

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Setelah seluruh rangkaian pengujian dilakukan terhadap benda uji, baik benda uji tekan, benda uji lentur maupun tarik baja, didapat hasil antara lain beban maksimum untuk tekan dan lentur serta kuat tarik baja tulangan. Hasil dari pengujian menunjukkan, bahwa beton yang dibuat menghasilkan kuat tekan beton yang tidak seragam, hal ini disebabkan pencampuran benda uji tidak dapat dilakukan sekaligus mengingat kapasitas alat molen yang tersedia hanya terbatas. Untuk menjaga agar kekuatan sampel yang dihasilkan tidak terlalu jauh perbedaannya, maka dalam penelitian ini ditetapkan nilai slump antara 7,5 - 15 cm (untuk balok beton).

Kuat lentur hasil pengujian menunjukkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan kuat lentur rencana. Ini terjadi karena digunakannya faktor reduksi pada saat perhitungan, dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, sedangkan hasil pengujian balok memberikan nilai kuat lentur yang sesungguhnya yang mampu ditahan oleh balok tersebut.

Data yang didapatkan dari pengujian ditampilkan pada tabel-tabel berikut. Tabel 5.1 dibawah ini adalah hasil pengukuran dan pengujian balok dengan variasi penutup beton, dibakar pada berbagai suhu dengan lama pembakaran selama 3 jam.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Lentur

No	SAM-PEL	SUHU (°C)	BERAT (kg)		VOLUME (CM ³)		BJ (T/m ³)		P MAKS (kg)	M (kNm)
			AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR		
1	25-0	27	111.50	111.50	45272.7	45272.7	2.46	2.46	12300.00	15.0829
	26-0	27	113.30	113.30	47150.5	47150.5	2.40	2.40	12450.00	15.2668
RATA ²			112.40	112.40	46202.1	46202.1	2.43	2.43	8250.00	15.1748
PERUBAHAN (%)			0		0		0			
2	24-4	400	107.00	100.00	43316.0	43586.4	2.47	2.29	10750.00	13.1822
3	25-4	400	110.20	105.50	45159.1	46710.9	2.44	2.26	11800.00	14.4698
4	26-4	400	114.00	108.80	46753.2	46674.8	2.44	2.33	12200.00	14.9603
5	27-4	400	118.50	113.00	48688.0	48139.3	2.43	2.35	12400.00	15.2055
6	24-5	500	107.70	104.50	43621.0	43409.4	2.47	2.41	10700.00	13.1209
7	25-5	500	111.00	107.50	45630.0	45304.4	2.43	2.37	10900.00	13.3661
8	26-5	500	114.50	111.00	47060.0	47093.8	2.43	2.36	11200.00	13.7340
9	27-5	500	118.10	115.00	48330.0	48653.3	2.44	2.36	12000.00	14.7150
10	24-6	600	108.00	105.50	43740.0	44310.4	2.47	2.38	10600.00	12.9983
11	25-6	600	110.50	108.50	45225.2	45212.8	2.44	2.40	10800.00	13.2435
12	26-6	600	115.20	114.00	47201.2	47874.8	2.44	2.38	10900.00	13.3661
13	27-6	600	120.00	118.00	49785.4	49263.8	2.41	2.40	12000.00	14.7150

Hasil pengukuran dan pengujian tekan yang dilakukan pada silinder setelah dibakar pada suhu maksimal.400°C, 500°C dan 600°C selama 3 jam dapat dibaca pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Tekan

No	SAM-PEL	SUHU (°C)	BERAT (kg)		LUAS (cm ²)		P MAKS (kg)	Per (kg/cm ²)	Pc (kg/cm ²)
			AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR			
1	A	27	12.594	12.594	176.73	176.73	81549.440	461.4411	
2	B	27	12.709	12.709	177.48	177.48	77471.968	436.5051	
3	C	27	12.539	12.539	176.31	176.31	82568.807	468.3047	
RATA ¹			12.614	12.614	176.84	176.84	80530.072	455.4170	372.6170
PERUBAHAN (%)			0		0				
1	4A	400	12.640	12.200	177.07	178.99	68807.339	384.4245	
2	4B	400	12.750	12.250	177.89	176.15	66258.919	376.1414	
RATA ¹			12.639	12.100	177.48	177.57	67533.129	380.2830	297.4830
PERUBAHAN (%)			-4.450		0.051				
1	5A	500	12.640	12.200	178.49	178.56	58103.976	325.4005	
2	5B	500	12.728	12.100	179.55	178.56	62181.448	348.2357	
RATA ¹			12.695	12.225	179.02	178.56	60142.712	336.8181	254.0181
PERUBAHAN (%)			-3.845		-0.258				



