

SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR

Sesuai dengan persetujuan dari Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, melalui surat No. 1212/TA/FTS/UKM/VIII/2010 tanggal 09 Agustus 2008, dengan ini saya selaku Pembimbing Tugas Akhir memberikan tugas kepada:

Nama : Jhony

NRP : 0721003

untuk membuat Tugas Akhir bidang Struktur dengan judul:

**PEMODELAN NUMERIK METODE ELEMEN HINGGA
NONLINIER STRUKTUR BALOK TINGGI BETON BERTULANG**

Pokok pembahasan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan
2. Tinjauan Literatur
3. Studi Kasus dan Pembahasan
4. Kesimpulan dan Saran

Hal-hal lain yang dianggap perlu dapat disertakan untuk melengkapi penulisan Tugas Akhir ini.

Bandung, 18 Januari 2011



Yosafat Aji Pranata, ST., MT.
Pembimbing

SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dari mahasiswa:

Nama : Jhony

NRP : 0721003

Menyatakan bahwa Tugas Akhir dari mahasiswa tersebut diatas dengan judul:

PEMODELAN NUMERIK METODE ELEMEN HINGGA

NONLINIER STRUKTUR BALOK TINGGI BETON BERTULANG

dinyatakan selesai dan dapat diajukan pada Ujian Sidang Tugas Akhir (USTA).

Bandung, 18 Januari 2011



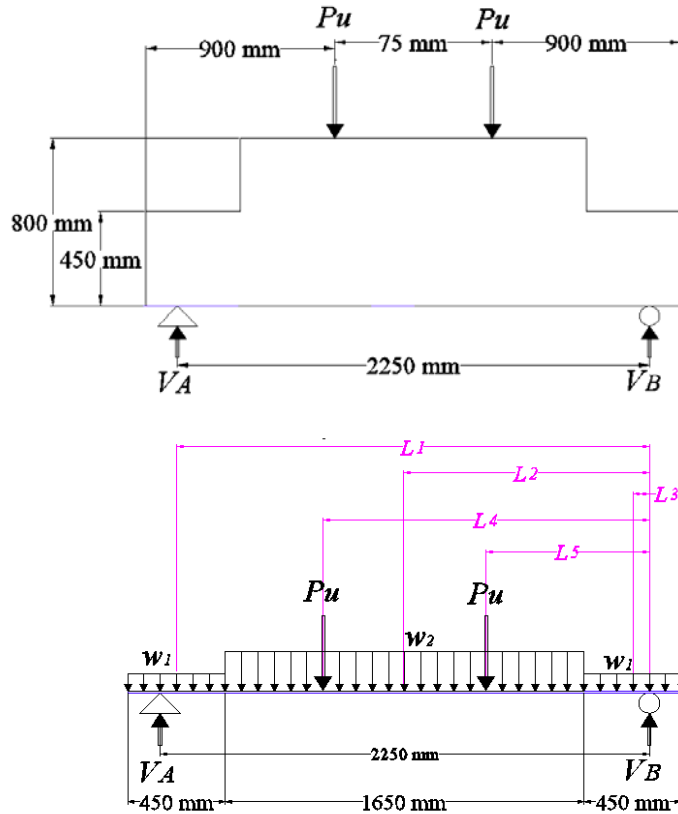
Yosafat Aji Pranata, ST., MT.

Pembimbing

LAMPIRAN 1

PERHITUNGAN GAYA LINTANG BALOK TINGGI

L1,1 Data Teknis



Gambar L1.1 Balok yang ditinjau

Data-data yang diketahui sebagai berikut:

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h_1 = 450 \text{ mm}$$

$$h_2 = 800 \text{ mm}$$

$$\gamma = 2,207 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$$

$$A_1 = b \cdot h_1 = 250 \cdot 450 = 112500 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = b \cdot h_2 = 250 \cdot 800 = 200000 \text{ mm}^2$$

$$P = 613 \text{ ton} = 62487,258 \text{ N}$$

$$L_1 = 2175 \text{ mm}$$

$$L_2 = 1125 \text{ mm}$$

$$L_3 = 75 \text{ mm}$$

$$L_4 = 1500 \text{ mm}$$

$$L_5 = 750 \text{ mm}$$

$$w_1 = A_1 \cdot \gamma = 112500 \cdot 2,207 \cdot 10^{-5} = 2,49 \text{ N/mm}$$

$$w_2 = A_2 \cdot \gamma = 200000 \cdot 2,207 \cdot 10^{-5} = 4,42 \text{ N/mm}$$

L1.2 Mencari Reaksi Perletakkan

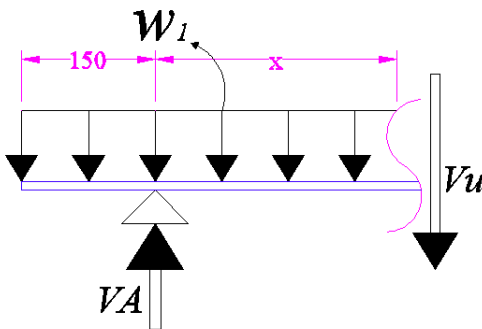
di titik A

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 2250 - w_1 \cdot 450 \cdot L_1 - w_2 \cdot 1650 \cdot L_2 - w_1 \cdot 450 \cdot L_3 - P \cdot L_4 - P \cdot L_5 = 0$$

$$V_A \cdot 2250 - 2,49 \cdot 450 \cdot 2175 - 4,42 \cdot 1650 \cdot 1125 - 2,49 \cdot 450 \cdot 75 - 62487,258 \cdot 1500 - 62487,258 \cdot 750 = 0$$

$$V_A = 67254,258 \text{ N}$$



Gambar L1.2 Potongan 1

L1.3 Mencari Gaya Lintang

Potongan 1, *free body* kiri ($0 < x < 450 \text{ mm}$)

$$V_A - w_1 \cdot 150 - w_1 \cdot x - V_u = 0$$

$$V_u = V_A - w_1 \cdot 150 - w_1 \cdot x$$

$$V_u = 67254,258 - 2,49 \cdot 150 - 2,49 \cdot x$$

$$V_u = 66880,758 - 2,49 \cdot x$$

Pada saat $x = 0$,

$$V_u = 66880,758 - 2,49.0 = 66880,758 \text{ N}$$

Jadi, gaya lintang pada tumpuan sebesar 66880,758 N

LAMPIRAN 2

PENELITIAN EKPERIMENTAL [Hardjasaputra, 2005]

