

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini mencakup tentang hasil penelitian yang berupa data hasil pengujian karakteristik dari benda uji yang diperoleh dari balok kayu bengkirai dan data hasil pengujian sampel balok kayu bengkirai. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dibahas untuk membuktikan hipotesis yang telah diajukan serta menarik kesimpulan akhir tentang penelitian tersebut.

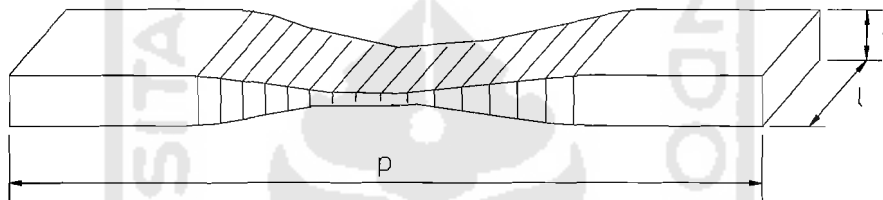
5.1 Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, pengujian yang dilakukan ada dua jenis yaitu pertama pengujian terhadap balok kayu bengkirai dengan tambahan tulangan baja sebagai pemberi prategang dan kedua pengujian terhadap kayu bengkirai yaitu uji tarik, uji desak, uji geser dan uji berat jenis.

Pengujian terhadap sampel balok kayu bengkirai dengan baja tulangan sebagai pemberi prategang akan diperoleh data gaya tarik tulangan baja, gaya lentur maksimum dan lendutan, kemudian data tersebut dianalisis untuk memperoleh grafik hubungan gaya tarik tulangan baja dengan gaya lentur maksimum. Sedangkan pengujian terhadap kayu bengkirainya sendiri akan didapat kekuatan yang sesungguhnya dari kayu yang dipakai untuk membuat sampel. Selain analisis data dilakukan juga analisis tegangan.

5.1.1 Hasil Uji Kuat Tarik Kayu Searah Serat

Pengujian tarik kayu searah serat dilakukan dengan membuat 27 sampel yang diambil dari sampel balok kayu bengkirai yang sudah diuji pengaruh prategangnya, 3 buah diambil dari sisi kiri, 3 dari sisi kanan dan 3 dari tengah bentang balok kayu Bengkirai. Adapun bentuk benda uji tarik kayu searah serat ditampilkan pada Gambar 5.1, pengujian tarik benda uji tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan Lampiran L.IV.2.1.



Gambar 5.1 Model benda uji kuat tarik kayu bengkirai searah serat



Gambar 5.2 Benda uji tarik kayu bengkirai searah serat siap diuji

Setelah dilakukan pengujian kuat tarik kayu searah serat, kemudian dihitung tegangan tariknya untuk masing-masing sampel dan tegangan tarik rata-rata maksimumnya. Data hasil pengujian kuat tarik kayu bengkirai searah serat dapat dilihat pada Lampiran L.I.1.1 sampai dengan Lampiran L.I.1.27, sedangkan hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil uji kuat tarik kayu bengkirai searah serat dan perhitungannya

Sampel	Luas rata-rata (A) (cm ²)	P _{tarik} (kg)	Teg. Tarik $\sigma_{tr //} = P/A$ (kg/cm ²)	$(x - \bar{x})^2$	Tegangan Tarik rata-rata maks. (kg/cm ²)
1 KI a	1,9485	980	502,951	97039,0123	814,4618
1 KI b	1,2578	780	620,1413	37760,4565	
1 KI c	0,9583	945	986,1556	29478,7323	
1 T a	1,8274	1245	681,2884	17735,1727	
1 T b	1,9172	1525	795,4239	362,4424	
1 T c	1,3947	1070	767,1956	2234,0998	
1 KA a	0,9964	1365	1369,915	308527,7312	
1 KA b	0,8577	685	798,6786	249,1112	
1 KA c	1,6267	1315	808,4077	36,6531	
2 KI a	2,3731	1435	604,685	14,3007	600,9034
2 KI b	1,3796	1040	753,8485	23392,2148	
2 KI c	2,1529	1355	629,3791	810,8676	
2 T a	1,1395	1190	1044,357	196651,0731	
2 T b	0,9570	985	1029,294	183518,4741	
2 T c	1,2528	770	614,6178	188,0849	
2 KA a	1,8171	585	321,9475	77816,4086	
2 KA b	2,7347	330	120,6708	230623,3184	
2 KA c	2,2638	655	289,3308	97077,4561	
3 KI a	0,9684	600	619,6107	709,4103	592,9759
3 KI b	1,2940	860	664,5985	5129,7990	
3 KI c	1,5198	670	265,8994	106979,0539	
3 T a	1,1603	480	413,6921	32142,7035	
3 T b	1,3590	1000	423,903	28585,6374	
3 T c	0,8107	910	1122,533	280430,5886	
3 KA a	1,1824	560	473,613	14247,5091	
3 KA b	0,9163	510	556,5863	1324,2066	
3 KA c	0,9418	750	796,3474	41359,9666	

Menurut Fisher dan Wilks dalam buku terjemahannya oleh Anwar (1979), mengemukakan rumus standar deviasi untuk sampel berukuran kecil ($n \leq 100$)

$$\text{adalah : SD} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(5.1)$$

Sedangkan estimasi tegangan tarik dari populasinya berdasarkan tegangan tarik rata-rata sampel (n berukuran kecil) dengan populasi berdistribusi normal dan signifikansi ($\alpha = 0,05$), yaitu mengikuti rumus uji - t (uji dua arah) :

$$\sigma_p = \sigma_{n,s} \pm 2,306 \left(\frac{\text{SD}}{\sqrt{n}} \right) \dots\dots\dots(5.2)$$

Dengan menggunakan Persamaan 5.1 dan Persamaan 5.2, diperoleh standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah tegangan tarik populasi dari data uji karakteristik kayu bengkirai untuk setiap benda uji. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran L.III.1.1 dan Lampiran L.III.1.2, sedangkan nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah kuat tariknya ditampilkan pada Tabel 5.2.

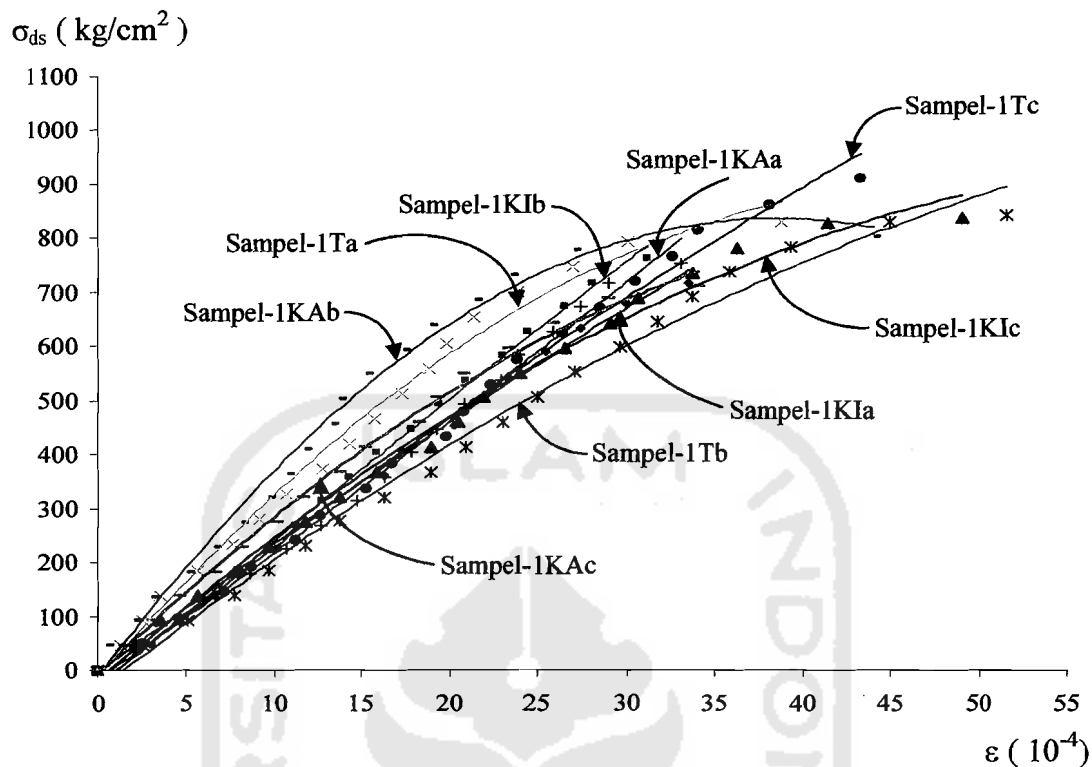
Tabel 5.2 Nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah dari data uji kuat tarik kayu bengkirai searah serat

No	Benda uji	Standar deviasi (kg/cm ²)	Estimasi	
			Batas bawah (kg/cm ²)	Batas atas (kg/cm ²)
1.	Benda uji- 1	248,3504	623,56	1005,36
2.	Benda uji- 2	318,2162	356,30	845,51
3.	Benda uji- 3	252,7125	398,72	787,23
4.	Benda uji gabungan	264,1696	552,21	786,68

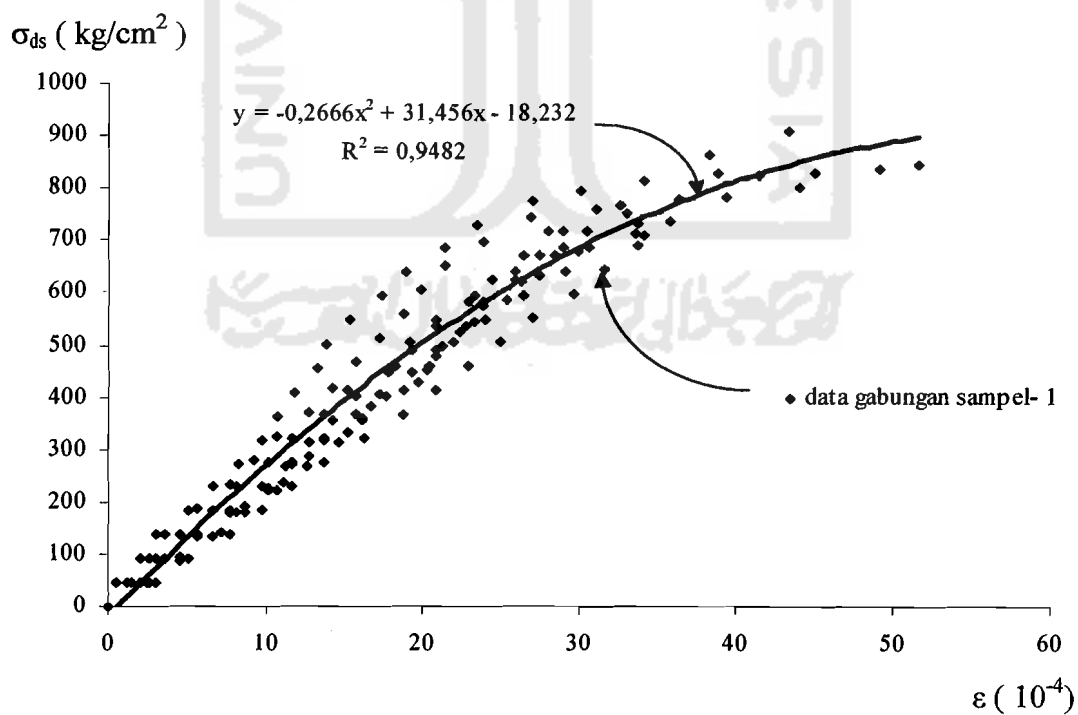
Setelah dilakukan pengujian kuat desak kayu bengkirai searah serat yang data kuat desak dan perubahan panjang hasil pengujiannya dapat dilihat pada Lampiran L.I.2.1 sampai dengan Lampiran L.I.2.27, kemudian dihitung tegangan desak masing - masing benda uji dan tegangan desak rata-rata maksimum dari kayu bengkirai.