Lanjutan tabel 5.2

1	6A	600	12.717	12.200	179.08	176.93	51987.768	293.8303	
2	6B	600	12.560	12.000	181.1	178.87	54026.504	302.0446	
RATA ²			12.684	12.150	180.09	177.90	53007.136	297.9375	215.1375
PERUBAHAN (%)			-4.395		-1.231				

Untuk mengetahui kuat tarik baja tulangan yang akan dipakai pada penelitian ini dilakukan pengujian awal yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan

No.	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Luas rata ² (cm ²)	Batas Luluh (kg)	Maks (kg)	Patah (kg)	Tegangan tarik (kg/cm ²)
1	1.150	1.039	1.0327	2800	3700	2850	2711.3392
	1.145	1.030					
	1.145	1.030					
2	1.135	1.012	1.0177	2650	3640	2800	2603.9108
	1.140	1.021					
	1.140	1.021					
3	1.140	1.021	1.0207	2620	3600	2850	2566.8659
	1.140	1.021					
	1.140	1.021					
Rata-rata			1.0237	2690.0	3646.67	2833.33	2627.3720

Sedangkan besarnya kuat tarik baja paska pembakaran dan pembebanan dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran Dan Pembebanan

No	Sampel	Luas tampang (cm ²)	Batas Luluh (kg)	Maks (kg)	Patah (kg)	Tegangan tarik (kg/cm ²)
1	25-0	0.9969	2600	3700	3350	2607.9896
		0.9734	2470	3600	2700	2537.3941
2	26-0	1.0058	2600	3700	3400	2584.9271
		0.9702	2590	3680	3000	2669.4894
RATA-RATA			2518	3613	2958	2599.9501
3	24-4	0.9940	2350	3500	2600	2364.2317
		0.9764	2250	3490	2560	2304.4130
RATA-RATA			2300	3495	2580	2334.3224

Lanjutan tabel 5.4

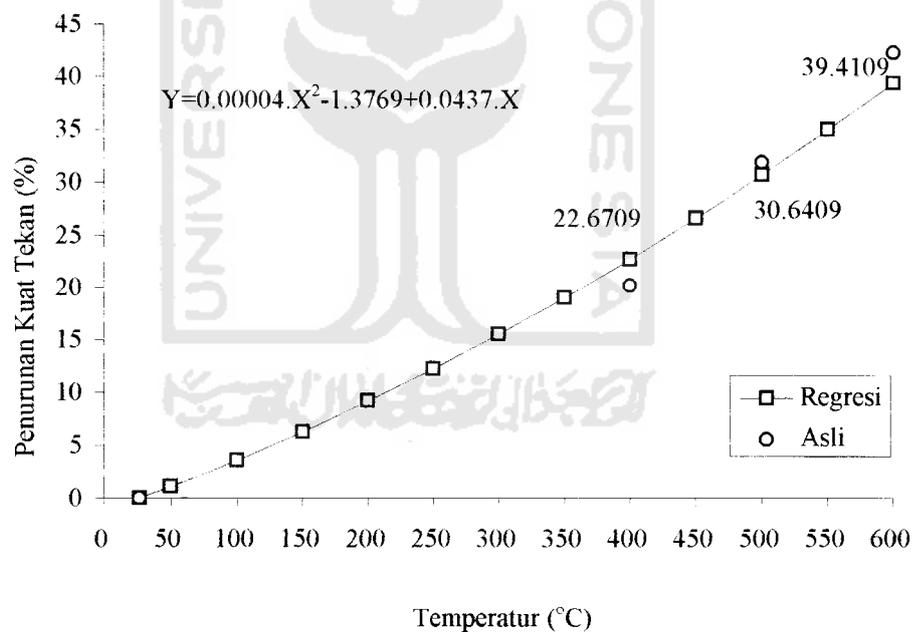
4	25-4	1.0237	2470	3650	2750	2412.9114
		0.9940	2390	3560	2650	2404.4740
RATA-RATA			2430	3605	2700	2408.6927
5	26-4	0.9762	2400	3530	2700	2458.5638
		0.9298	2340	3490	2750	2516.5397
RATA-RATA			2370	3510	2725	2487.5517
6	27-4	0.9503	2360	3360	2800	2483.4456
		0.9474	2570	3600	2800	2712.5448
RATA-RATA			2465	3480	2800	2597.9952
7	24-5	1.0118	2200	3500	2650	2174.4082
		1.0237	2540	3630	3300	2481.2935
RATA-RATA			2370	3565	2975	2327.8508
8	25-5	0.9966	2440	3580	2700	2448.2399
		0.9940	2330	3440	2750	2344.0492
RATA-RATA			2385	3510	2725	2396.1445
9	26-5	0.9053	2240	3500	2700	2474.2179
		0.9967	2410	3540	2700	2417.8792
RATA-RATA			2325	3520	2700	2446.0485
10	27-5	1.0058	2440	3580	3450	2425.9177
		0.9911	2650	3680	3200	2673.9072
RATA-RATA			2545	3630	3325	2549.9125
11	24-6	0.9852	2340	3480	2650	2375.2702
		1.0568	2390	3530	2640	2261.5570
RATA-RATA			2365	3505	2645	2318.4136
12	25-6	0.9939	2340	3510	2600	2354.2963
		1.0029	2420	3600	2700	2413.0627
RATA-RATA			2380	3535	2650	2383.6795
13	26-6	0.9822	2500	3500	2600	2545.2626
		0.9881	2280	3500	2700	2307.5033
RATA-RATA			2390	3500	2650	2426.3830
14	27-6	0.9763	2600	3560	2750	2663.0194
		0.9764	2350	3400	2600	2406.7671
RATA-RATA			2475	3480	2675	2334.8933