L2,1 Tinjauan Pustaka

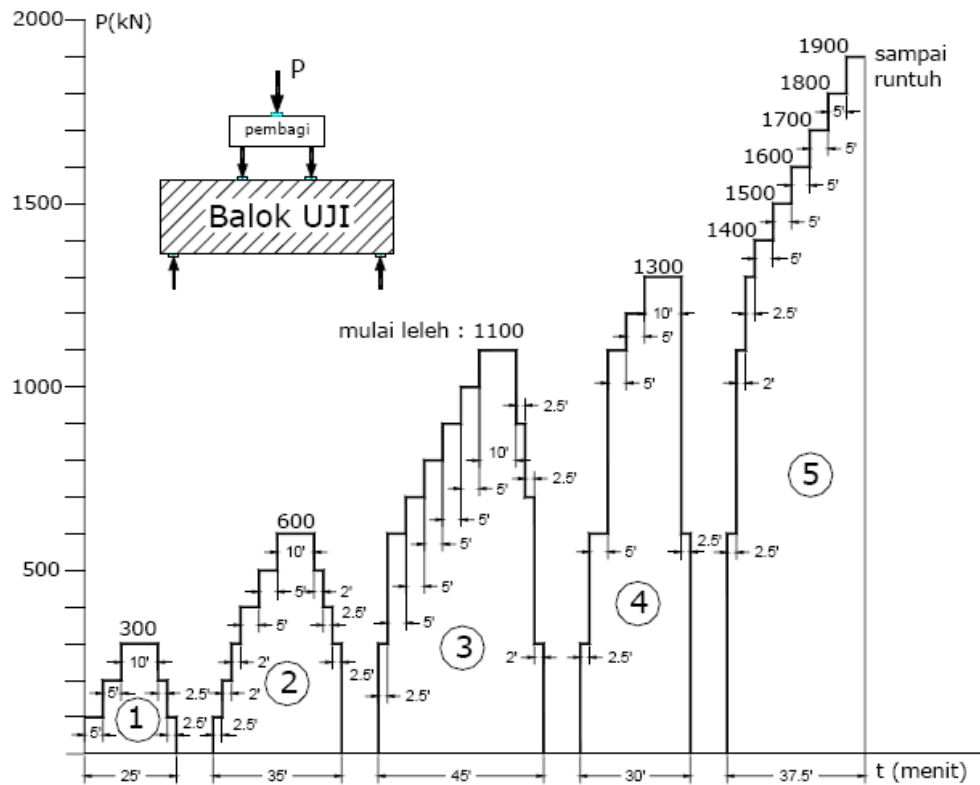
Pembuatan balok uji diawali dengan pembuatan bekisting dan pemasangan *strain gauge* yang semua pekerjaannya diborongkan kepada petugas di PUSKIM dengan alasan pihak dari sana sudah cukup berpengalaman dalam pembuatan benda uji dengan beton.



Gambar L2.1 Bekisting dan tulangan balok yang telah dirakit

Gambar L2.2 pemasangan *strain gauge* pada tulangan balok

Pembebanan balok dilakukan secara bertahap dengan siklus tertentu, Adapun siklus pembebanan yang digunakan adalah sesuai dengan *schedule* berikut ini:



Gambar L2.3 Rencana siklus pembebanan balok uji [Hardjasaputra, 2005]

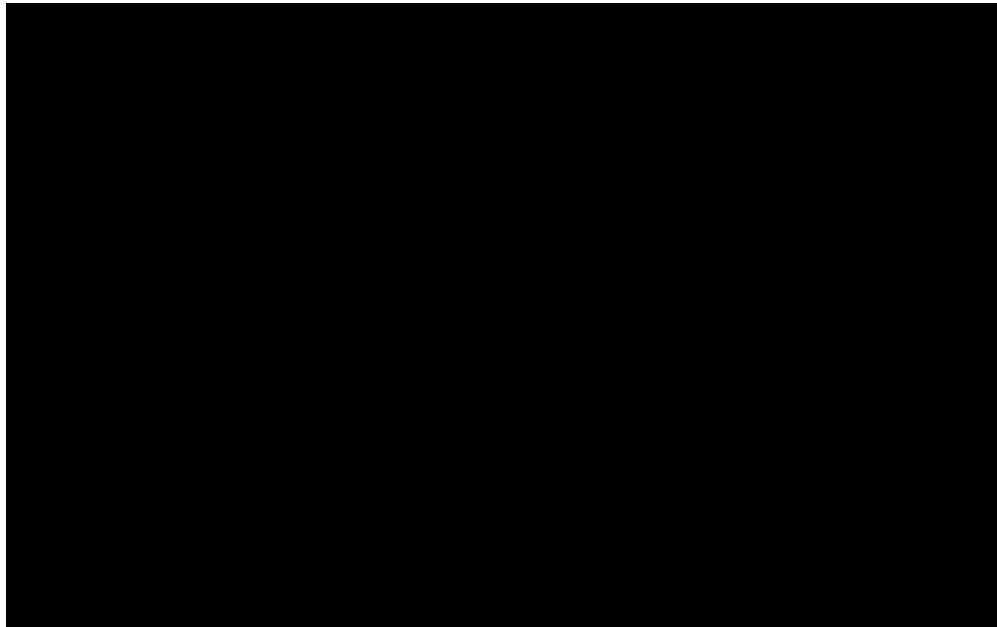
Jumlah tulangan utama diperoleh berdasarkan hasil perhitungan analitis desain dengan memperhitungkan beban ultimit balok, yang tentu disesuaikan dengan kapasitas beban dari alat instrumen, yaitu *Universal Testing Machine* (UTM).

Koreksi hasil bacaan deformasi dilakukan dengan alat ukur *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT), yang dipasang di beberapa lokasi. LVDT adalah alat ukur deformasi atau kurvatur dengan tingkat akurasi ketelitian tinggi.

L2.2 Data Hasil Eksperimental [Hardjasaputra, 2005]

Eksperimen ini diawali dengan pemeriksaan agregat untuk pembuatan benda uji. Dari hasil pemeriksaan agregat tersebut, kemudian ditabelkan sebagai berikut:

Tabel L2.1 Hasil uji pemeriksaan agregat [Hardjasaputra, 2005]



Rancangan campuran betonnya adalah:

- Mutu beton : f_c 35 MPa
- Bagian yang gagal : 5 %
- Standar deviasi : 60 kg/cm²
- Kuat tekan yang diharapkan : 448 kg/cm²
- Slump direncanakan : 60 – 180 mm
- Faktor air semen : 0,44
- Diameter agregat maksimum : 20 mm
- Berat jenis beton : 2306 kg/m³

Berdasarkan sifat fisik agregat dan rencana rancangan campuran beton di atas, maka dapat dihitung perbandingan volume material yang diperlukan sebagai berikut:

Bahan per m³:

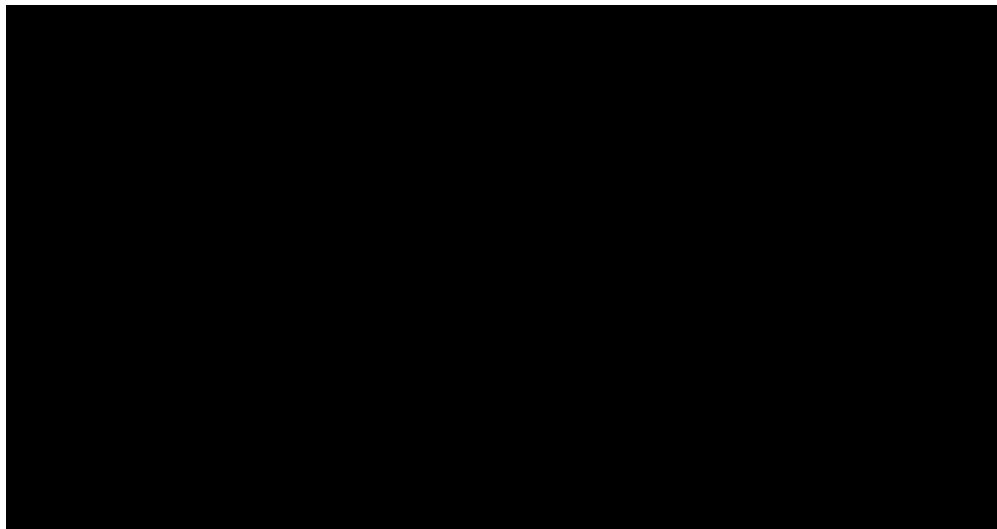
- a. Semen : 489 kg
- b. Pasir : 641 kg
- c. Kerikil pecah : 961 kg
- d. Air : 215 kg

Dari perolehan volume material yang diperlukan, maka selanjutnya dilakukan uji sampel beton dan hasilnya adalah:

Tabel L2.2 Hasil pengujian sampel pada saat beton segar



Tabel L2.3 Hasil pengujian sampel pada saat beton keras



Maka mix-desain tersebut selanjutnya akan digunakan dalam pembuatan balok uji.