Dengan data hasil perhitungan tegangan – regangan kemudian dibuat grafik tegangan - regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat dari benda uji- 1, benda uji- 2 dan benda uji- 3 untuk menggambarkan hubungan kedua variabel tersebut yang pada prinsipnya adalah mengikuti persamaan polinomial. Gambar 5.5, Gambar 5.7 dan Gambar 5.9 merupakan grafik hubungan antara tegangan dan regangan desak kayu bengkirai untuk kelompok benda ujil- 1, benda uji- 2 dan benda uji- 3, sedangkan Gambar 5.6, Gambar 5.8 dan Gambar 5.10 merupakan grafik hubungan antara tegangan dan regangan desak kayu untuk data gabungan kelompok benda uji yang jumlah benda ujinya 27 buah setiap kelompoknya.

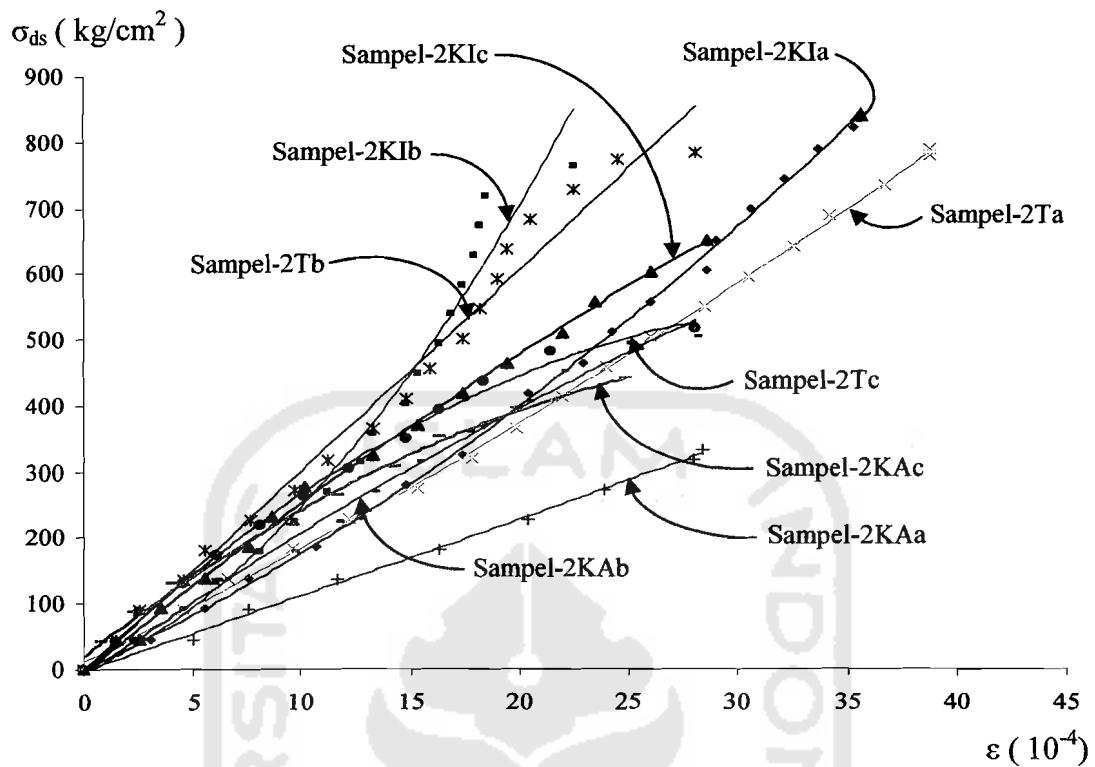
Darai grafik hubungan tegangan – regangan desak kayu bengkirai ini, kemudian dapat dicari modulus elastisnya yaitu perbandingan tegangan dan regangan sebanding pada regangan 2 persen.



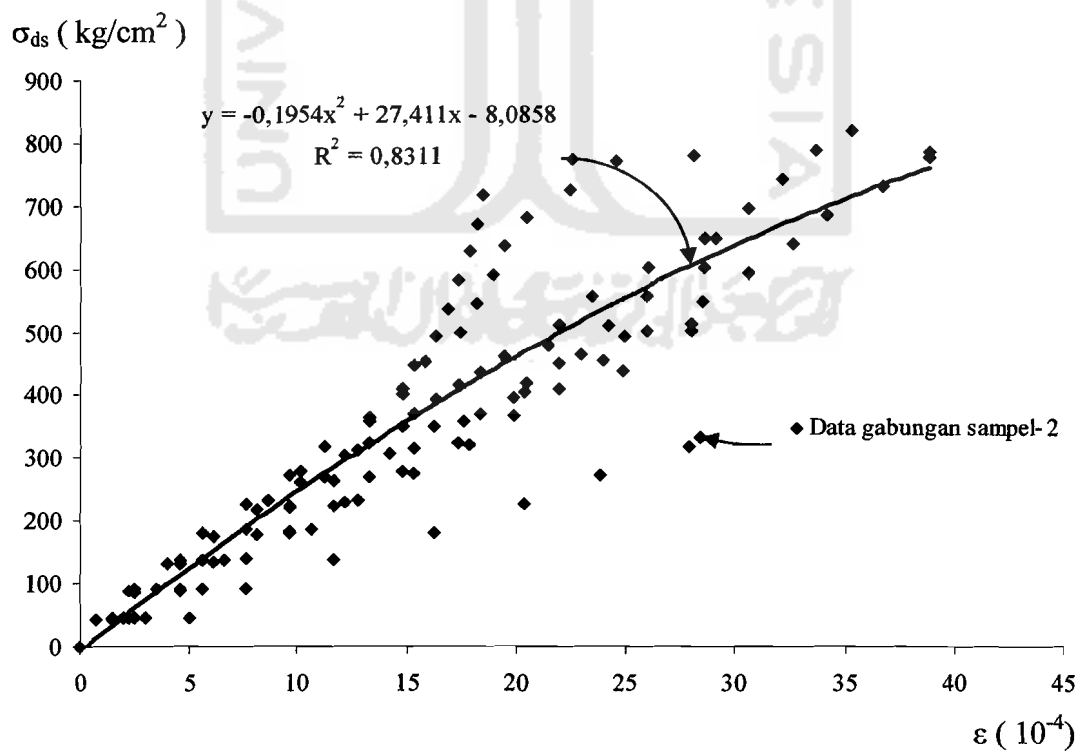
Gambar 5.5 Grafik tegangan - regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat untuk kelompok sampel- 1



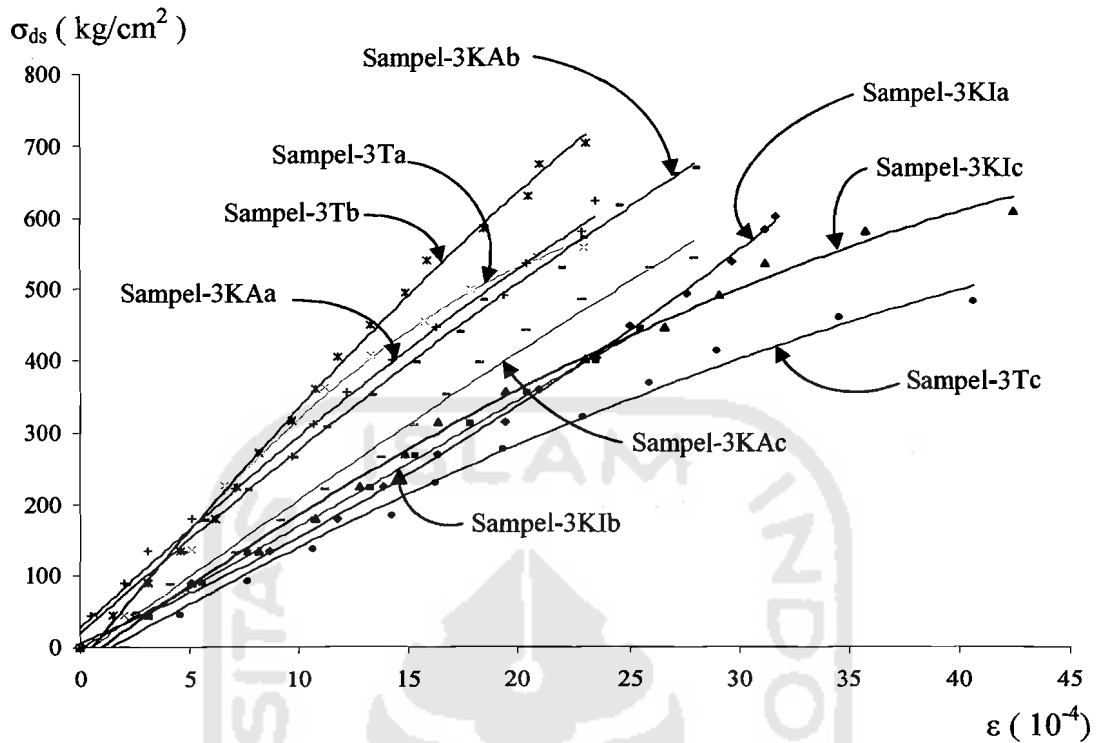
Gambar 5.6 Grafik tegangan – regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat untuk data gabungan kelompok sampel-1



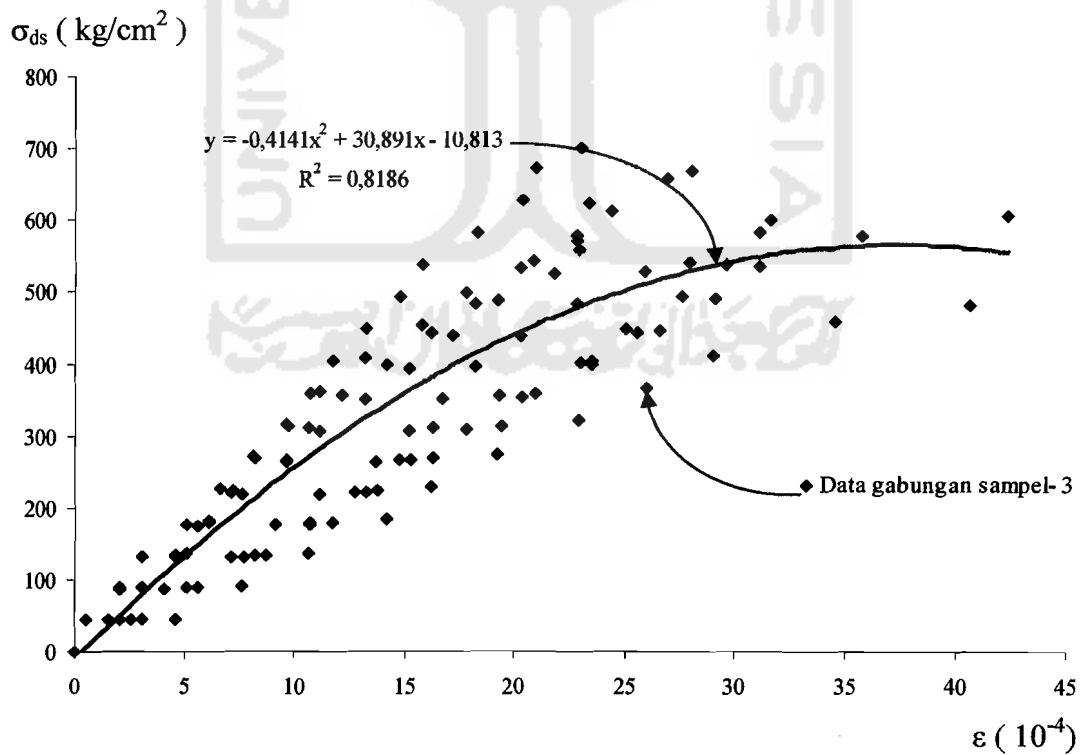
Gambar 5.7 Grafik tegangan - regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat untuk kelompok sampel- 2



Gambar 5.8 Grafik tegangan – regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat Untuk data gabungan kelompok sampel-2



Gambar 5.9 Grafik tegangan - regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat Untuk kelompok sampel- 3