5.1 Pembahasan

5.2.1 Kuat tekan beton

Kuat tekan beton rencana untuk benda uji pada penelitian ini adalah 30 MPa. Dari hasil pengujian tekan untuk beton yang tidak dibakar didapat tegangan tekan silinder beton sebesar 37, 2617 MPa. Kuat tekan hasil pengujian ini nantinya akan dipakai sebagai pembandingan terhadap kuat tekan beton setelah dibakar.

Hasil pengujian tekan beton setelah dibakar memperlihatkan nilai kuat tekan yang semakin turun bersamaan dengan bertambahnya suhu pembakaran, penurunan yang terjadi terlihat pada grafik berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik Penurunan Kuat Tekan Terhadap Temperatur

Dari grafik 5.1 dapat dilihat penurunan kuat tekan yang tajam pada temperatur 400°C selama 3 jam, yaitu sebesar 22,6709 % dan semakin meningkat pada temperatur

500°C dan 600°C, yaitu 30,6409 % dan 39,4109 % dari kuat tekan beton pada temperatur ruang.

Grafik 5.1 merupakan prosentase penurunan kuat tekan hasil pengujian yang diambil dari pengujian setelah dilakukan analisa regresi. Hasil pengamatan visual terhadap beton yang diuji desak setelah dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C, keadaan beton hancur dengan jumlah agregat yang pecah lebih besar dari pada agregat yang terlepas. Agregat yang mengalami lepas adalah agregat yang terletak dekat dengan permukaan sedangkan agregat yang mengalami pecah letaknya dibagian yang lebih dalam. Perbandingan jumlah agregat pecah dan terlepas ini menunjukkan lekatan antara agregat dengan pasta semen masih baik. Agregat yang mengalami lepas pada saat diuji tekan disebabkan oleh hilangnya lekatan antara pasta semen dengan agregat.