Data benda uji yang dibuat adalah sebagai berikut:

- a. Tanggal uji : 13-10-05
- b. Tanggal cor : 07-07-05
- c. Diameter : 150 mm
- d. Tinggi : 300 mm
- e. Luas : 17671,459 mm²

Tabel L2.4 Hasil uji tekan beton silinder



Beban uji silinder ini dilaksanakan setelah pengujian beban balok selesai dan menggunakan mesin yang sama. Pada setiap keruntuhan benda uji tersebut menghasilkan suara seperti ledakan yang relatif cukup keras. Bentuk keruntuhan yang dapat didokumentasikan ditampilkan pada Gambar L2.4.



Gambar L2.4 Bentuk keruntuhan benda uji silinder beton

Hasil uji tekan modulus elastisitas beton silinder selengkapnya ditampilkan pada Tabel L2.5, Tabel L2.6 dan Tabel L2.7 serta kurva tegangan-regangan beton selengkapnya ditampilkan pada Gambar L2.5, Gambar L2.6, Gambar L2.7.

Tabel L2.5 Hasil uji modulus elastisitas beton-silinder 3 [Hardjasaputra, 2005]

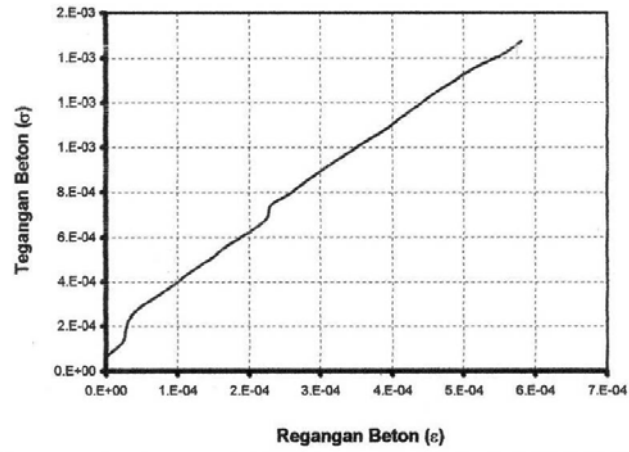
No,	Beban (ton.f)	$\Delta 1$ mm	$\Delta 2$ mm	ε	σ MPa
1	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00
2	1,06	0,00	0,00	0,00E+00	6,00E+00
3	2,29	0,00	0,01	2,33E-05	1,30E-05
4	3,09	0,00	0,01	2,67E-05	1,75E-04
5	4,16	0,00	0,01	3,33E-05	2,35E-04
6	5,09	0,01	0,01	5,00E-05	2,88E-04
7	5,99	0,01	0,01	7,33E-05	3,39E-04
8	7,05	0,02	0,01	1,00E-04	3,99E-04
9	8,02	0,02	0,01	1,23E-04	4,54E-04
10	8,99	0,03	0,02	1,50E-04	5,09E-04
11	9,82	0,03	0,02	1,67E-04	5,56E-04
12	11,02	0,04	0,02	2,00E-04	6,24E-04
13	12,08	0,04	0,03	2,23E-04	6,84E-04
14	13,12	0,04	0,03	2,30E-04	7,42E-04
15	14,01	0,04	0,03	2,57E-04	7,93E-04
16	15,01	0,05	0,04	2,80E-04	8,49E-04
17	16,08	0,05	0,04	3,07E-04	9,10E-04
18	17,04	0,06	0,04	3,33E-04	9,64E-04
19	18,04	0,06	0,05	3,60E-04	1,02E-03
20	19,04	0,07	0,05	3,90E-04	1,08E-03
21	20,07	0,07	0,05	4,13E-04	1,14E-03
22	21,01	0,08	0,05	4,37E-04	1,19E-03
23	22,14	0,08	0,06	4,63E-04	1,25E-03
24	23,17	0,09	0,06	4,93E-04	1,31E-03
25	23,97	0,09	0,07	5,17E-04	1,36E-03
26	25,00	0,10	0,07	5,53E-04	1,41E-03
27	26,00	0,10	0,07	5,80E-04	1,47E-03

Tabel L2.6 Hasil uji modulus elastisitas beton-silinder 4 [Hardjasaputra, 2005]

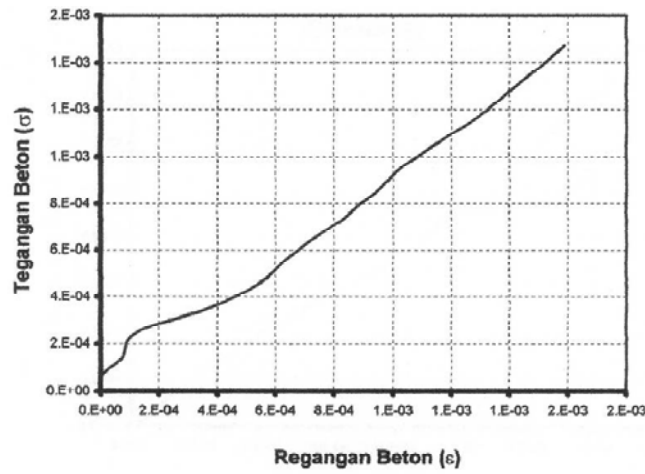
No,	Beban (ton.f)	$\Delta 1$ mm	$\Delta 2$ mm	ϵ	σ MPa
1	0,00	0,001	0,000	0,00E+00	0,00E+00
2	1,23	0,000	0,001	6,67E-06	6,96E-00
3	2,29	0,000	0,010	6,67E-05	1,30E-04
4	2,89	0,001	0,012	8,00E-05	1,64E-04
5	4,02	0,001	0,015	1,00E-04	2,27E-04
6	4,96	0,000	0,028	1,87E-04	2,81E-04
7	6,02	0,013	0,052	3,47E-04	3,41E-04
8	6,99	0,023	0,068	4,53E-04	3,96E-04
9	8,12	0,028	0,082	5,47E-04	4,59E-04
10	8,92	0,029	0,089	5,93E-04	5,05E-04
11	10,05	0,030	0,097	6,47E-04	5,69E-04
12	11,15	0,030	0,107	7,13E-04	6,31E-04
13	11,98	0,031	0,115	7,67E-04	6,78E-04
14	13,05	0,033	0,125	8,33E-04	7,38E-04
15	14,05	0,033	0,133	8,87E-04	7,95E-04
16	15,01	0,033	0,141	9,40E-04	8,49E-04
17	15,98	0,033	0,148	9,87E-04	9,04E-04
18	17,04	0,033	0,156	1,04E-04	9,64E-04
19	18,01	0,036	0,166	1,11E-03	1,02E-03
20	19,08	0,039	0,177	1,18E-03	1,08E-03
21	20,01	0,041	0,187	1,25E-03	1,13E-03
22	21,11	0,042	0,198	1,32E-03	1,19E-03
23	22,04	0,043	0,206	1,37E-03	1,25E-03
24	23,07	0,043	0,214	1,43E-03	1,31E-03
25	24,00	0,043	0,222	1,48E-03	1,36E-03
26	24,97	0,045	0,230	1,53E-03	1,41E-03
27	26,04	0,045	0,238	1,59E-03	1,47E-03

Tabel L2.7 Hasil uji modulus elastisitas beton-silinder 5 [Hardjasaputra, 2005]