Gambar 5.10 Grafik tegangan – regangan kuat desak kayu bengkirai searah serat untuk data gabungan kelompok sampel-3

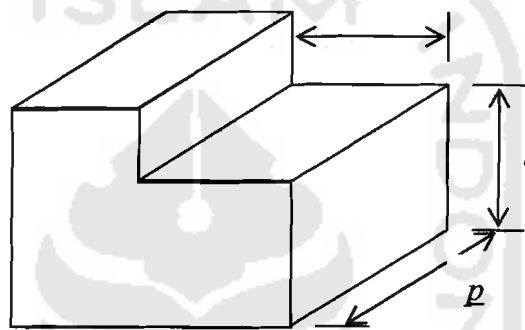
Dari data hasil penelitian kuat desak kayu bengkirai searah serat didapatkan beban desak maksimum (P_{desak}), kemudian dihitung tegangan desak kayu untuk masing-masing sampel seperti disajikan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil uji kuat desak kayu searah serat dan perhitungannya

Sampel	Luas A (cm ²)	P_{desak} (kg)	Teg. Desak $\sigma_{ds//} = P/A$ (kg/cm ²)	$(x - \bar{x})^2$	Teg. desak rata-rata (kg/cm ²)
1 KI a	22,1260	15800	714,0920	6473,3527	794,5492
1 KI b	22,3626	17000	760,1978	1180,0143	
1 KI c	21,8286	18200	833,7685	1538,1594	
1 T a	21,4758	17800	828,8399	1175,8546	
1 T b	21,7562	18300	841,1395	2170,6626	
1 T c	20,9050	19000	908,8735	13070,0475	
1 KA a	22,3572	16800	751,4358	1858,7642	
1 KA b	21,9324	17600	802,4658	62,6724	
1 KA c	21,8270	15500	710,1297	7126,6538	
2 KI a	21,5760	17700	820,3560	38179,62799	624,9599
2 KI b	22,3503	17000	760,6162	18402,63643	
2 KI c	21,6080	14900	689,5594	4173,102009	
2 T a	21,8890	17200	785,7828	25864,01867	
2 T b	22,0220	17200	781,0371	24360,11527	
2 T c	22,9446	11800	514,2822	12249,54081	
2 KA a	22,0150	7300	331,5921	86064,6514	
2 KA b	22,2828	11200	502,6298	14964,63874	
2 KA c	22,7903	10000	438,7832	34661,7654	
3 KI a	22,3342	13400	599,9767	414,3294	579,6216
3 KI b	22,6044	10000	442,3917	18832,0419	
3 KI c	22,4455	13600	605,9121	691,1885	
3 T a	22,0800	12300	557,0652	508,7919	
3 T b	22,2650	15600	700,6512	14648,1671	
3 T c	21,8300	10500	480,9895	9728,3049	
3 KA a	22,5000	14000	622,2222	1814,8101	
3 KA b	22,7934	15200	666,8597	7610,4810	
3 KA c	22,7556	12300	540,5263	1528,4461	

5.1.3 Hasil Uji Kuat Geser Kayu Searah Serat

Uji geser kayu searah serat dilakukan dengan membuat 27 sampel, masing-masing 3 sampel diambil dari sisi kiri, sisi kanan dan tengah bentang ketiga balok kayu bengkirai setelah diuji pengaruh prategangnya. Adapun bentuk sampelnya seperti pada Gambar 5.11, pengujian geser sampel tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Lampiran L.IV.2.3.



Gambar 5.11 Bentuk benda uji geser kayu searah serat



Gambar 5.12 Benda uji kuat geser kayu searah serat siap uji

Setelah dilakukan pengujian kuat geser kayu bengkirai searah serat didapatkan beban geser maksimum (P_{geser}) yang dapat dilihat pada Lampiran L.III.3.1 sampai dengan Lampiran L.III.3.2, kemudian dihitung tegangan geser kayu untuk setiap benda uji yang selengkapnya ditampilkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Ukuran benda uji dan perhitungan hasil uji kuat geser kayu searah serat

Sampel	Lebar L (cm)	Tebal T (cm)	Luas Geser A (cm ²)	P_{geser} (kg)	Teg. Geser $\tau = P/A$ (kg/cm ²)	$(x - \bar{x})^2$	Teg. Geser Rata-rata (kg/cm ²)
1 KI a	4,05	5,62	22,761	2680	117,7453	12,13995	114,2610
1 KI b	4,05	5,91	23,9355	3240	135,3638	445,3268	
1 KI c	4,05	5,79	23,4495	2775	118,3394	16,63324	
1 T a	4,10	5,70	23,37	2560	109,5421	22,26778	
1 T b	4,09	5,84	23,8856	2800	117,2254	8,787774	
1 T c	4,13	5,63	23,2519	2610	112,2489	4,048674	
1 KA a	4,12	5,81	23,9372	2810	117,3905	9,793657	
1 KA b	4,11	5,65	23,2215	2540	109,3814	23,8108	
1 KA c	4,09	5,85	23,9265	2180	91,1124	535,8604	
2 KI a	4,03	5,98	24,0994	3190	132,3684	442,2894	111,3378
2 KI b	4,13	5,93	24,4909	3260	133,1107	474,0593	
2 KI c	4,09	5,65	23,1085	2860	123,764	154,411	
2 T a	3,95	6,15	24,2925	2720	111,9687	0,398101	
2 T b	4,03	6,12	24,6636	2230	90,4167	437,6931	
2 T c	4,01	6,12	24,5412	2725	111,0378	0,089998	
2 KA a	4,02	6,15	24,723	2350	95,0532	265,1873	
2 KA b	4,00	6,12	24,48	2390	97,6307	187,883	
2 KA c	4,20	5,78	24,276	2590	106,6897	21,60416	
3 KI a	4,01	6,12	24,5412	2030	82,7180	279,425	99,4341
3 KI b	4,08	6,13	25,0104	2510	100,3583	0,854147	
3 KI c	4,02	6,14	24,6828	2630	106,5519	50,66422	
3 T a	4,01	6,11	24,5011	2625	107,138	59,35156	
3 T b	4,03	6,02	24,2606	2315	95,4222	16,09489	
3 T c	4,02	6,03	24,2406	2200	90,7568	75,29416	
3 KA a	3,98	6,12	24,3576	2380	97,7108	2,969674	
3 KA b	4,08	6,10	24,888	2500	100,45	1,032186	
3 KA c	3,95	6,14	24,253	2760	113,8004	206,3907	

Dengan menggunakan Persamaan 5.1 dan Persamaan 5.2 didapatkan nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah tegangan geser populasinya dari data uji kuat geser kayu bengkirai, sedangkan untuk tegangan karakteristik didapatkan dengan menggunakan Persamaan 5.3. Nilai standar deviasi, nilai estimasi dan tegangan geser karakteristik selengkapnya untuk setiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah dari data uji kuat geser kayu bengkirai

No	Benda uji	Standar deviasi (kg/cm ²)	Estimasi	
			Batas bawah (kg/cm ²)	Batas atas (kg/cm ²)
1.	Benda uji- 1	11,6118	105,34	123,19
2.	Benda uji- 2	15,7465	99,23	123,44
3.	Benda uji- 3	9,3011	92,29	106,58
4.	Benda uji gabungan	12,0166	103,01	113,68

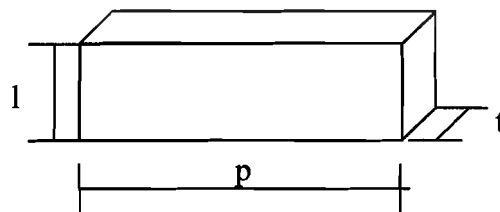
Tabel 5.10 Tegangan geser ultimit karakteristik kayu bengkirai

No	Benda uji	Tegangan geser ultimit karakteristik (kg/cm ²)
1.	Benda uji- 1	107,06
2.	Benda uji- 2	101,58
3.	Benda uji- 3	93,67
4.	Benda uji gabungan	104,04

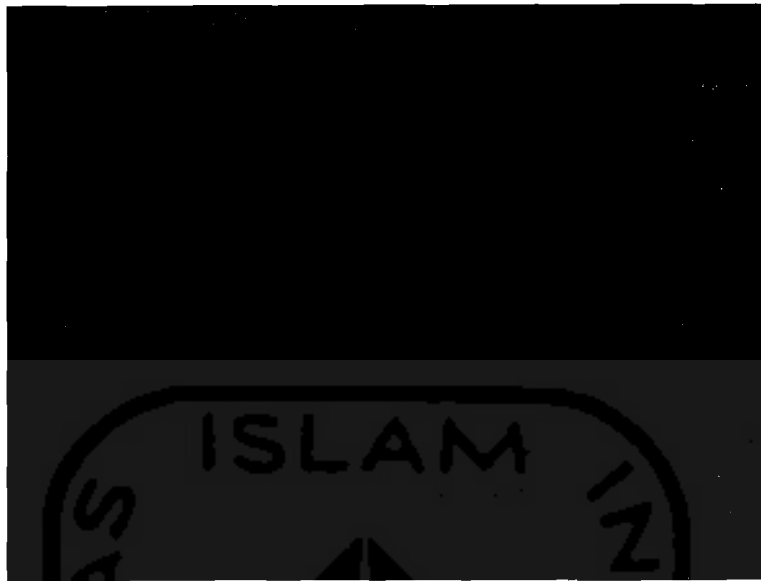
Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia didapatkan tegangan geser ultimit karakteristik berturut-turut untuk sampel- 1, sampel- 2, sampel- 3 dan sampel gabungan adalah $107,06 \text{ kg/cm}^2$, $101,58 \text{ kg/cm}^2$, $93,67 \text{ kg/cm}^2$ dan $104,04 \text{ kg/cm}^2$. tegangan geser maksimum kayu bengkirai didapatkan dengan mengambil dua pertiganya tegangan geser ultimit karakteristik terkecil, sehingga didapatkan tegangan geser maksimum sebesar $62,45 \text{ kg/cm}^2$ yang ternyata lebih besar dari tegangan ijin gesernya.

5.1.4 Hasil Uji Berat Jenis Kayu

Uji berat jenis kayu dilakukan dengan membuat 27 sampel, masing-masing 3 sampel diambil dari sisi kiri, sisi kanan dan tengah bentang setiap balok kayu bengkirai setelah diuji pengaruh prategangnya. Adapun bentuk benda uji berat jenis kayu bengkirai ditunjukkan oleh Gambar 5.13, pengujian sampel tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Lampiran L.IV.2.4.



Gambar 5.13 Bentuk benda uji berat jenis kayu



Gambar 5.14 Benda uji berat jenis kayu sebelum dioven

Berdasarkan data uji berat sebelum dan sesudah masuk oven yang dapat dilihat pada Lampiran L.I.4.1 sampai dengan Lampiran L.I.4.3, maka berat jenis kering kayu bengkirai dapat dicari. Nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah dari data uji berat jenis dan kadar air kayu bengkirai ditampilkan pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12, sedangkan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran L.III.4.1 sampai dengan Lampiran L.III.4.3.