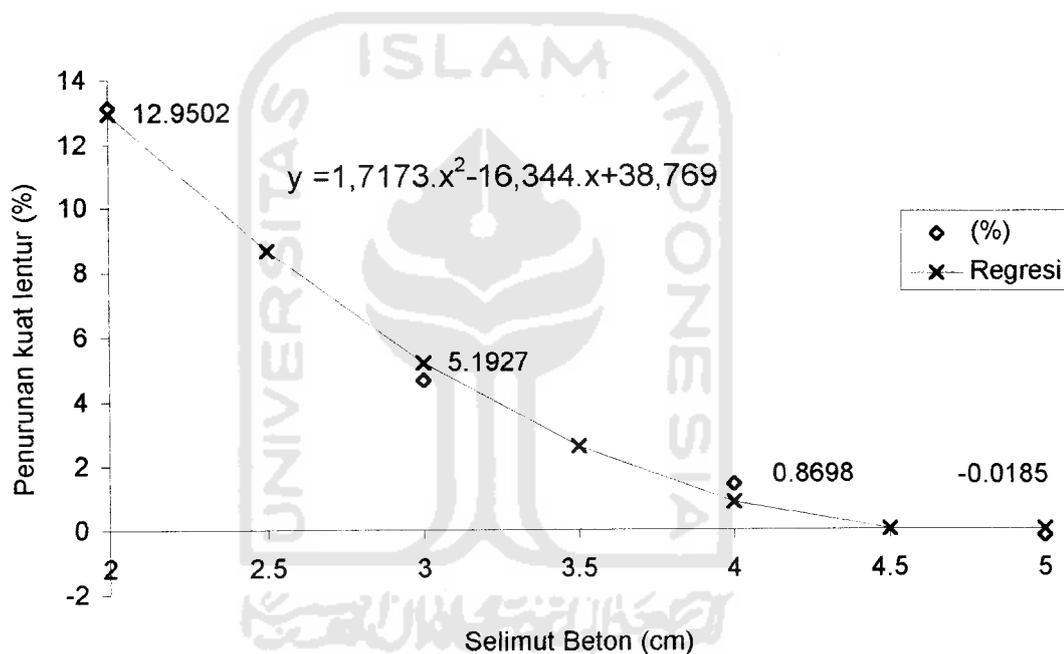
Perbedaan kondisi ini karena diantara temperatur 400°C sampai 600°C, kalsium hidroksida mengalami dihidrasi dan berubah menjadi kalsium oksida yang kekuatannya menjadi rendah sama sekali atau bahkan tidak mempunyai kekuatan sama sekali, yang akhirnya menyebabkan kekuatan pasta semen berkurang dengan cepat sepanjang interval temperatur tersebut.

5.1.1 Kuat lentur balok

Dari perhitungan perencanaan benda uji didapatkan kuat lentur rencana (M_r) sebesar 9,5462 kNm. Perhitungan ini didasarkan pada hasil uji tarik baja tulangan sebesar 2627,372 kg/cm² dan hasil uji kuat desak beton sebesar 37,2617 MPa. Pengujian lentur terhadap benda uji yang tidak dibakar memberikan hasil kuat lentur

aktual sebesar 15,1748 kNm. Pada pengujian lentur terhadap benda uji yang telah dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C dengan variasi tebal selimut beton 2, 3, 4 dan 5 cm, serta dibakar selama 3 jam, memberikan hasil kuat lentur yang bervariasi bergantung kepada temperatur dan tebal selimut betonnya.

Hasil pengujian kuat lentur merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian lentur, besarnya penurunan kuat lentur setelah pembakaran pada setiap temperatur dapat dilihat pada grafik berikut ini.