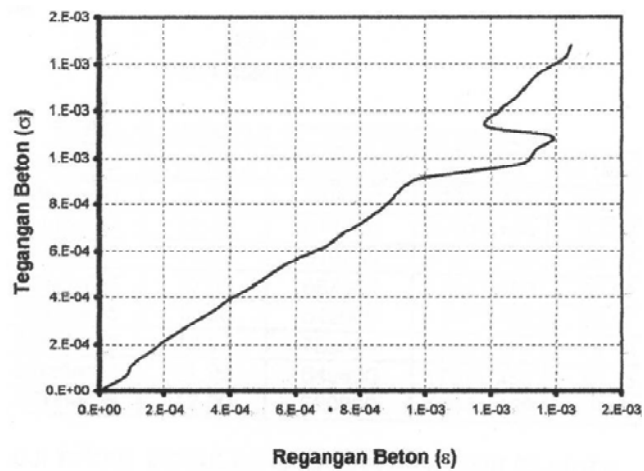
No,	Beban (ton.f)	$\Delta 1$ mm	$\Delta 2$ mm	ϵ	σ MPa
1	0,00	0,000	0,000	0,00E+00	0,00E+00
2	1,91	0,000	0,012	6,67E-06	6,96E-00
3	1,96	0,000	0,015	6,67E-05	1,30E-04
4	3,56	0,000	0,028	8,00E-05	1,64E-04
5	4,02	0,000	0,032	1,00E-04	2,27E-04
6	5,02	0,000	0,042	1,87E-04	2,81E-04
7	6,02	0,000	0,052	3,47E-04	3,41E-04
8	7,02	0,000	0,061	4,07E-04	3,97E-04
9	7,99	0,000	0,071	4,73E-04	4,52E-04
10	9,05	0,000	0,081	5,40E-04	5,12E-04
11	10,02	0,000	0,091	6,07E-04	5,67E-04
12	11,05	0,030	0,105	7,00E-04	6,24E-04
13	12,05	0,030	0,114	7,60E-04	6,84E-04
14	13,41	0,033	0,127	8,47E-04	7,59E-04
15	14,55	0,033	0,135	9,00E-04	8,23E-04
16	14,98	0,033	0,137	9,13E-04	8,48E-04
17	16,05	0,034	0,147	9,80E-04	9,08E-04
18	17,21	0,034	0,194	1,29E-03	9,74E-04
19	18,21	0,034	0,201	1,34E-03	1,03E-03
20	19,24	0,034	0,208	1,39E-03	1,09E-03
21	20,04	0,035	0,178	1,19E-03	1,13E-03
22	21,17	0,034	0,184	1,23E-03	1,20E-03
23	22,21	0,034	0,192	1,28E-03	1,26E-03
24	23,17	0,034	0,197	1,31E-03	1,31E-03
25	24,14	0,034	0,203	1,35E-03	1,37E-03
26	25,17	0,031	0,214	1,43E-03	1,42E-03
27	26,10	0,031	0,217	1,45E-03	1,48E-03



(a)



(b)



(c)

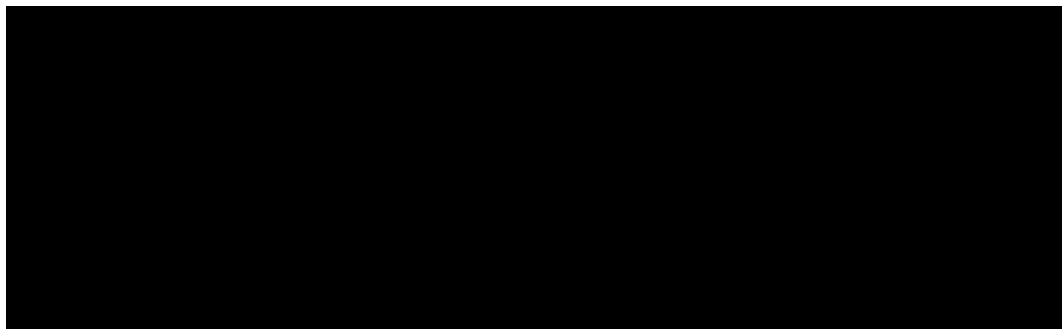
Gambar L2.5 Kurva regangan-tegangan beton
 (a) silinder 3 (b) silinder 4 (c) silinder 5 [Hardjasaputra, 2005]

Setelah pengujian material beton dilaksanakan, maka dilakukan juga uji material terhadap baja tulangan berupa pengujian tarik. Hasil pengujian tarik tulangan baja ditampilkan pada Tabel L2.8.

Tabel L2.8 Hasil pengujian tarik tulangan baja

Data benda uji:

Jenis / banyaknya contoh	:	Besi beton polos \varnothing 7 mm (3 buah)
		Besi beton ulir \varnothing 21 mm (3 buah)
		Besi beton ulir \varnothing 9 mm (3 buah)
Diterima tanggal	:	12 Juli 2005

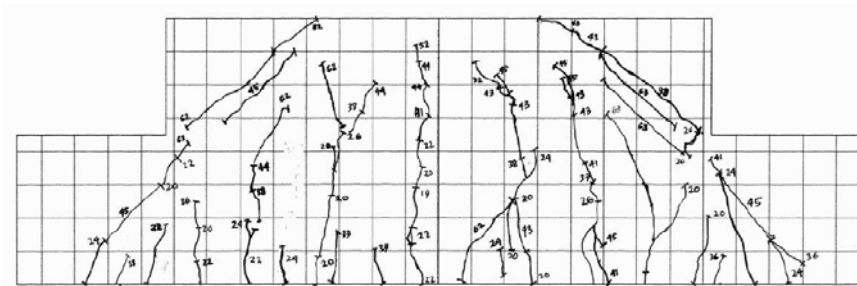


Gambar L2.6 Rekaman diagram gaya perpanjangan baja tulangan



Gambar L2.7 Kondisi putus tulangan ulir

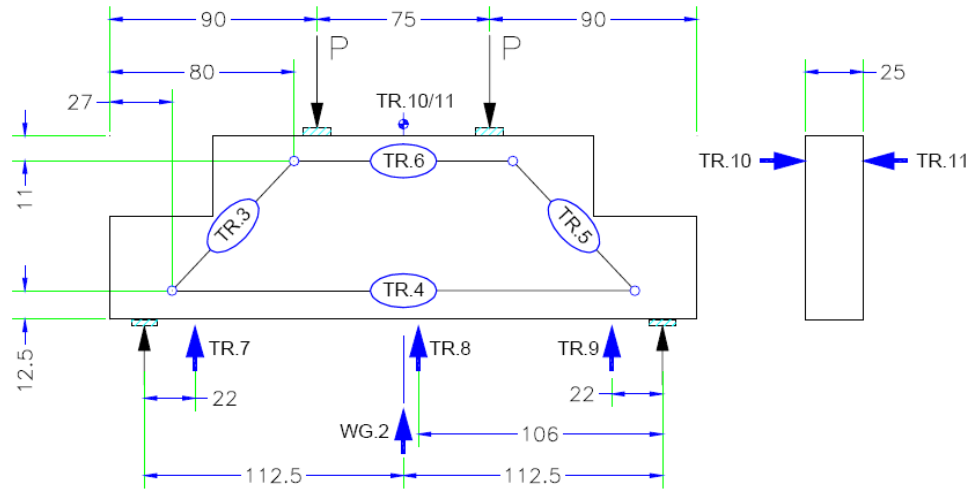
Pola retak digambarkan secara manual, adapun angka yang terdapat pada pola tersebut menunjukkan urutan beban dimana retak tersebut terjadi. Dengan demikian angka paling kecil menunjukkan retak yang pertama kali terjadi dan angka terbesar menunjukkan retak pada kondisi sesaat sebelum runtuh.



Gambar L2.8 Pola retak balok tinggi

Data hasil uji eksperimental, yaitu hasil pembacaan LVDT selengkapnya ditampilkan pada Tabel L2.9, dan hasil pembacaan *strain gauges* selengkapnya ditampilkan pada Tabel L2.10.