Tabel 5.11 Nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah dari data uji berat jenis kayu bengkirai

No	Benda uji	Standar deviasi (gr/cm ³)	Estimasi	
			Batas bawah (gr/cm ³)	Batas atas (gr/cm ³)
1.	Benda uji- 1	0,1329	0,6783	0,8827
2.	Benda uji- 2	0,16	0,5934	0,8393
3.	Benda uji- 3	0,0553	0,6159	0,7009
4.	Benda uji gabungan	0,1194	0,6654	0,7714

Tabel 5.12 Nilai standar deviasi dan estimasi batas atas dan batas bawah dari data uji kadar air kayu bengkirai

No	Benda uji	Standar deviasi (%)	Estimasi	
			Batas bawah (%)	Batas atas (%)
1.	Benda uji- 1	1,0384	15,69	17,29
2.	Benda uji- 2	1,1641	15,82	17,61
3.	Benda uji- 3	1,1113	15,76	17,46
4.	Benda uji gabungan	1,0642	16,13	17,08

Dengan menggunakan data standar deviasi pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 serta Persamaan 5.3, maka berat jenis dan kadar air karakteristik kayu bengkirai dapat dicari. Perhitungan berat jenis dan kadar air karakteristik selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran L.III.4.3 sampai dengan Lampiran L.III.4.4, sedangkan nilai berat jenis dan kadar air karakteristik kayu bengkirai untuk setiap benda uji ditampilkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Berat jenis dan kadar air karakteristik kayu bengkirai

No	Benda uji	Berat jenis karakteristik (gr/cm ³)	Kadar air karakteristik (%)
1.	Benda uji- 1	0,6981	15,84
2.	Benda uji- 2	0,6171	15,99
3.	Benda uji- 3	0,6242	15,92
4.	Benda uji gabungan	0,6757	16,23

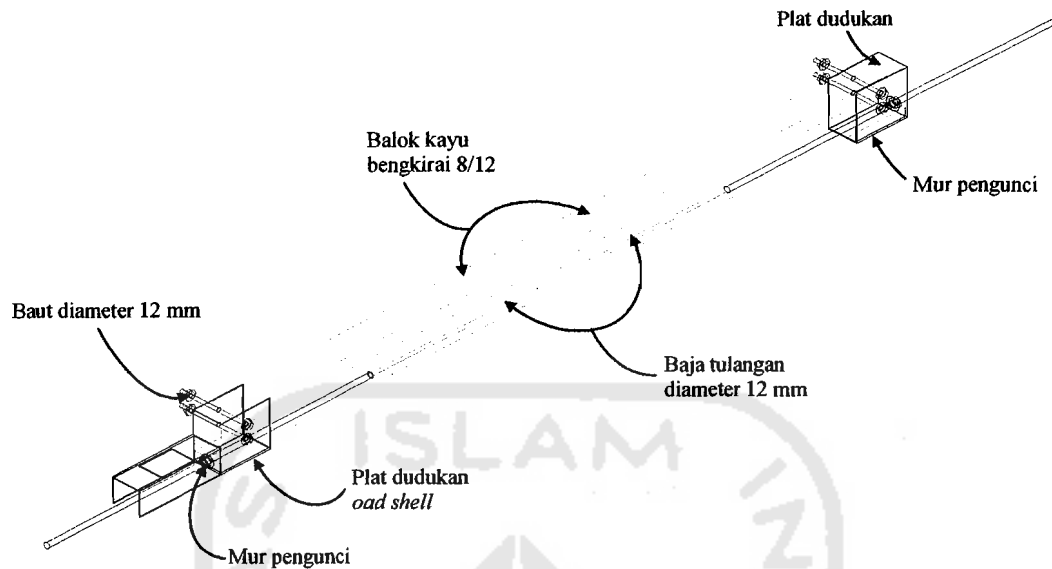
Dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia didapatkan

berat jenis kering udara karakteristik berturut - turut untuk benda uji- 1, benda uji- 2 dan benda uji- 3 adalah $0,6981 \text{ gr/cm}^3$, $0,6171 \text{ gr/cm}^3$ dan $0,6242 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan kadar air karakteristik berturut-turut 15,84 %, 15,99 %, 15,92 %.

5.1.5 Hasil Uji Pengaruh Prategang Terhadap Balok Kayu Bengkirai

Pengujian pengaruh prategang terhadap perilaku lentur balok kayu Bengkirai dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan, Pusat Antar Universitas, Universitas Gadjah Mada. Pengujian dilakukan terhadap balok kayu Bengkirai 8/12 cm dengan tulangan baja diameter 12 mm sebagai pemberi gaya prategang yang ditempatkan pada sisi bawah balok kayu di sepanjang sumbu netral. Direncanakan tiga buah sampel balok kayu yang pada setiap balok kayu akan dicari beban lentur pada lendutan maksimum yang disyaratkan pada setiap tahapan gaya prategang yang diberikan dengan interval gaya prategang sebesar 150 kg. Untuk mengetahui besar lendutan kemudian dipasang *Dial gauge* sebanyak tiga buah yang diletakkan di bawah benda uji dengan jarak yang sama antar *dial gauganya*.

Sketsa bentuk sampel balok kayu bengkirai dapat dilihat pada Gambar 5.15, sedangkan alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian serta gambaran jalannya pengujian dapat dilihat melalui foto – foto dokumentasi pada Lampiran L.IV.1.1 sampai dengan Lampiran L.IV.1.6



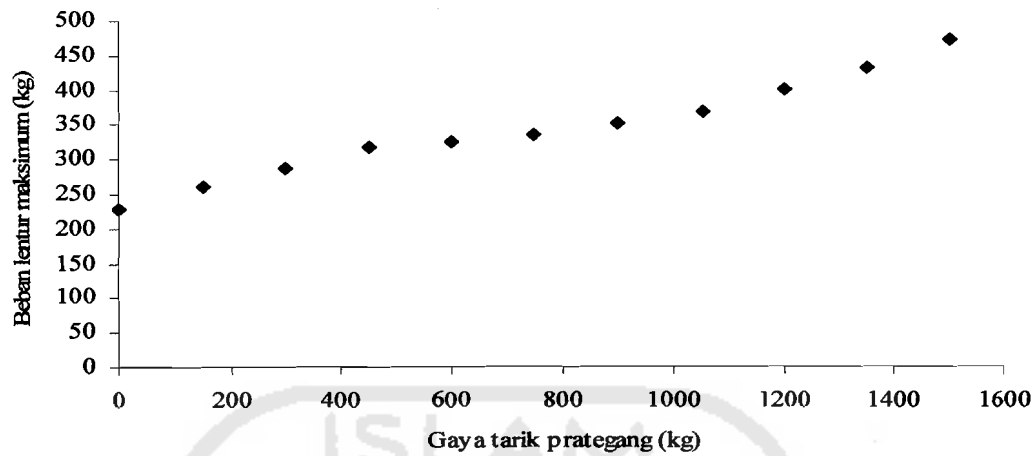
Gambar 5.15 Model sampel balok kayu bengkirai

5.2 Analisis Data

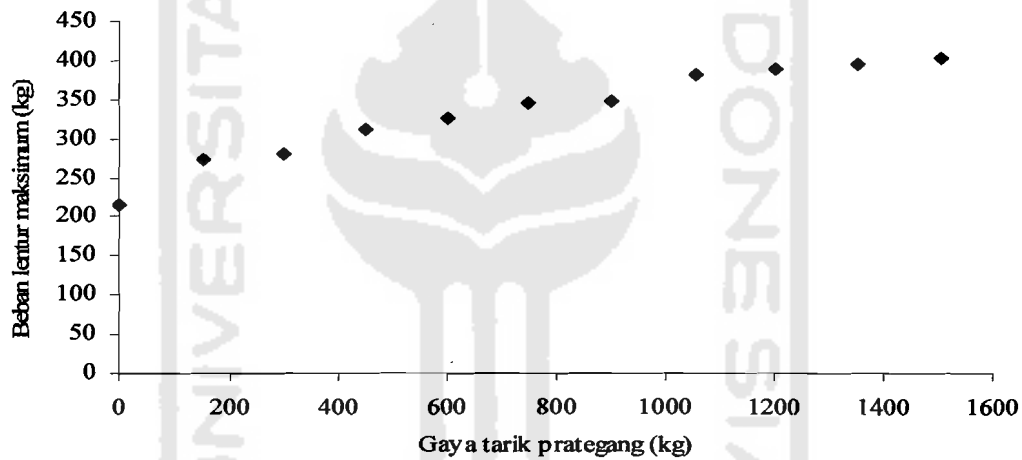
Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan dianalisis, kemudian dari hasil analisis akan diperoleh suatu nilai yang sekiranya dapat mewakili populasinya. Diagram pencar (*scatter plot*) digunakan sebagai langkah awal mencari hubungan dua variabel, kemudian dilanjutkan dengan analisis regresi kuadrat terkecil fungsi linier dan fungsi polinomial.

5.2.1 Diagram Pencar (*Scatter Plot*)

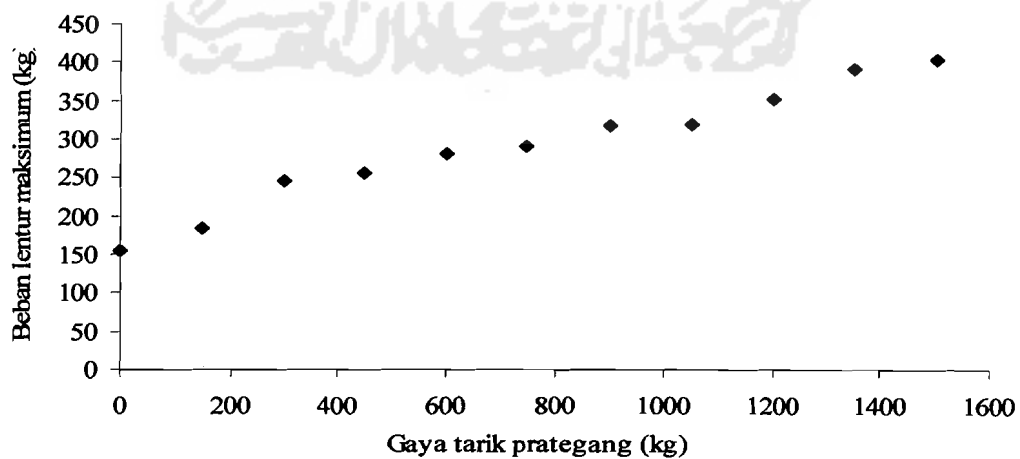
Dari data hasil pengujian ketiga sampel balok kayu bengkirai, maka dapat dibuat grafik hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur maksimum, untuk langkah awal berupa diagram pencar yang menggambarkan kecenderungan hubungan kedua variabel seperti ditunjukkan pada Gambar 5.16, Gambar 5.17 dan Gambar 5.18, sedangkan untuk perbandingan antar sampel ditunjukkan oleh Gambar 5.19.



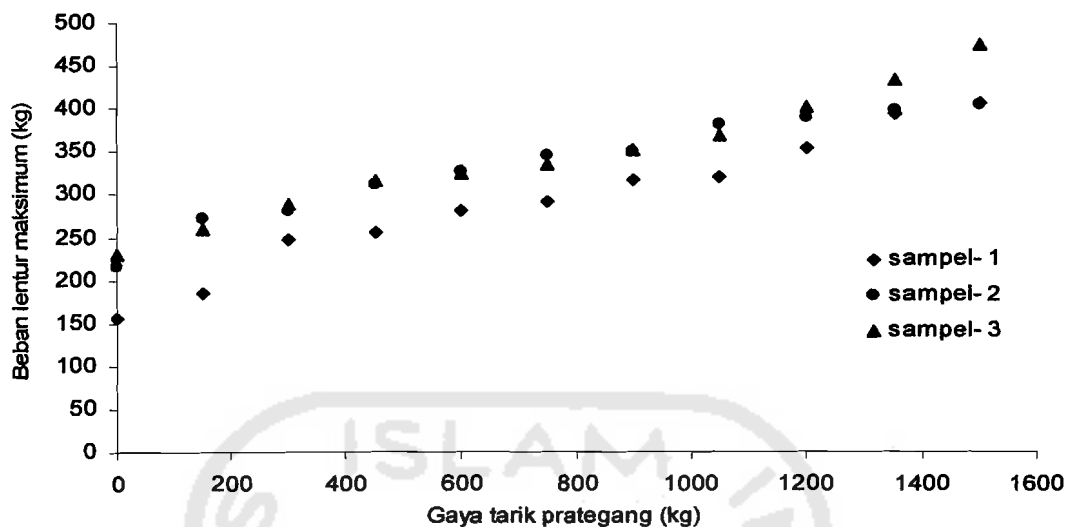
Gambar 5.16 Grafik hubungan gaya tarik prategang dengan heban lentur pada lendutan maksimum untuk sampel- 1



Gambar 5.17 Grafik hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum untuk sampel- 2



Gambar 5.18 Grafik hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum untuk sampel- 3



Gambar 5.19 Grafik hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum

Dari Gambar 5.16, Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa sebaran data hubungan gaya tarik dengan beban lentur maksimum menunjukkan kecenderungan membentuk garis linier, namun demikian bentuk hubungan persamaan garis yang paling tepat akan ditentukan pada analisis *kurve fitting*. Pada Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa perbedaan sebaran data antar sampel tidak begitu besar.