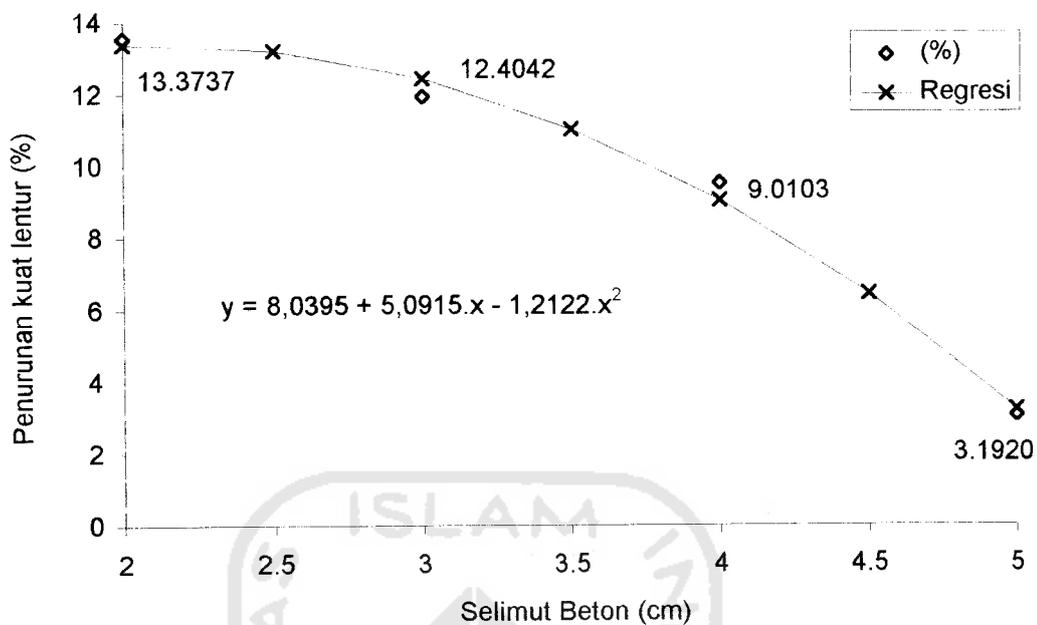


Gambar 5.2 Grafik Penurunan Kuat Lentur terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C

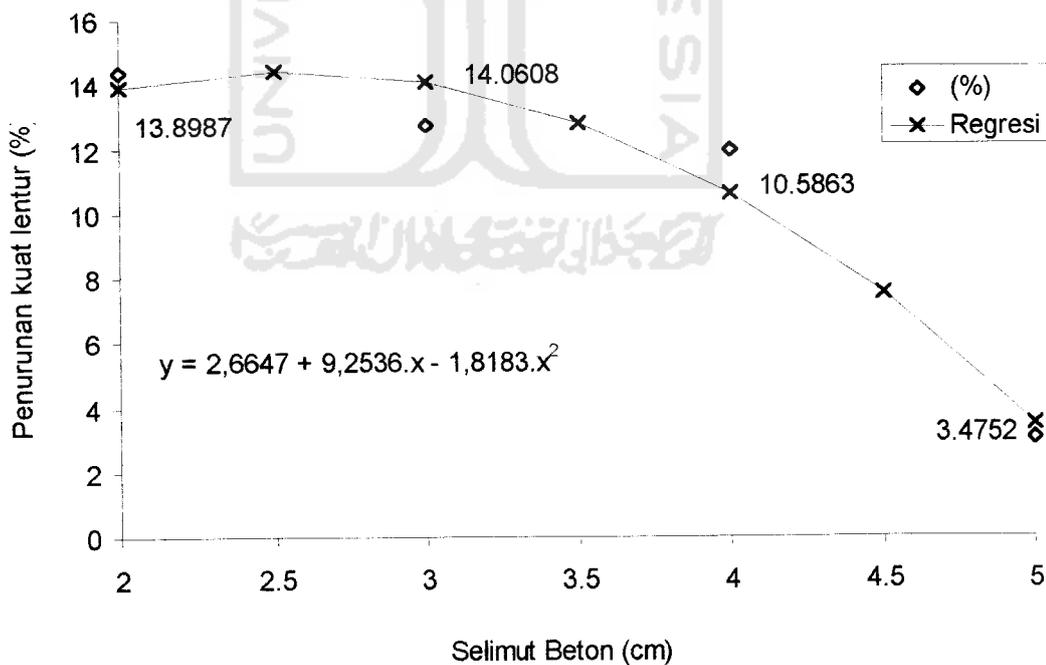
Gambar 5.2 adalah grafik penurunan kuat lentur benda uji yang dibakar pada temperatur 400°C, pada temperatur ini kuat lentur yang terjadi pada balok dengan penutup beton 2, 3, 4 dan 5 cm berturut turut adalah 13,1822 kNm, 14,4698 kNm, 14,9603 kNm dan 15,2055 kNm. Dari grafik tersebut bisa dilihat adanya penurunan kuat lentur yang bervariasi diantara selimut beton yang berbeda. Pada tebal selimut 2