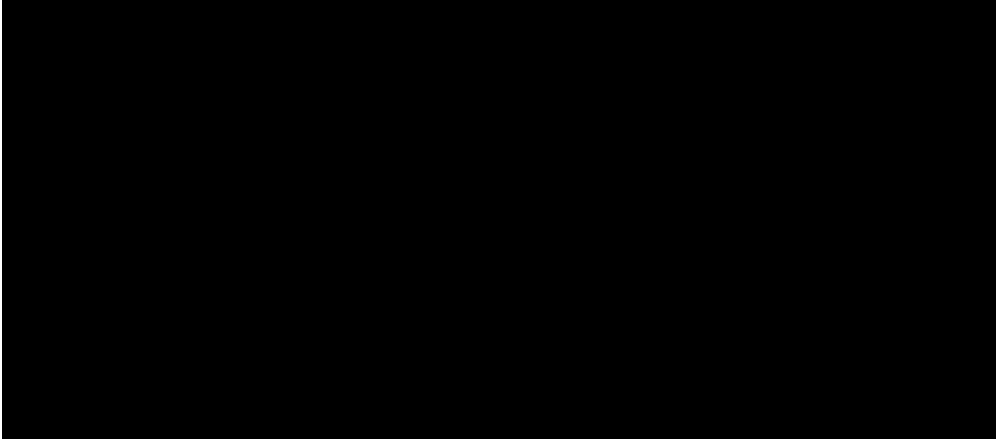
Alat LVDT dipasang di beberapa tempat dan diberi nomor di tiap tempat. Notasi penomoran LVDT pada balok uji ditampilkan pada Gambar L2.9.



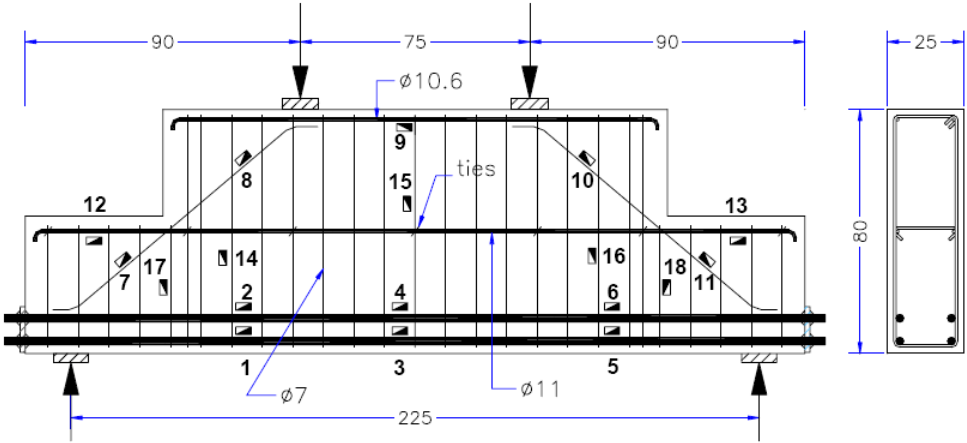
Gambar L2.9 Notasi penomoran LVDT pada balok uji [Hardjasaputra, 2005]

Tabel L2.9 Data Hasil Pembacaan LVDT [Hardjasaputra, 2006]

No.	LC -1	LC-2	WG-2	Tr-3	Tr-4	Tr-5	Tr-6	Tr-7	Tr-8	Tr-9	Tr-10	Tr-11
	Load Cell (ton.f)		(mm)									
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,09	5,06	-0,09	-0,05	0,01	0,01	-0,03	-0,22	0,36	-0,26	-0,08	0,02
3	5,22	5,23	-0,19	-0,05	0,01	0,01	-0,04	-0,22	0,38	-0,26	-0,08	0,02
4	10,49	10,52	-0,39	-0,11	0,05	-0,01	-0,07	-0,42	0,72	-0,44	-0,04	-0,02
5	10,26	10,36	-0,49	-0,11	0,06	-0,01	-0,08	-0,44	0,74	-0,46	-0,04	-0,04
6	15,09	15,22	-0,89	-0,17	0,29	-0,02	-0,13	-0,70	1,12	-0,66	-0,04	-0,04
7	15,29	15,65	-1,09	-0,18	0,46	-0,01	-0,14	-0,80	1,30	-0,78	-0,06	-0,06
8	10,12	10,13	-0,99	-0,13	0,42	-0,01	-0,11	-0,64	1,02	-0,62	-0,06	-0,02
9	10,12	10,13	-0,99	-0,13	0,42	-0,01	-0,10	-0,64	1,02	-0,62	-0,06	-0,02
10	4,96	4,60	-0,69	-0,07	0,34	-0,02	-0,07	-0,44	0,70	-0,44	-0,12	0,10
11	5,03	4,67	-0,69	-0,06	0,34	-0,01	-0,07	-0,42	0,70	-0,44	-0,12	0,08
12	0,00	0,00	-0,29	-0,02	0,29	-0,01	-0,03	-0,14	0,26	-0,16	-0,12	0,08
13	0,00	0,00	-0,19	-0,01	0,28	-0,01	-0,03	-0,14	0,26	-0,16	-0,12	0,02
14	5,32	5,16	-0,59	-0,07	0,30	-0,01	-0,07	-0,40	0,70	-0,44	-0,32	0,24
15	5,22	5,10	-0,59	-0,06	0,30	-0,01	-0,07	-0,40	0,70	-0,46	-0,32	0,24
16	10,02	9,99	-0,69	-0,12	0,34	0,00	-0,10	-0,56	0,98	-0,60	-0,32	0,20
17	9,99	9,99	-0,69	-0,12	0,34	0,00	-0,10	-0,58	1,00	-0,60	-0,32	0,18
18	15,12	14,99	-0,99	-0,18	0,41	-0,02	-0,15	-0,76	1,28	-0,74	-0,28	0,14
19	14,92	14,86	-0,99	-0,18	0,41	-0,02	-0,15	-0,76	1,28	-0,76	-0,28	0,14
20	20,02	20,06	-1,59	-0,24	0,78	-0,02	-0,21	-1,08	1,82	-1,00	-0,26	0,22
21	20,22	20,95	-1,89	-0,25	1,13	-0,03	-0,23	-1,20	2,04	-1,20	-0,24	0,12
22	25,15	25,88	-2,29	-0,31	1,47	-0,03	-0,25	-1,48	2,54	-1,46	-0,22	0,10
23	25,45	26,35	-2,59	-0,32	1,60	-0,03	-0,26	-1,60	2,70	-1,56	-0,24	0,08
24	30,02	31,41	-2,89	-0,36	1,92	-0,03	-0,27	-1,84	3,14	-1,74	-0,24	0,08
25	30,22	31,41	-3,09	-0,37	2,00	-0,03	-0,27	-1,90	3,26	-1,82	-0,28	0,12
26	24,92	25,58	-2,99	-0,31	1,97	-0,02	-0,23	-1,74	2,92	-1,62	-0,30	0,14
27	25,08	25,78	-2,99	-0,31	1,96	-0,02	-0,23	-1,72	2,94	-1,62	-0,28	0,14
28	20,05	20,02	-2,39	-0,26	1,93	0,01	-0,19	-1,48	2,50	-1,40	-0,30	0,16
29	20,25	20,22	-2,39	-0,26	1,93	0,01	-0,19	-1,50	2,52	-1,40	-0,30	0,16
30	15,19	14,56	-2,29	-0,20	1,90	0,01	-0,15	-1,28	2,18	-1,22	-0,30	0,18
