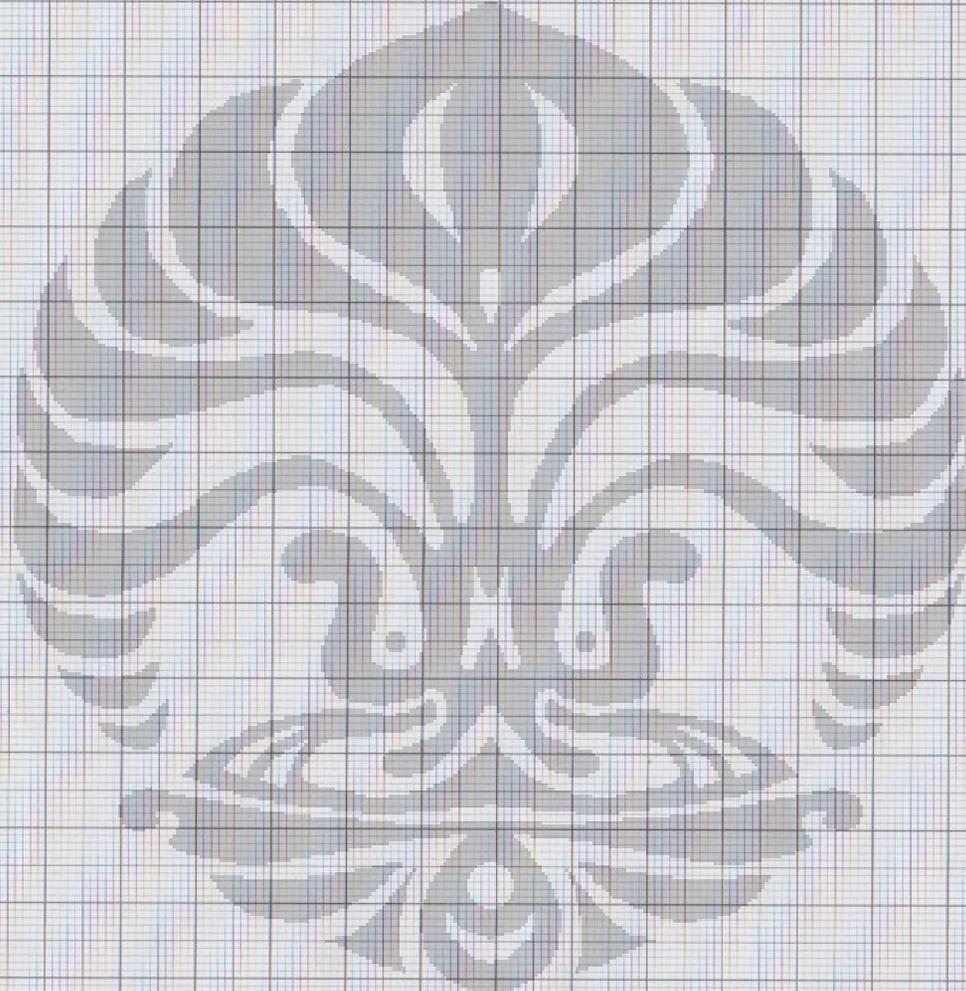
REMARK
TITLE
RANGE
X
/ CM
Y₁
100 kg
CM
Y₂
/ CM
SWEEP RATE
S/ CM
DATE
SIGNED

0240

7



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA



0240

2

REMARK

TITLE

RANGE

X

/CM

Y₁

Y₂

/CM

SWEEP RATE

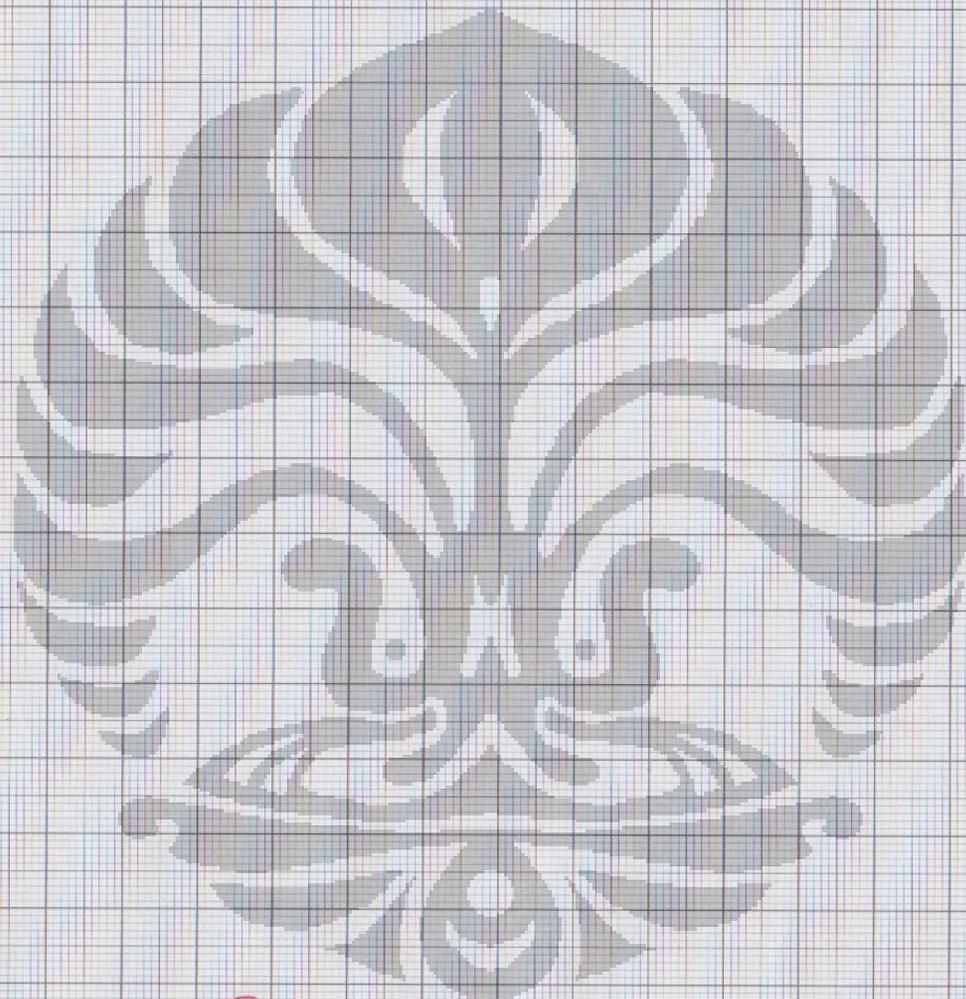
S/CM

DATE

SIGNED

100 kg
/CM





0240

3



REMARK	
TITLE	
RANGE	
X	2,514u / CM
Y ₁	100kg / CM
Y ₂	
SWEEP RATE	
DATE	
SIGNED	