cm, terlihat penurunan yang cukup besar yaitu 12,9502 %. bertambahnya tebal selimut beton meningkatkan kekuatan lentur, ini terlihat pada selimut beton 3 cm penurunan yang terjadi hanya sebesar 5,1927 % dan pada tebal selimut beton 4 cm penurunan yang terjadi sebesar 0,8698 %, sedangkan tebal selimut beton 5 cm memperlihatkan tanda minus, hal ini dapat diartikan bahwa kekuatan lentur yang terjadi lebih besar dibandingkan kuat lentur pada suhu ruangan, walaupun peningkatan kekuatan yang terjadi hanya kecil saja yaitu 0,0185 %, kemungkinan hal ini terjadi karena kekuatan beton pada balok ini, meskipun telah terbakar masih lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan balok pada temperatur ruangan, dan penutup beton yang tebal cukup baik melindungi baja dari kebakaran.

Gambar 5.3 dan 5.4 memberikan gambaran yang jelas pengaruh selimut beton dan kenaikan temperatur terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang. Dari kedua gambar tersebut terlihat penurunan kuat lentur balok dengan selimut beton 2 cm pada temperatur 500°C dan 600°C, hampir sama dengan kuat lentur balok yang dibakar pada temperatur 400°C dengan selimut beton 2 cm.



Gambar 5.3 Grafik Penurunan Kuat Lentur Terhadap Selimum Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 500°C

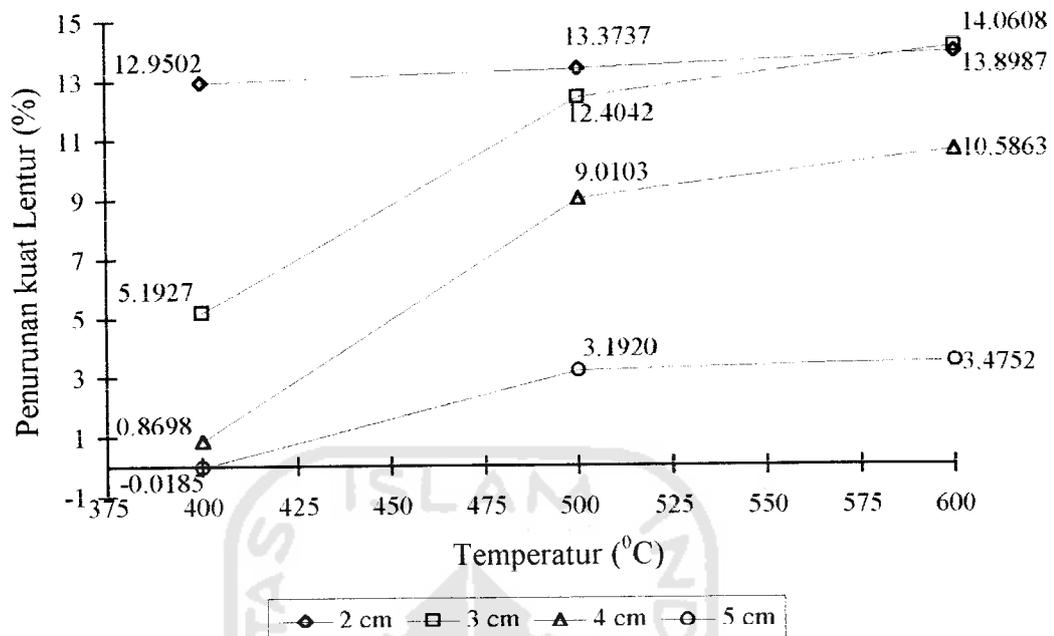


Gambar 5.4 Grafik Penurunan Kuat Lentur Terhadap Selimum Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 600°C

Pada saat tebal selimut beton 3 cm sampai 5 cm, tampak jelas pengaruh kenaikan temperatur dan tebal selimut beton terhadap kekuatan lentur. Dengan tebal selimut beton 3 cm dan temperatur 500°C kekuatan lentur yang terjadi turun sebesar 12,4042 % dibanding dengan kekuatan lentur balok pada temperatur ruangan. Sedangkan pada temperatur 600°C dengan tebal selimut yang sama, kekuatan lenturnya turun sebesar 14,0608 % atau selisih penurunannya 1,6566 % lebih besar dibanding kekuatan lentur balok yang dibakar pada temperatur 500°C.

Semakin tebal selimut beton yang digunakan, semakin kecil penurunan kuat lentur yang terjadi pada balok beton bertulang, hal ini menunjukkan bahwa selimut beton memberikan perlindungan pada baja terhadap panas saat terjadi kebakaran.