31	15,15	14,56	-2,29	-0,20	1,90	0,01	-0,15	-1,28	2,16	-1,22	-0,30	0,18
32	0,00	0,00	-0,79	-0,01	1,22	0,03	-0,01	-0,42	0,72	-0,38	-0,20	0,06
33	-0,03	0,00	-0,79	-0,01	1,20	0,03	-0,04	-0,42	0,70	-0,32	-0,14	-0,04
34	15,06	17,51	-1,89	-0,21	1,35	0,02	-0,20	-1,26	2,14	-1,14	-0,68	0,44
35	15,12	17,41	-1,99	-0,21	1,35	0,01	-0,21	-1,26	2,16	-1,14	-0,68	0,44
36	30,08	36,54	-3,29	-0,38	2,11	-0,04	-0,27	-2,04	3,48	-1,86	-0,54	0,32
37	35,05	41,24	-3,79	0,00	2,39	0,00	-0,29	-2,30	3,98	-2,10	-0,60	0,40
38	35,58	41,41	-3,79	0,45	2,42	-0,09	-0,29	-2,34	4,06	-2,16	-0,62	0,38
39	40,05	45,44	-4,29	-0,47	2,68	-0,18	-0,32	-2,58	4,48	-2,38	-0,66	0,40
40	41,01	45,64	-4,49	-0,51	2,80	-0,21	-0,34	-2,68	4,66	-2,50	-0,68	0,44
41	43,09	47,76	-4,69	-0,53	2,92	-0,23	-0,35	-2,76	4,82	-2,58	-0,68	0,44
42	43,16	46,97	-4,69	-0,55	3,05	-0,24	-0,35	-2,84	4,98	-2,56	-0,74	0,48
43	47,03	48,92	-5,19	-0,56	3,65	-0,29	-0,38	-3,04	5,56	-2,78	-0,74	0,46
44	48,52	49,12	-5,89	-0,58	4,32	-0,34	-0,38	-3,22	6,18	-2,94	-0,80	0,56
45	55,31	55,54	-8,09	-0,61	6,79	-0,48	-0,38	-3,82	8,30	-3,58	-0,86	0,60
46	55,40	54,38	-8,79	-0,69	7,72	-0,53	-0,39	-4,02	9,04	-3,78	-0,96	0,72
47	45,11	43,99	-8,59	-0,72	7,68	-0,46	-0,33	-3,72	8,40	-3,44	-0,96	0,76
48	44,65	43,46	-8,49	-0,62	7,67	-0,43	-0,32	-3,68	8,36	-3,40	-0,96	0,76
49	35,25	33,99	-7,89	-0,61	7,56	-0,35	-0,26	-3,36	7,72	-3,06	-0,96	0,78
50	34,62	33,36	-7,89	-0,51	7,56	-0,34	-0,25	-3,34	7,66	-3,04	-0,96	0,78
51	15,12	14,43	-6,39	-0,32	6,58	-0,18	-0,14	-2,52	6,12	-2,20	-0,92	0,78
52	15,29	14,60	-6,39	-0,31	6,58	-0,18	-0,13	-2,50	6,10	-2,20	-0,94	0,78
53	0,06	0,00	-4,79	-0,10	5,72	-0,11	0,04	-1,50	4,36	-1,26	-0,56	0,40
54	0,06	0,00	-4,79	-0,09	5,71	-0,10	0,06	-1,46	4,32	-1,26	-0,54	0,38
55	15,12	14,50	-5,69	-0,33	5,79	-0,15	-0,09	-2,38	5,78	-2,08	-0,34	0,16
56	15,55	15,03	-5,79	-0,34	5,79	-0,15	-0,10	-2,42	5,84	-2,10	-0,34	0,16
57	30,05	28,86	-7,09	-0,49	6,585	-0,29	-0,22	-3,06	7,06	-2,76	-0,4	0,2
58	30,58	29,46	-7,09	-0,5	6,585	-0,29	-0,225	-3,08	7,1	-2,78	-0,42	0,2
59	55,27	53,45	-8,89	-0,72	7,805	-0,545	-0,38	-4,02	9	-3,74	-0,46	0,2
60	55,01	53,22	-9,19	-0,725	8,045	-0,565	-0,38	-4,1	9,2	-3,84	-0,46	0,2
61	58,25	58,95	-11,79	-0,755	11,76	-0,67	-0,195	-4,9	11,9	-4,58	-0,46	0,24
62	60,1	58,45	-13,39	-0,76	13,93	-0,695	-0,115	-5,36	13,54	-4,98	-0,48	0,28
63	61,63	56,5	-19,29	-0,74	21,02	-1,07	-0,035	-7,04	19,2	-6,48	-0,84	0,72
64	63,61	58,59	-26,79	-0,125	30,215	-1,365	-0,05	-9,14	26,1	-8,52	-1,22	1,18
65	64,11	58,49	-27,99	0,005	31,52	-1,365	-0,105	-9,5	27,24	-8,86	-1,24	1,24