Namun demikian perlu pembuktian secara ilmiah mengenai hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur maksimum balok kayu bengkirai untuk setiap sampelnya.

5.2.1 Analisis Kurva Fitting

Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan persamaan hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum dari setiap sampel balok kayu bengkirai yang diharapkan dapat menggambarkan secara teoritis bentuk hubungan kedua variabel.

Adapun perhitungan untuk mendapatkan persamaan garis hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum dilakukan dengan menggunakan program komputer yaitu program excel. Berikut adalah contoh salah satu perhitungan untuk mendapatkan persamaan garis linier sampel- 1.

Tabel 5.14 Perhitungan x_i , y_i dan x_i^2 sampel- 1

No	x_i	y_i	$x_i y_i$	x_i^2
1	0	230	0	0
2	150	260	39000	22500
3	300	288	86400	90000
4	450	316	142200	202500
5	600	324	194400	360000
6	750	334	250500	562500
7	900	350	315000	810000
8	1050	368	386400	1102500
9	1200	400	480000	1440000
10	1350	432	583200	1822500
11	1500	472	708000	2250000
Σ	8250	3774	3185100	8662500

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{m} = \frac{8250}{11} = 750$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{m} = \frac{3774}{11} = 343,09 ; \text{ Dengan,}$$

$$a_1 = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} = \frac{11(3185100) - (8250)(3774)}{11(8662500) - (8250)^2} = 0,1433$$

$$a_0 = \frac{\sum y_i}{m} - a_1 \left(\frac{\sum x_i}{m} \right) = \frac{3774}{11} - 0,1433 \left(\frac{8250}{11} \right) = 235,6364$$

Persamaan fungsi linier : $y = a_0 + a_1 x_i$

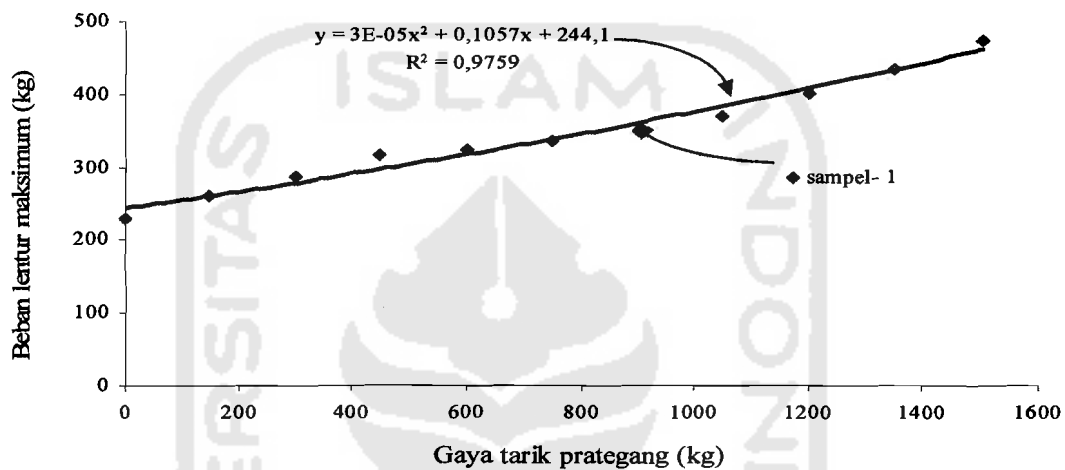
Persamaan garis untuk sampel- 1 menjadi : $y = 235,6364 + 0,1433x$

Berdasarkan perhitungan regresi dengan bantuan program komputer, maka bentuk persamaan garis hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum adalah diambil bentuk regresi yang angka korelasinya (R^2) paling mendekati satu. Berdasarkan ketentuan tersebut dan dengan membandingkan angka korelasi dari setiap jenis regresi untuk ketiga sampel balok kayu bengkirai pada Tabel 5.15, maka jenis regresi kuadrat (polinomial pangkat dua) yang angka korelasinya paling mendekati satu. Jadi bentuk persamaan garis untuk ketiga sampel yang paling sesuai adalah bentuk polinomial pangkat dua dengan angka korelasi berturut – turut untuk sampel-1, sampel- 2 dan sampel 3 adalah 0,9759, 0,9816 dan 0,973.

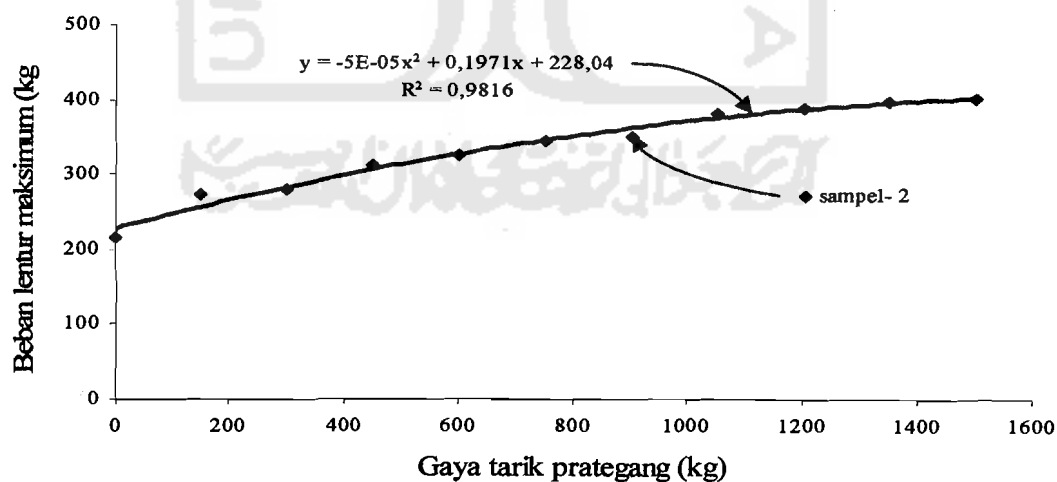
Tabel 5.15 Nilai Korelasi dan koefisien persamaan setiap jenis regresi dari setiap sampel balok kayu bengkirai

Sampel	Jenis regresi	R^2	a_0	a_1	a_2
Sampel- 1	Linier	0,9707	235,64	0,1433	-
	Kuadrat	0,9759	244,1	0,1057	3E-05
	Ekspensial	0,9721	244,6	0,0004	-
Sampel- 2	Linier	0,9451	246,36	0,1156	-
	Kuadrat	0,9816	228,04	0,1971	-5E-05
	Ekspensial	0,8992	249,05	0,0004	-
Sampel- 3	Linier	0,9689	174,45	0,1548	-
	Kuadrat	0,973	166,38	0,1907	-2E-05
	Ekspensial	0,921	182,39	0,0006	-

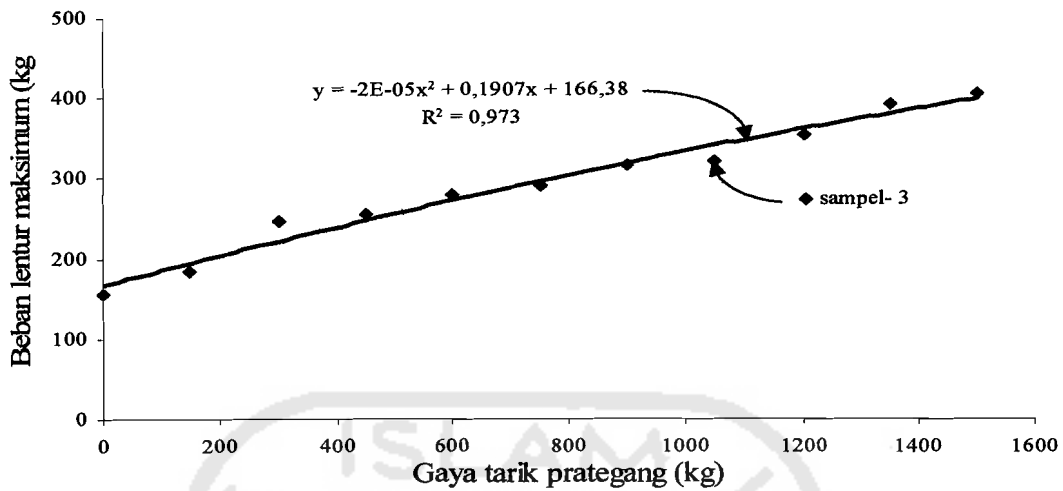
Dengan demikian grafik hubungan gaya tarik prategang dengan beban lentur pada lendutan maksimum fungsi polinomial pangkat dua untuk sampel- 1, sampel- 2 dan sampel- 3 berdasarkan hasil hitungan analisis kurva fitting ditunjukkan oleh Gambar 5.20, Gambar 5.21 dan Gambar 5.22.



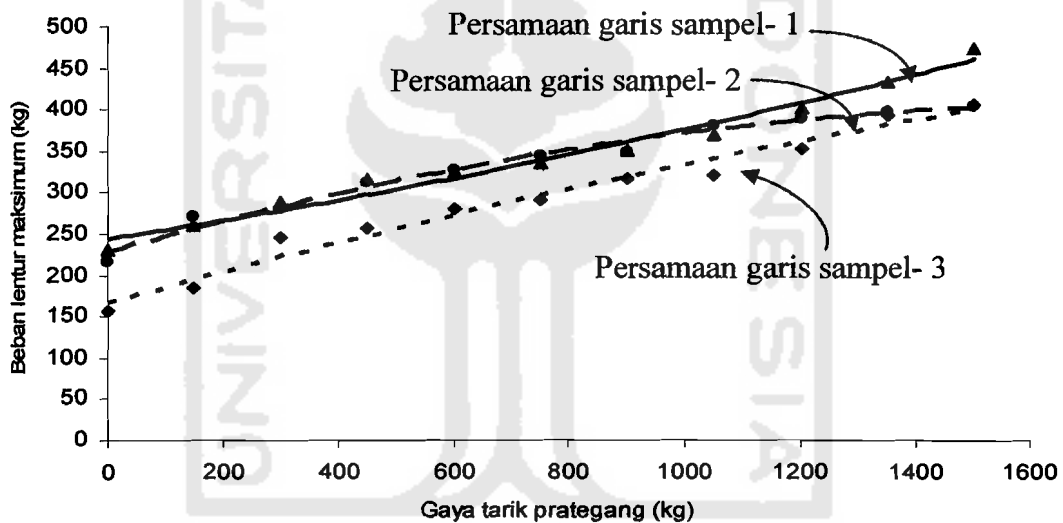
Gambar 5.20 Grafik fungsi polinomial pangkat dua untuk sampel- 1



Gambar 5.21 Grafik fungsi polinomial pangkat dua untuk sampel- 2



Gambar 5.22 Grafik fungsi polinomial pangkat dua untuk sampel-3



Gambar 5.23 Grafik fungsi polinomial pangkat dua

Untuk memudahkan dalam membandingkan ketiga grafik, maka ditampilkan dalam satu gambar yang dapat dilihat pada gambar 5.23. Persamaan garis polinomial untuk sampel-1 adalah melengkung keatas, berbeda dengan sampel-2 dan sampel-3 yang melengkung kebawah. Hal ini menunjukkan bahwa untuk sampel-1, peningkatan beban lentur yang terjadi pada tahap – tahap akhir pembebanan prategang lebih besar dari pada peningkatan yang terjadi pada sampel yang lainnya.

5.3 Analisis Tegangan

Analisis tegangan diperlukan untuk mengetahui pengaruh pengujian terhadap perubahan-perubahan tegangan yang terjadi dan membandingkan keadaan ketika sebelum diuji dan setelah diuji. Analisis tegangan resultan menjadi poin utama dan syarat faktor tekuk harus diperhatikan jika struktur masuk kategori langsing.