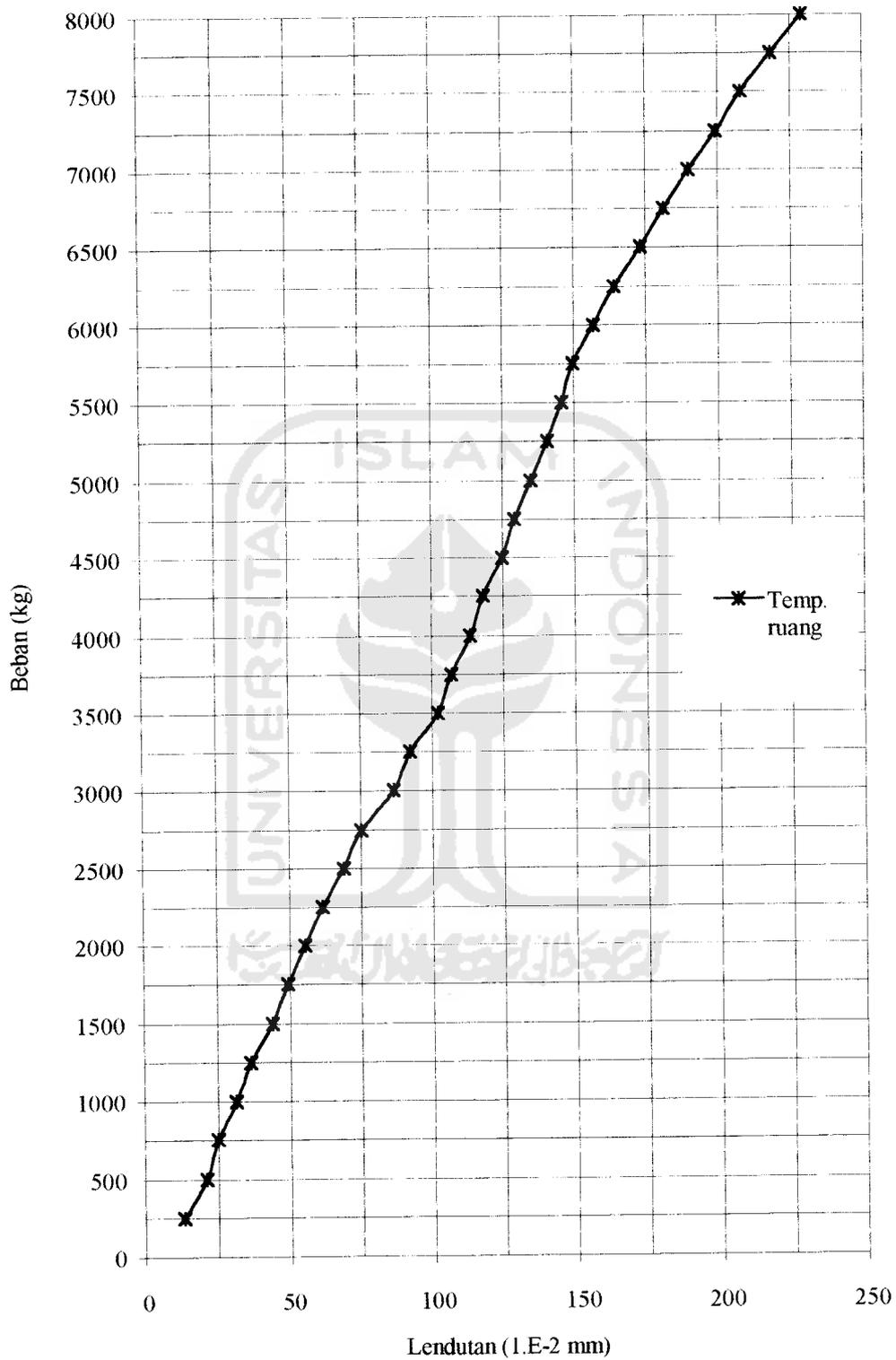
Semakin besar kenaikan temperatur maka semakin besar penurunan kekuatan lenturnya. Pengaruh temperatur pada penurunan kekuatan lentur terlihat jelas pada balok dengan selimut beton kurang dari 5 cm. sedangkan pada balok dengan selimut beton 5 cm pengaruh kenaikan temperatur terhadap penurunan kekuatan lentur amat kecil (lihat gambar 5.5).