Evaluasi beban batas : Keruntuhan terjadi pada tahapan beban ke-4 dengan beban sebesar 122,6 kN.



Gambar L2.10 Notasi penomoran *strain gauge* pada balok uji [Hardjasaputra, 2005]

Tabel L2.10 Data Hasil Pembacaan *starin gauge* [Hardjasaputra, 2005]

No.	LC-1	LC-2	Str-1	Str-2	Str-3	Str-4	Str-5	Str-6	Str-7	Str-8	Str-9	Str-10	Str-11	Str-12	Str-13	Str-14	Str-15	Str-16	Str-17	Str-18	
	Load cell (ton.f)		Strain gauge (μ)																		
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,09	5,06	40,00	22,00	37,00	22,00	54,00	31,00	-25,00	-25,00	-36,00	-28,00	-24,00	-14,00	-10,00	-9,00	0,00	4,00	-13,00	-3,00	
3	5,22	5,06	42,00	23,00	41,00	22,00	61,00	35,00	-25,00	-25,00	-36,00	-28,00	-23,00	-13,00	-8,00	-8,00	1,00	5,00	-13,00	-1,00	
4	10,49	10,52	113,00	53,00	83,00	48,00	278,00	140,00	-51,00	-52,00	-78,00	-60,00	-50,00	-29,00	-22,00	-15,00	2,00	16,00	-26,00	-6,00	
5	10,26	10,36	136,00	62,00	91,00	50,00	304,00	161,00	-51,00	-51,00	-82,00	-60,00	-49,00	-28,00	-23,00	-14,00	1,00	16,00	-21,00	-2,00	
6	15,09	15,22	325,00	147,00	128,00	92,00	552,00	328,00	-70,00	-78,00	-138,00	-92,00	-75,00	-44,00	-36,00	-11,00	4,00	4,00	-54,00	11,00	
7	15,29	15,65	366,00	197,00	203,00	111,00	627,00	379,00	-71,00	-82,00	-159,00	-99,00	-77,00	-47,00	-37,00	-8,00	8,00	2,00	-12,00	10,00	
8	10,12	10,13	294,00	162,00	159,00	81,00	502,00	311,00	-46,00	-56,00	-116,00	-67,00	-52,00	-32,00	-25,00	-4,00	5,00	0,00	-1,00	14,00	
9	10,12	10,13	292,00	162,00	159,00	84,00	500,00	309,00	-46,00	-55,00	-114,00	-67,00	-52,00	-30,00	-25,00	-2,00	6,00	0,00	0,00	14,00	
10	4,96	4,60	207,00	119,00	107,00	51,00	347,00	224,00	-20,00	-29,00	-68,00	-33,00	-22,00	-15,00	-12,00	0,00	3,00	-3,00	8,00	14,00	
11	5,03	4,67	208,00	119,00	108,00	56,00	346,00	222,00	-19,00	-28,00	-68,00	-34,00	-22,00	-14,00	-13,00	2,00	4,00	-3,00	9,00	14,00	
12	0,00	0,00	124,00	76,00	59,00	30,00	204,00	140,00	5,00	-1,00	-24,00	-2,00	2,00	1,00	-1,00	10,00	2,00	-7,00	19,00	15,00	
13	0,00	0,00	122,00	75,00	58,00	32,00	200,00	136,00	5,00	0,00	-22,00	-1,00	4,00	2,00	0,00	11,00	2,00	-7,00	19,00	16,00	
14	5,32	5,16	205,00	117,00	108,00	60,00	342,00	216,00	-20,00	-29,00	-70,00	-34,00	-23,00	-14,00	-13,00	3,00	4,00	-2,00	8,00	14,00	
15	5,22	5,10	203,00	116,00	109,00	59,00	340,00	216,00	-18,00	-28,00	-68,00	-33,00	-21,00	-13,00	-13,00	3,00	4,00	-2,00	9,00	14,00	
16	10,02	9,99	276,00	151,00	150,00	86,00	469,00	287,00	-41,00	-53,00	-110,00	-62,00	-47,00	-27,00	-23,00	0,00	6,00	1,00	0,00	13,00	
17	9,99	9,99	277,00	153,00	153,00	84,00	473,00	289,00	-42,00	-53,00	-111,00	-62,00	-47,00	-27,00	-23,00	0,00	7,00	1,00	0,00	13,00	
18	15,12	14,99	362,00	196,00	202,00	117,00	612,00	368,00	-65,00	-77,00	-157,00	-92,00	-72,00	-43,00	-35,00	-2,00	9,00	4,00	-7,00	13,00	
19	14,92	14,86	363,00	198,00	206,00	115,00	617,00	371,00	-65,00	-76,00	-158,00	-91,00	-72,00	-42,00	-35,00	-2,00	9,00	3,00	-6,00	13,00	
20	20,02	20,06	536,00	337,00	528,00	255,00	803,00	474,00	-95,00	-109,00	-251,00	-128,00	-138,00	-56,00	-38,00	-12,00	13,00	3,00	18,00	16,00	
21	20,22	20,95	606,00	370,00	566,00	259,00	838,00	492,00	-184,00	-110,00	-273,00	-134,00	-155,00	-18,00	-31,00	8,00	22,00	7,00	17,00	18,00	
22	25,15	25,88	776,00	505,00	747,00	266,00	993,00	579,00	-244,00	-135,00	-342,00	-167,00	-239,00	-16,00	-15,00	8,00	36,00	8,00	16,00	27,00	
23	25,45	26,35	824,00	563,00	786,00	195,00	1034,00	606,00	-262,00	-136,00	-358,00	-170,00	-283,00	-12,00	-6,00	7,00	31,00	12,00	18,00	42,00	
24	30,02	31,41	986,00	684,00	931,00	186,00	1186,00	698,00	-319,00	-159,00	-413,00	-201,00	-353,00	-11,00	0,00	4,00	48,00	14,00	18,00	66,00	
25	30,22	31,41	1015,00	716,00	956,00	129,00	1209,00	718,00	-333,00	-160,00	-424,00	-202,00	-368,00	-6,00	6,00	5,00	53,00	17,00	23,00	82,00	
26	24,92	25,58	892,00	641,00	836,00	72,00	1068,00	642,00	-291,00	-133,00	-373,00	-167,00	-323,00	0,00	10,00	6,00	48,00	18,00	26,00	81,00	
27	25,08	25,78	893,00	642,00	838,00	82,00	1071,00	643,00	-290,00	-132,00	-374,00	-168,00	-325,00	0,00	10,00	7,00	49,00	16,00	26,00	81,00	
28	20,05	20,02	747,00	546,00	695,00	40,00	899,00	546,00	-238,00	-107,00	-312,00	-132,00	-270,00	3,00	11,00	7,00	38,00	16,00	25,00	74,00	
29	20,25	20,22	750,00	549,00	700,00	46,00	905,00	550,00	-239,00	-109,00	-315,00	-134,00	-272,00	3,00	11,00	7,00	39,00	15,00	25,00	74,00	
30	15,19	14,56	634,00	476,00	584,00	2,00	757,00	468,00	-196,00	-81,00	-256,00	-99,00	-222,00	9,00	15,00	10,00	36,00	14,00	29,00	72,00	
31	15,15	14,56	630,00	476,00	581,00	6,00	755,00	466,00	-196,00	-82,00	-257,00	-99,00	-222,00	9,00	15,00	9,00	35,00	14,00	29,00	72,00	
32	0,00	0,00	237,00	214,00	222,00	-74,00	264,00	178,00	-42,00	2,00	-65,00	-1,00	-53,00	24,00	22,00	19,00	16,00	2,00	39,00	56,00	
33	-0,03	0,00	242,00	211,00	222,00	-30,00	256,00	174,00	-37,00	6,00	-59,00	2,00	-43,00	28,00	25,00	24,00	17,00	4,00	41,00	57,00	
34	15,06	17,51	635,00	462,00	589,00	108,00	775,00	472,00	-184,00	-78,00	-256,00	-104,00	-213,00	13,00	12,00	17,00	33,00	16,00	30,00	72,00	
35	15,12	17,41	634,00	463,00	591,00	92,00	778,00	474,00	-185,00	-78,00	-257,00	-104,00	-215,00	14,00	13,00	18,00	34,00	17,00	30,00	72,00	
36	30,08	36,54	1072,00	759,00	1035,00	127,00	1314,00	783,00	-350,00	-160,00	-447,00	-219,00	-409,00	3,00	12,00	13,00	62,00	17,00	32,00	104,00	
37	35,05	41,24	1238,00	873,00	1184,00	86,00	1472,00	885,00	-417,00	-187,00	-506,00	-255,00	-500,00	5,00	21,00	11,00	72,00	16,00	34,00	139,00	
38	35,58	41,41	1260,00	890,00	1203,00	80,00	1492,00	899,00	-429,00	-190,00	-516,00	-261,00	-517,00	8,00	25,00	11,00	73,00	18,00	36,00	147,00	
39	40,05	45,44	1403,00	977,00	1330,00	103,00	1656,00	1017,00	-478,00	-210,00	-552,00	-356,00	-575,00	11,00	37,00	11,00	85,00	-14,00	39,00	200,00	
40	41,01	45,64	1460,00	1012,00	1353,00	92,00	1651,00	1066,00	-504,00	-218,00	-569,00	-382,00	-609,00	14,00	40,00	9,00	85,00	-17,00	43,00	233,00	