5.3.1 Pengaruh Tekuk

Pada penelitian ini perhitungan tegangan struktur balok kayu tidak hanya didasarkan atas gaya tekan saja tetapi merupakan resultan dari gaya lentur dan gaya tekan prategang, serta pemberian gaya lentur dan pemberian gaya prategang dilakukan secara bergantian tanpa menghilangkan gaya prategang untuk tahap pembebanan berikutnya, sehingga bahaya tekuk sebetulnya tidak terjadi. Namun demikian secara teoritis perhitungan pengaruh tekuk adalah sebagai berikut ini :

Diambil momen inersia penampang pada arah - x, karena pada arah ini momen inersianya lebih besar dari arah yang lain dan beban lentur yang mampu ditahan akan lebih besar jika beban lentur diarahkan kesumbu- x. Oleh karena itu pada batasan masalah juga ditetapkan bahwa lendutan pada arah sumbu - y tidak diperhitungkan (tidak diperbolehkan, yaitu dengan pengekangan pada arah

$$\text{tersebut) : } I_x = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 8 \times 12^3 = 1152 \text{ cm}^4$$

Berdasarkan hasil pembahasan pada pengujian kuat desak kayu bengkirai searah serat dan pada Tabel 2.1 pada pengklasifikasian, maka modulus elastis kayu bengkirai kelas kuat I adalah : $E = 125.000 \text{ kg/cm}^2$ (PKKI, 1961)

$$\text{Jari - jari lembam : } r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1152}{96}} = 3,464$$

$$\text{Angka kelangsingan : } \lambda = \frac{L_{tk}}{r} = \frac{385}{3,464} = 111,14$$

Tegangan kritis berdasarkan rumus Euler :

$$P_{tk} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{n \cdot L^2} = \frac{10 \times 125.000 \times 1152}{1 \times 385^2} = 9.714,96 \text{ kg}$$

$$\sigma_{tk} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{10 \times 125.000}{111,14^2} = 101,974 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tekuk akibat pengaruh eksentrisitas :

$$\text{Eksentrisitas (e) = 6,6 cm}$$

$$\sigma_{tk \text{ maks}} = \frac{P}{A} + \left(\frac{P \cdot e}{W} \times \frac{P_E + 0,468 \cdot P}{P_E - 2P} \right) \leq \bar{\sigma}_{tk}$$

$$\sigma_{tk \text{ maks}} = \frac{150}{96} + \left(\frac{150 \times 6,6}{192} \times \frac{9.714,96 + (0,234 \times 150)}{9.714,96 - (150)} \right) = 6,7807 \text{ kg/cm}^2$$

Dari Daftar III PKKI 1961, diperoleh nilai faktor tekuk (ω) untuk angka kelangsingan (λ) = 111,14.

$$\omega = 3,8212 \text{ (dengan interpolasi)}$$

Sehingga tegangan desak teoritis (gaya prategang yang diberikan pada setiap tahapan pembebanan sebelum pemberian beban lentur pada balok kayu bengkirai) adalah sebesar :

$$\sigma_{ds} = \frac{P \cdot \omega}{A} + \frac{M_g \cdot c}{I}$$

$$\sigma_{ds} = \frac{150 \times 3,8212}{96} + \frac{1422,96 \times 6}{1152} = 13,3819 \text{ kg/cm}^2$$

Pada tahapan gaya tarik baja (gaya prategang) sebesar 150 kg, tegangan desak teoritis yang terjadi adalah sebesar 13,3819 kg/cm² yang lebih kecil dari tegangan tekuk maksimum dengan eksentrisitas sebesar 6,7807 kg/cm² serta tegangan tekuk menurut Euler sebesar 101,974 kg/cm², ini berarti pada tahap pembebanan tersebut bahaya tekuk secara teoritis tidak terjadi. Menurut hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 5.16, balok akan menekuk pada gaya desak ($P_{tarik\ baja}$) sebesar 2034 kg/cm².

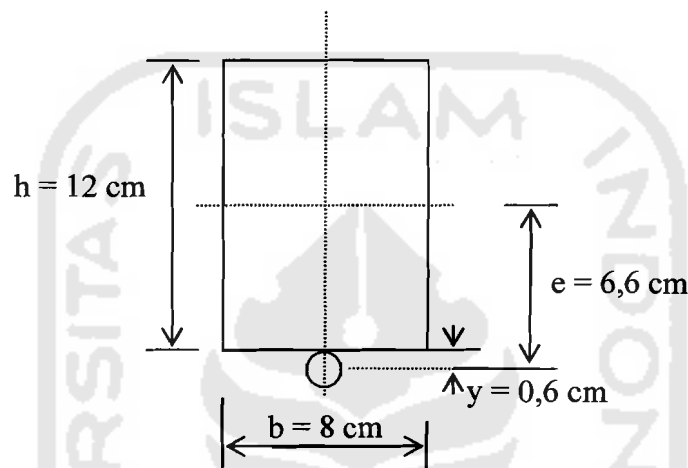
Namun demikian, pada kenyataannya pemberian gaya prategang sampai pada tahap gaya prategang akhir yang direncanakan yaitu sebesar 1500 kg tidak terjadi kerusakan akibat tekuk. Ini disebabkan karena angka keamanan berdasarkan PKKI 1961 terlalu besar, ditunjukkan oleh tegangan ijin tarik maupun ijin desak sebesar 130 kg/cm² jauh lebih kecil dari tegangan tarik dan desak maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian yaitu sebesar 269,06 kg/cm² dan 342,28 kg/cm².

Tabel 5.16 Perhitungan kontrol terhadap bahaya tekuk secara teoritis

No	$P_{tr\ baja}$ (kg)	Tegangan			Keterangan
		desak (kg/cm ²)	tekuk maks. (kg/cm ²)	Euler (kg/cm ²)	
1	0	7,4113	0	101,974	Tidak menekuk
2	150	13,3819	6,7807	101,974	Tidak menekuk
3	300	19,3525	13,6892	101,974	Tidak menekuk
4	450	25,3231	20,7318	101,974	Tidak menekuk
5	600	31,2938	27,9150	101,974	Tidak menekuk
6	750	37,2644	35,2459	101,974	Tidak menekuk
7	900	43,2350	42,7321	101,974	Tidak menekuk
8	1050	49,2056	50,3815	101,974	Tidak menekuk
9	1200	55,1763	58,2030	101,974	Tidak menekuk
10	1350	61,1469	66,2056	101,974	Tidak menekuk
11	1500	67,1175	74,3994	101,974	Tidak menekuk
12	1650	73,0881	82,7949	101,974	Tidak menekuk
13	1800	79,0588	91,4037	101,974	Tidak menekuk
14	1950	85,0294	100,2382	101,974	Tidak menekuk
15	2034	88,3729	105,2889	101,974	Menekuk

5.3.2 Tegangan Resultan

Suatu balok yang penampang melintangnya diperlihatkan dalam Gambar 5.24, adalah tegangan resultan balok pada suatu penampang yang diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban luar.



Gambar 5.24 Penampang melintang benda uji balok kayu

Contoh perhitungan tegangan resultan pada tahap pembebanan gaya prategang ke- 2, yaitu pada gaya prategang sebesar 150 kg dan beban lentur pada lendutan 1,3 cm sebesar 260 kg :

Panjang bentang bersih balok : $L = 385$ cm

Lebar penampang balok : $b = 8$ cm

Tinggi penampang balok : $h = 12$ cm

Jarak titik berat gaya prategang terhadap sisi bawah balok : $y = \frac{1,2}{2} = 0,6$ cm

Eksentrisitas : $e = 0,6 + \frac{12}{2} = 6,6$ cm

Gaya prategang : $P_{prategang} = 150$ kg

Beban lentur pada lendutan sebesar 1,3 cm : $P_{lentur} = 260$ kg

Luas penampang melintang : $A = 12 \times 8 = 96$ cm²

Momen inersia arah - x : $I_x = \frac{1}{12} \times 8 \times 12^3 = 1152$ cm⁴

Berat sendiri balok : $g = BJ \times A = 0,7805 \times 10^{-3} \times 96 = 0,0749$ kg/cm

Momen akibat berat sendiri : $M_g = \frac{1}{8} \times 0,0749 \times 385^2 = 1.387,7566$ kg.cm

Momen akibat beban terpusat (beban lentur): $M_p = \frac{1}{4} \times 260 \times 385 = 25.025$ kg.cm

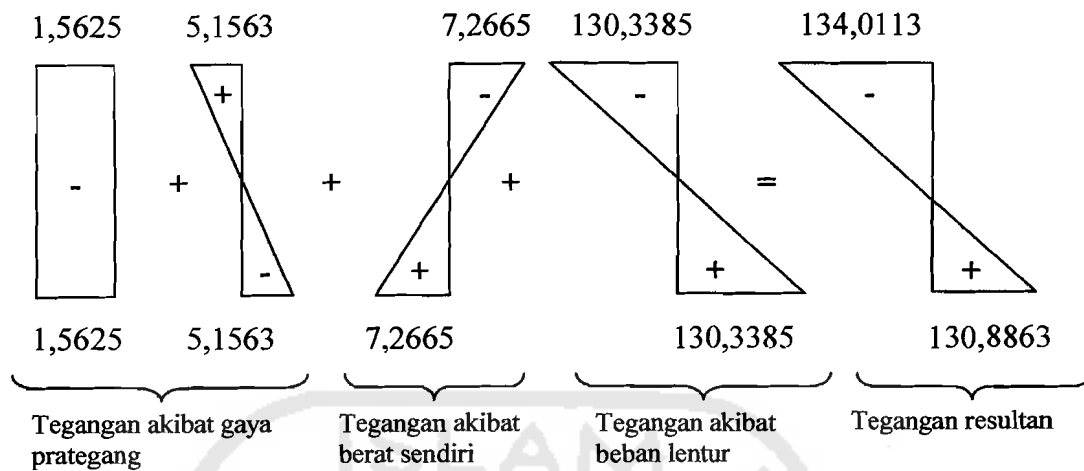
Tegangan langsung akibat prategang : $\left(\frac{P}{A}\right) = \left(\frac{150}{96}\right) = 1,5625$ kg/cm²

Tegangan lentur akibat prategang : $\left(\frac{P.e.c}{I}\right) = \left(\frac{150 \times 6,6 \times 6}{1152}\right) = 5,1563$ kg/cm²

Tegangan akibat berat sendiri : $\left(\frac{M_g.c}{I}\right) = \left(\frac{1.387,7566 \times 6}{1152}\right) = 7,2665$ kg/cm²

Tegangan akibat beban terpusat : $\left(\frac{M_p.c}{I}\right) = \left(\frac{25.025 \times 6}{1152}\right) = 130,3385$ kg/cm²

Setelah menghitung tegangan – tegangan yang terjadi pada balok kayu, kemudian dibuat diagram tegangan resultan yang disebabkan oleh berat sendiri, gaya prategang dan beban terpusat (beban lentur) untuk tahap pembebanan kedua sampel- 1 yang ditunjukkan oleh Gambar 5.25. Untuk hasil perhitungan selengkapnya setiap tahap pembebanan dan setiap sampelnya disajikan pada Tabel 5.17, Tabel 5.18 dan Tabel 5.19.



Gambar 5.25 Tegangan resultan pada tengah-tengah bentang

Jika diperhatikan dengan seksama tegangan resultan yang terjadi pada setiap sampel untuk setiap tahapan pembebanannya, maka tegangan resultan di tengah bentang pada sisi atas (sisi yang mengalami tekan) selalu lebih besar dari tegangan resultan pada sisi bawah penampang. Hal ini sesuai dengan prinsip prategang yaitu meningkatkan tegangan desak dengan mengurangi tegangan tarik pada sisi bawah penampang.

Tabel 5.17 Perhitungan tegangan resultan untuk sampel- 1

No	$P_{tr\ baja}$ (kg)	$P_{tr\ maks}$ (kg)	P/A (kg/cm ²)	M_c/I (kg/cm ²)	$P_e.c/I$ (kg/cm ²)	M_c/I (kg/cm ²)	Tegangan resultan	
							sisi atas (kg/cm ²)	sisi bawah (kg/cm ²)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	230	0	7,2665	0	115,2995	-122,5660	122,5660
2	150	260	1,5625	7,2665	5,1563	130,3385	-134,0113	130,8863
3	300	288	3,1250	7,2665	10,3125	144,3750	-144,4540	138,2040
4	450	316	4,6875	7,2665	15,4688	158,4115	-154,8967	145,5217
5	600	324	6,2500	7,2665	20,6250	162,4219	-155,3134	142,8134
6	750	334	7,8125	7,2665	25,7813	167,4349	-156,7326	141,1076
7	900	350	9,3750	7,2665	30,9375	175,4557	-161,1597	142,4097
8	1050	368	10,9375	7,2665	36,0938	184,4792	-166,5894	144,7144
9	1200	400	12,5000	7,2665	41,2500	200,5208	-179,0373	154,0373
10	1350	432	14,0625	7,2665	46,4063	216,5625	-191,4852	163,3602
11	1500	472	15,6250	7,2665	51,5625	236,6146	-207,9436	176,6936

Tabel 5.18 Perhitungan tegangan resultan untuk sampel- 2

No	$P_{tr\ baja}$ (kg)	$P_{tr\ maks}$ (kg)	P/A (kg/cm ²)	M_c/I (kg/cm ²)	$P_{e.c/I}$ (kg/cm ²)	M_c/I (kg/cm ²)	Tegangan resultan	
							sisi atas (kg/cm ²)	sisi bawah (kg/cm ²)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	216	0	7,0542	0	108,2813	-115,3354	115,3354
2	150	272	1,5625	7,0542	5,1563	136,3542	-139,8146	136,6896
3	300	280	3,1250	7,0542	10,3125	140,3646	-140,2313	133,9813
4	450	312	4,6875	7,0542	15,4688	156,4063	-152,6792	143,3042
5	600	326	6,2500	7,0542	20,6250	163,4245	-156,1037	143,6037
6	750	344	7,8125	7,0542	25,7813	172,4479	-161,5334	145,9084
7	900	348	9,3750	7,0542	30,9375	174,4531	-159,9448	141,1948
8	1050	380	10,9375	7,0542	36,0938	190,4948	-172,3927	150,5177
9	1200	388	12,5000	7,0542	41,2500	194,5052	-172,8094	147,8094
10	1350	396	14,0625	7,0542	46,4063	198,5156	-173,2261	145,1011
11	1500	402	15,6250	7,0542	51,5625	201,5234	-172,6401	141,3901

Tabel 5.19 Perhitungan tegangan resultan untuk sampel- 3

No	$P_{tr\ baja}$ (kg)	$P_{tr\ maks}$ (kg)	P/A (kg/cm ²)	M_c/I (kg/cm ²)	$P_{e.c/I}$ (kg/cm ²)	M_c/I (kg/cm ²)	Tegangan resultan	
							sisi atas (kg/cm ²)	sisi bawah (kg/cm ²)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	156	0	6,7454	0	78,2031	-84,9485	84,9485
2	150	184	1,5625	6,7454	5,1563	92,2396	-95,3912	92,2662
3	300	246	3,1250	6,7454	10,3125	123,3203	-122,8782	116,6282
4	450	256	4,6875	6,7454	15,4688	128,3333	-124,2975	114,9225
5	600	280	6,2500	6,7454	20,6250	140,3646	-132,7350	120,2350
6	750	290	7,8125	6,7454	25,7813	145,3776	-134,1542	118,5292
7	900	316	9,3750	6,7454	30,9375	158,4115	-143,5944	124,8444
8	1050	320	10,9375	6,7454	36,0938	160,4167	-142,0058	120,1308
9	1200	352	12,5000	6,7454	41,2500	176,4583	-154,4537	129,4537
10	1350	392	14,0625	6,7454	46,4063	196,5104	-170,9121	142,7871
11	1500	404	15,6250	6,7454	51,5625	202,5260	-173,3339	142,0839

5.3.3 Hubungan Tegangan Resultan dengan Tegangan Ijin Lentur

Dengan menggunakan persamaan garis polinomial pangkat dua yang didapatkan dari *kurve fitting* pada analisis data, maka beban lentur disesuaikan dengan persamaan garisnya untuk setiap sampelnya. Beban lentur setelah penyesuaian digunakan untuk mendapatkan tegangan resultan dengan cara superposisi tegangan - tegangan yang terjadi, kemudian tegangan resultan yang didapat dikontrol terhadap tegangan total akibat beban kombinasi tekan dan lentur sesuai dengan Persamaan (3.9) dan (3.9a).

Contoh perhitungan kontrol tegangan resultan dengan beban lentur (sudah disesuaikan dengan persamaan garis polinomial pangkat dua) untuk sampel- 1 pada tahap kedua :

$$\text{Gaya prategang : } P_{trk \text{ baja}} = 150 \text{ kg}$$

$$\text{Beban lentur : } P_{lir \text{ penyesuaian}} = 244,10 \text{ kg}$$

$$\text{Luas penampang : } A = 8 \times 12 = 96 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tahanan Momen : } W = \frac{1}{6} \times 8 \times 12^2 = 192 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat sendiri balok : } g = 0,7805 \times 10^{-3} \times 96 = 0,0749 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Momen total : } M_{tot} = \frac{1}{8} \times 0,0749 \times 385^2 + \frac{1}{4} \times 259,28 \times 385 = 26.343,46 \text{ kg/cm}^2$$

Cara superposisi yang sama pada perhitungan tegangan resultan yang sebelumnya dilakukan juga untuk mendapatkan tegangan resultan kali ini. Sesuai dengan Tabel 5.20 untuk tahap kedua, maka tegangan resultannya menjadi :

$$\text{Tegangan sisi atas} = -129,5957 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan sisi bawah} = 129,5957 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan korelasi berdasarkan PKKI 1961, pasal 5, daftar II, point b adalah : $B_J = 0,7805 \text{ kg/cm}^3$

$$\bar{\sigma}_{ltr} = 170 \times 0,7805 = 132,685 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{ds//} = 150 \times 0,7805 = 117,075 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Sehingga : } \alpha_2 = \frac{\bar{\sigma}_{ds//}}{\bar{\sigma}_{ltr}} = \frac{117,075}{132,685} = 0,8824$$

Dengan menggunakan persamaan (3.9), tegangan total menjadi :

$$\sigma_{tot} = \frac{P \cdot \omega}{A} + \alpha_2 \cdot \frac{M}{W} = \frac{150 \cdot 3.8218}{96} + \left(0,8824 \times \frac{26.343,46}{192} \right) = 72,7266 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol tegangan resultan pada sisi bawah dan sisi atas untuk tahap kedua, ketiga dan seterusnya, yaitu harus lebih kecil dari tegangan total :

$$133,6118 \text{ kg/cm}^2 \text{ dan } 130,4868 \text{ kg/cm}^2 > 72,7266 \text{ kg/cm}^2 \text{NO ! (tahap dua)}$$

Sedangkan untuk tahap satu, tegangan resultan dikontrol terhadap tegangan ijin searah serat sesuai dengan Persamaan (3.6).

$$129,5957 \text{ kg/cm}^2 < 132,6850 \text{ kg/cm}^2 \text{OK! (tahap satu)}$$

Untuk hasil perhitungan kontrol tegangan resutan terhadap tegangan desak ditampilkan pada Tabel 5.20, Tabel 5.21 dan Tabel 5.22.

Tabel 5.20 Kontrol tegangan resultan terhadap tegangan ijin lentur untuk sampel- 1

$P_{tr\ baja}$ (kg)	$P_{ltr\ maks}$ (kg)	Tegangan resultan		Tegangan total Pengontrol (kg/cm ²)	Keterangan
		sisi atas (kg/cm ²)	sisi bawah (kg/cm ²)		
0	244,10	-129,5957	129,5957	132,6850	OK
150	259,28	-133,6118	130,4868	72,7266	NO
300	273,11	-136,9510	130,7010	139,0754	OK
450	285,59	-139,6135	130,2385	205,4242	OK
600	296,72	-141,5993	129,0993	271,7730	OK
750	306,50	-142,9082	127,2832	338,1218	OK
900	314,93	-143,5405	124,7905	404,4706	OK
1050	322,01	-143,4959	121,6209	470,8194	OK
1200	327,74	-142,7746	117,7746	537,1682	OK
1350	332,12	-141,3766	113,2516	603,5170	OK
1500	335,15	-139,3018	108,0518	669,8658	OK

Tabel 5.21 Kontrol tegangan resultan terhadap tegangan ijin lentur untuk sampel – 2

$P_{tr\ baja}$ (kg)	$P_{ltr\ maks}$ (kg)	Tegangan resultan		Tegangan total Pengontrol (kg/cm ²)	Keterangan
		sisi atas (kg/cm ²)	sisi bawah (kg/cm ²)		
0	228,04	-120,9562	120,9562	121,7710	OK
150	256,48	-131,6195	128,4945	72,7266	NO
300	282,67	-141,1548	134,9048	139,0754	OK
450	306,61	-149,5622	140,1872	205,4242	OK
600	328,30	-156,8417	144,3417	271,7730	OK
750	347,74	-162,9933	147,3683	338,1218	OK
900	364,93	-168,0169	149,2669	404,4706	OK
1050	379,87	-171,9126	150,0376	470,8194	OK
1200	392,56	-174,6804	149,6804	537,1682	OK
1350	403	-176,3202	148,1952	603,5170	OK
1500	411,19	-176,8321	145,5821	669,8658	OK

Tabel 5.22 Kontrol tegangan resultan terhadap tegangan ijin lentur untuk sampel – 3

$P_{tr\ baja}$ (kg)	$P_{tr\ maks}$ (kg)	Tegangan resultan		Tegangan total Pengontrol (kg/cm ²)	Keterangan
		sisi atas (kg/cm ²)	sisi bawah (kg/cm ²)		
0	166,38	-89,5055	89,5055	111,9280	OK
150	194,54	-100,0259	96,9009	98,3971	NO
300	221,79	-110,0951	103,8451	116,4242	OK
450	248,15	-119,7132	110,3382	134,0533	OK
600	273,60	-128,8801	116,3801	151,2842	OK
750	298,16	-137,5958	121,9708	168,1171	OK
900	321,81	-145,8604	127,1104	184,5519	OK
1050	344,57	-153,6737	131,7987	200,5885	OK
1200	366,42	-161,0360	136,0360	216,2271	OK
1350	387,38	-167,9470	139,8220	231,4676	OK
1500	407,43	-174,4068	143,1568	246,3100	OK

Dari Tabel 5.20, Tabel 5.21 dan Tabel 5.22 dapat dilihat bahwa, terjadi peningkatan tegangan resultan pada setiap penambahan gaya tarik prategang sampai dengan 1500 kg. Jika tegangan resultan pada setiap tahapan pembebanan dikontrol terhadap tegangan total akibat beban kombinasi desak dan lentur, maka didapatkan bahwa peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum sebesar 1,3 cm pada pemberian gaya prategang lebih besar atau sama dengan 300 kg masih dapat dikatakan aman karena tegangan resultannya masih dibawah tegangan total.