No.	LC-1	LC-2	Str-1	Str-2	Str-3	Str-4	Str-5	Str-6	Str-7	Str-8	Str-9	Str-10	Str-11	Str-12	Str-13	Str-14	Str-15	Str-16	Str-17	Str-18	
	Load cell (ton.f)																				Strain gauge (μ)
Lanjutan																					
41	43,09	47,76	1520,00	1049,00	1403,00	108,00	1687,00	1109,00	-525,00	-229,00	-590,00	-402,00	-633,00	14,00	41,00	8,00	88,00	-20,00	43,00	243,00	
42	43,16	46,97	1533,00	1063,00	1393,00	100,00	1647,00	1140,00	-533,00	-233,00	-604,00	-417,00	-649,00	16,00	42,00	8,00	84,00	-22,00	49,00	249,00	
43	47,03	48,92	1592,00	1119,00	1421,00	98,00	1669,00	1175,00	-568,00	-252,00	-659,00	-474,00	-682,00	17,00	45,00	6,00	73,00	-27,00	49,00	256,00	
44	48,52	49,12	1604,00	1190,00	1463,00	83,00	1659,00	1179,00	-596,00	-288,00	-736,00	-510,00	-711,00	23,00	50,00	1,00	95,00	-30,00	57,00	263,00	
45	55,31	55,54	1420,00	1465,00	1532,00	98,00	1659,00	1238,00	-675,00	-450,00	-876,00	-638,00	-820,00	35,00	63,00	-21,00	308,00	-46,00	63,00	302,00	
46	55,40	54,38	1331,00	1514,00	1494,00	97,00	1610,00	1230,00	-707,00	-473,00	-882,00	-666,00	-892,00	55,00	76,00	-18,00	313,00	-48,00	84,00	321,00	
47	45,11	43,99	1049,00	1333,00	1242,00	6,00	1343,00	1081,00	-619,00	-406,00	-797,00	-579,00	-790,00	61,00	73,00	-12,00	293,00	-33,00	83,00	320,00	
48	44,65	43,46	1042,00	1324,00	1225,00	15,00	1329,00	1073,00	-615,00	-404,00	-794,00	-575,00	-783,00	58,00	72,00	-14,00	290,00	-32,00	83,00	319,00	
49	35,25	33,99	785,00	1141,00	977,00	-32,00	1074,00	926,00	-528,00	-342,00	-708,00	-491,00	-684,00	62,00	68,00	-8,00	270,00	-19,00	79,00	309,00	
50	34,62	33,36	774,00	1131,00	967,00	-15,00	1055,00	913,00	-519,00	-335,00	-697,00	-483,00	-674,00	63,00	68,00	-6,00	268,00	-18,00	81,00	309,00	
51	15,12	14,43	265,00	738,00	457,00	-10,00	508,00	579,00	-316,00	-195,00	-473,00	-290,00	-430,00	66,00	52,00	6,00	219,00	0,00	72,00	203,00	
52	15,29	14,60	281,00	742,00	472,00	0,00	507,00	579,00	-311,00	-192,00	-468,00	-286,00	-425,00	67,00	53,00	8,00	218,00	1,00	75,00	203,00	
53	0,06	0,00	-113,00	430,00	68,00	-71,00	69,00	284,00	-112,00	-69,00	-184,00	-107,00	-185,00	64,00	32,00	27,00	174,00	4,00	77,00	146,00	
54	0,06	0,00	-93,00	427,00	78,00	-57,00	62,00	279,00	-105,00	-65,00	-169,00	-98,00	-174,00	63,00	31,00	27,00	171,00	3,00	77,00	148,00	
55	15,12	14,50	302,00	708,00	508,00	111,00	497,00	546,00	-255,00	-166,00	-384,00	-248,00	-376,00	53,00	42,00	6,00	206,00	0,00	68,00	168,00	
56	15,55	15,03	306,00	716,00	515,00	93,00	516,00	557,00	-262,00	-169,00	-395,00	-255,00	-387,00	54,00	44,00	7,00	208,00	0,00	69,00	170,00	
57	30,05	28,86	701,00	1028,00	897,00	113,00	937,00	821,00	-429,00	-274,00	-566,00	-404,00	-590,00	56,00	58,00	-4,00	248,00	-15,00	83,00	229,00	
58	30,58	29,46	706,00	1035,00	902,00	116,00	954,00	831,00	-436,00	-278,00	-576,00	-410,00	-600,00	56,00	59,00	-3,00	249,00	-16,00	84,00	229,00	
59	55,27	53,45	1419,00	1536,00	1544,00	182,00	1611,00	1233,00	-694,00	-455,00	-828,00	-646,00	-905,00	54,00	78,00	-16,00	311,00	-48,00	118,00	325,00	
60	55,01	53,22	1352,00	1542,00	1536,00	164,00	1600,00	1230,00	-708,00	-461,00	-845,00	-655,00	-927,00	57,00	80,00	-14,00	326,00	-46,00	130,00	328,00	
61	58,25	58,95	9801,00	1507,00	1773,00	209,00	1684,00	1354,00	-734,00	-620,00	-951,00	-772,00	-1043,00	50,00	88,00	4,00	295,00	-52,00	189,00	359,00	
62	60,10	58,45	3356,00	1532,00	1991,00	203,00	1637,00	1354,00	-723,00	-653,00	1002,00	-811,00	-1067,00	48,00	92,00	5,00	222,00	-43,00	204,00	359,00	
63	61,63	56,50	6268,00	9488,00	0,00	0,00	8288,00	1310,00	-728,00	-867,00	1144,00	-1021,00	-1225,00	49,00	118,00	3,00	204,00	555,00	267,00	381,00	
64	63,61	58,59	0,00	16186,00	0,00	0,00	11339,00	5100,00	-760,00	-1163,00	1188,00	-1693,00	-1345,00	52,00	133,00	-8,00	368,00	1592,00	487,00	660,00	
65	64,11	58,49	0,00	16742,00	0,00	0,00	11584,00	5639,00	-770,00	-1212,00	1205,00	-1836,00	-1363,00	53,00	140,00	-12,00	385,00	1666,00	611,00	752,00	
66	65,07	57,53	0,00	17592,00	0,00	0,00	10109,00	5380,00	-769,00	-1242,00	1203,00	-2001,00	-1352,00	55,00	145,00	-12,00	423,00	1701,00	732,00	797,00	
67	58,25	57,03	0,00	18470,00	0,00	0,00	5002,00	3521,00	-981,00	-1002,00	1231,00	-4924,00	-1350,00	40,00	193,00	1408,00	537,00	1670,00	2076,00	1008,00	
68	44,08	55,61	0,00	18209,00	0,00	0,00	4852,00	3441,00	-1163,00	0,00	1193,00	-5021,00	-1305,00	-52,00	191,00	1571,00	868,00	1639,00	2239,00	973,00	
69	41,54	55,90	0,00	18163,00	0,00	0,00	4804,00	3439,00	-1203,00	0,00	1212,00	-5080,00	-1300,00	-85,00	190,00	0,00	942,00	1634,00	2288,00	968,00	
70	39,95	57,10	0,00	18126,00	0,00	0,00	4748,00	3428,00	-1293,00	0,00	1258,00	-5236,00	-1306,00	-127,00	188,00	0,00	916,00	1634,00	2340,00	970,00	
71	38,13	59,41	0,00	18087,00	0,00	0,00	4682,00	3408,00	0,00	0,00	1383,00	-5565,00	-1318,00	-160,00	188,00	0,00	1036,00	1635,00	0,00	977,00	
72	35,01	57,49	0,00	17993,00	0,00	0,00	4606,00	3354,00	0,00	0,00	1365,00	-5714,00	-1299,00	-159,00	189,00	0,00	1145,00	1629,00	0,00	963,00	
73	34,15	58,42	0,00	17970,00	0,00	0,00	4598,00	3356,00	0,00	0,00	1378,00	-5812,00	-1305,00	-148,00	189,00	0,00	1157,00	1632,00	0,00	966,00	
74	32,53	60,11	0,00	0,00	0,00	0,00	4552,00	3328,00	0,00	0,00	1443,00	-6192,00	-1312,00	1,00	191,00	0,00	1192,00	1638,00	0,00	966,00	
75	28,16	52,83	0,00	0,00	0,00	0,00	4425,00	3208,00	0,00	0,00	1381,00	-6183,00	-1241,00	0,00	190,00	0,00	1157,00	1622,00	0,00	926,00	
76	24,32	46,27	0,00	0,00	0,00	0,00	4282,00	3065,00	0,00	0,00	1276,00	-6039,00	-1142,00	0,00	185,00	0,00	1082,00	1571,00	0,00	802,00	
77	11,94	23,33	0,00	0,00	0,00	0,00	3935,00	2699,00	0,00	0,00	-928,00	-5438,00	-815,00	3,00	163,00	0,00	741,00	1328,00	0,00	403,00	
78	4,70	10,19	0,00	0,00	0,00	0,00	3831,00	2559,00	0,00	0,00	-604,00	-4959,00	-598,00	7,00	128,00	0,00	468,00	1151,00	0,00	242,00	
79	0,76	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	3748,00	2489,00	0,00	0,00	-215,00	-4457,00	-420,00	13,00	117,00	0,00	210,00	991,00	0,00	183,00	