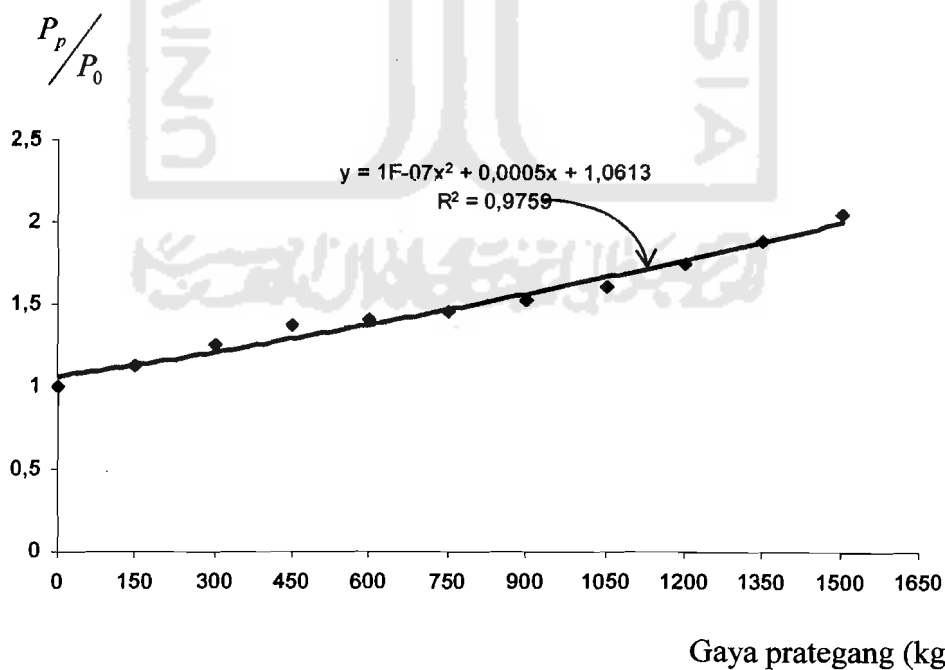
5.3.4 Peningkatan Beban Lentur Setiap Tahapan Pebebanan

Untuk mengetahui peningkatan beban lentur balok kayu bengkirai pada lendutan maksimum akibat pemberian gaya prategang untuk setiap sampel pada tiap penambahan gaya prategang, maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan program Excel, kemudian ditabelkan sesuai dengan Tabel 5.20.

Setelah diperoleh besar peningkatan beban lenturnya, kemudian dibuat grafik hubungan antara nomer tahapan pemberian gaya prategang dengan nilai peningkatan beban lenturnya untuk setiap sampel.

Tabel 5.23 Peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum tiap penambahan gaya prategang sampel- 1

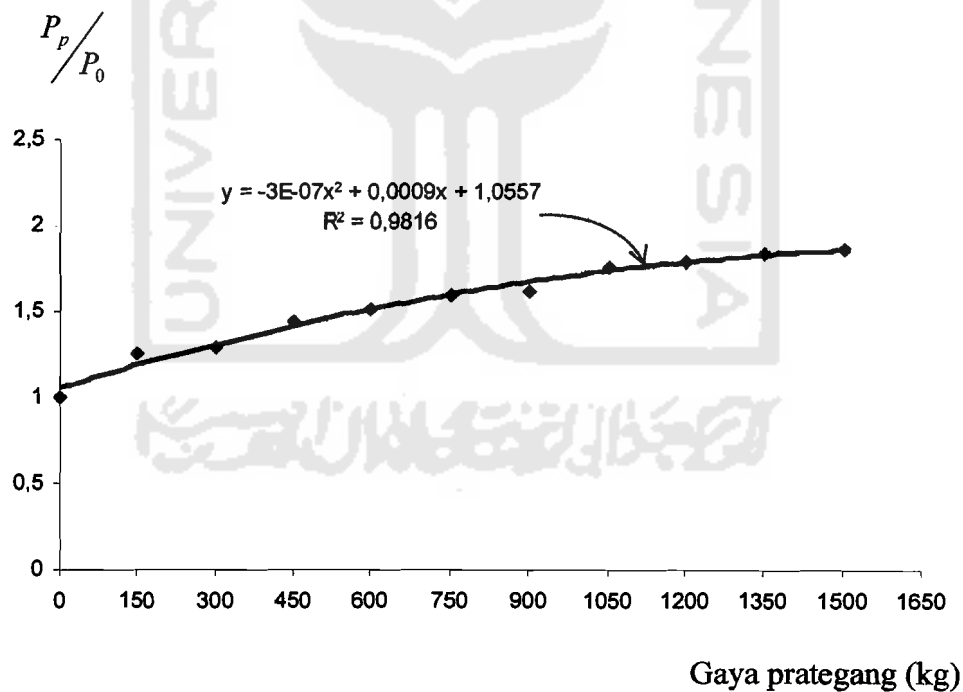
Nomor tahapan	$P_{tr\ baja}$ (kg)	P_{ltr} (kg)	P_p/P_0	P_n/P_{n-1}	Prosentase Peningkatan P_{ltr} Bertahapan (%)
0	0	230	1	1	0
1	150	260	1,1304	1,1304	13,04
2	300	288	1,2522	1,1077	10,77
3	450	316	1,3739	1,0972	9,72
4	600	324	1,4087	1,0253	2,53
5	750	334	1,4522	1,0309	3,09
6	900	350	1,5217	1,0479	4,79
7	1050	368	1,6000	1,0514	5,14
8	1200	400	1,7391	1,0870	8,7
9	1350	432	1,8783	1,0800	8
10	1500	472	2,0522	1,0926	9,26



Gambar 5.26 Grafik prosentase peningkatan beban lentur maksimum setiap penambahan gaya prategang untuk sampel- 1

Tabel 5.24 Peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum tiap penambahan gaya prategang sampel- 2

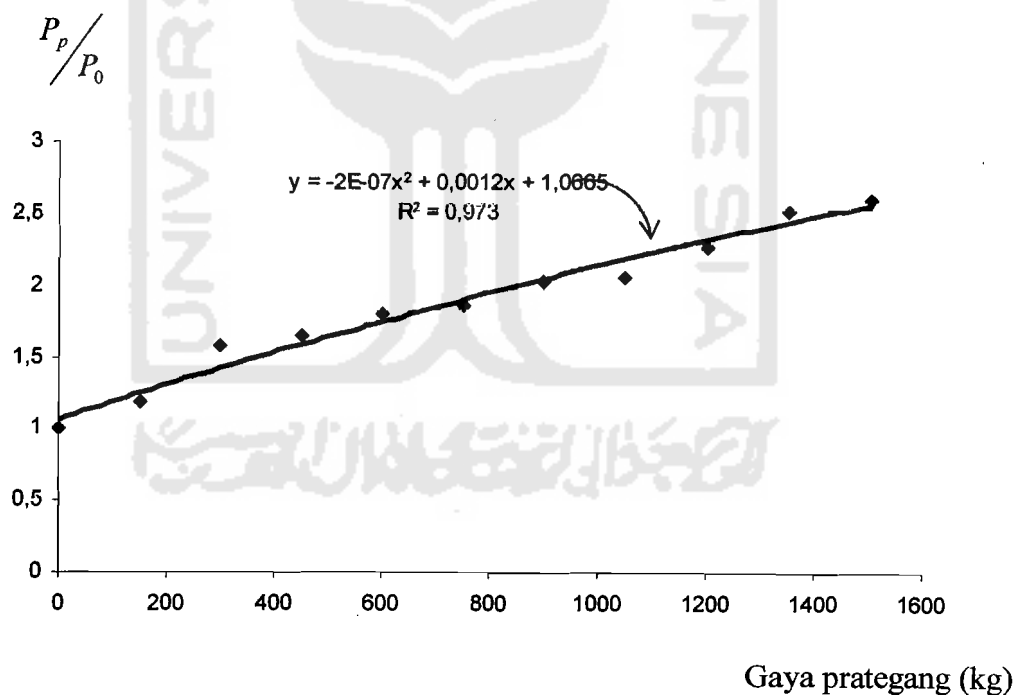
Nomor tahapan	$P_{tr\ baja}$ (kg)	P_{ltr} (kg)	P_p/P_0	P_n/P_{n-1}	Prosentase Peningkatan P_{ltr} Bertahapan (%)
0	0	216	1	1	0
1	150	272	1,25926	1,2593	25,93
2	300	280	1,02941	1,0294	2,94
3	450	312	1,11429	1,1143	11,43
4	600	326	1,04487	1,0449	4,49
5	750	344	1,05521	1,0552	5,52
6	900	348	1,01163	1,0116	1,16
7	1050	380	1,09195	1,0920	9,20
8	1200	388	1,02105	1,0211	2,11
9	1350	396	1,02062	1,0206	2,06
10	1500	402	1,01515	1,0152	1,52



Gambar 5.27 Grafik prosentase peningkatan beban lentur maksimum setiap penambahan gaya prategang untuk sampel- 2

Tabel 5.25 Peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum tiap penambahan gaya prategang sampel- 3

Nomor tahapan	$P_{tr\ baja}$ (kg)	P_{tr} (kg)	P_p/P_0	P_n/P_{n-1}	Prosentase Peningkatan P_{tr} Pertahapan (%)
0	0	156	1	1	0
1	150	184	1,17949	1,1795	17,95
2	300	246	1,33696	1,3370	33,70
3	450	256	1,04065	1,0407	4,07
4	600	280	1,09375	1,0938	9,38
5	750	290	1,03571	1,0357	3,57
6	900	316	1,08966	1,0897	8,97
7	1050	320	1,01266	1,0127	1,27
8	1200	352	1,1	1,1000	10
9	1350	392	1,11364	1,1136	11,36
10	1500	404	1,03061	1,0306	3,06



Gambar 5.28 Grafik prosentase peningkatan beban lentur maksimum setiap penambahan gaya prategang untuk sampel- 3

Dengan membandingkan bentuk persamaan garis menggunakan program komputer excel, didapatkan bahwa angka korelasi yang paling mendekati satu dari beberapa jenis regresi adalah bentuk regresi polinomial pangkat dua, sehingga bentuk grafik prosentase peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum dari balok kayu bengkirai yang diberi gaya prategang dengan interval 150 kg setiap tahapan pemberian gaya prategangnya adalah berbentuk polinomial pangkat dua dan dapat dilihat pada Gambar 5.26, Gambar 5.27 dan Gambar 5.28.

Dari Tabel 5.23, Tabel 5.24 dan Tabel 5.25 dapat dinyatakan bahwa prosentase peningkatan beban lentur pada setiap tahapan pembebanan untuk sampel- 1, sampel- 2 dan sampel- 3 yang paling besar terjadi pada tahapan pemberian gaya prategang sebesar 150 kg, 150 kg dan 300 kg. Gambar 5.26, Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 dapat dilihat bahwa persamaan garis polinomial pangkat dua untuk sampel- 1 adalah melengkung keatas secara landai, sedangkan sampel- 2 melengkung kebawah secara lebih landai dan sampel- 3 melengkung keatas secara cukup terjal. Hal ini disebabkan karena peningkatan beban lentur setiap tahapannya untuk sampel- 3 paling besar dari yang lain yang artinya peningkatan beban lentur paling efektif terjadi pada sampel- 3 pada gaya prategang sebesar 300 kg.

5.3.5 Prosentase Peningkatan Beban Lentur Maksimum

Setelah analisis data dan analisis tegangan dilakukan, kemudian didapatkan prosentase peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum balok kayu bengkirai. Besarnya prosentase peningkatan beban lentur yang dapat ditahan oleh balok kayu bengkirai pada batasan lendutan maksimum yang disyaratkan

yaitu sebesar 1,3 cm untuk sampel- 1, sampel- 2 dan sampel- 3 dapat ditentukan dengan selisih beban lentur pada gaya prategang sebesar 1500 kg dengan beban lentur gaya prategang sebesar 0 kg dibandingkan dengan beban lentur pada tahap awal yaitu gaya prategang sama dengan 0.

Berdasarkan data hasil pengujian pengaruh prategang terhadap perilaku lentur balok kayu bengkirai yang dapat dilihat pada Lampiran L.II.1 sampai dengan Lampiran L.II.3, maka prosentase peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum untuk sampel- 1, sampel- 2 dan sampel- 3 adalah sebagai berikut ini :

$$\text{Sampel- 1 : Prosentase peningkatannya} = \frac{472 - 230}{230} \times 100\% = 105,22 \%$$

$$\text{Sampel- 2 : Prosentase peningkatannya} = \frac{402 - 216}{216} \times 100\% = 86,11 \%$$

$$\text{Sampel- 3 : Prosentase peningkatannya} = \frac{404 - 156}{156} \times 100\% = 158,97 \%$$

Dari perhitungan prosentase peningkatan beban lentur pada lendutan maksimum sebesar 1,3 cm akibat gaya prategang sebesar 1500 kg untuk setiap sampel balok kayu bengkirai, maka didapatkan besar prosentase peningkatannya yaitu sebesar 105,22 % untuk sampel- 1, 86,11 % untuk sampel- 2 dan 158,97 % untuk sampel- 3.