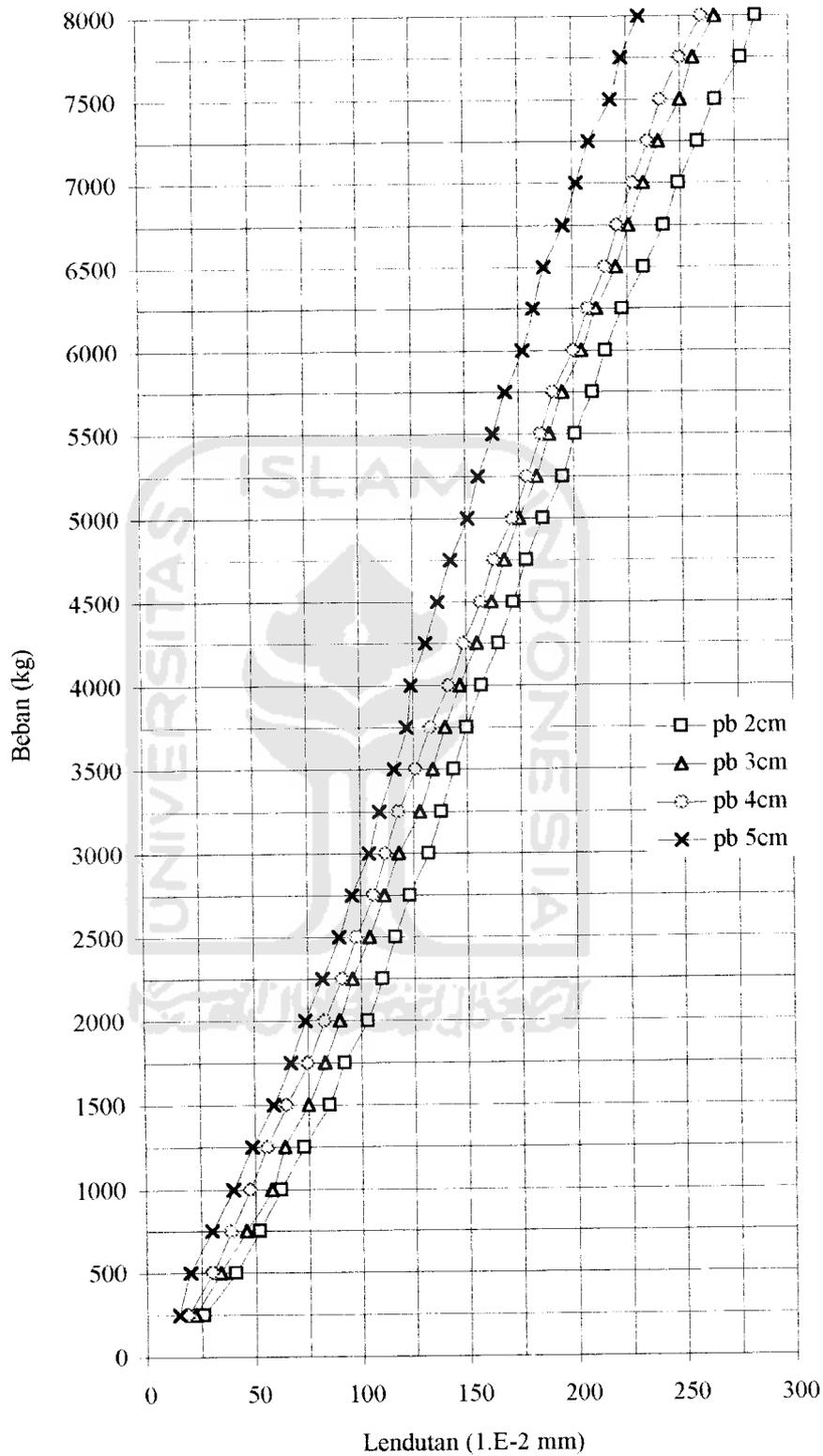
Gambar 5.5 Grafik Penurunan Kuat Lentur terhadap Temperatur pada Balok

5.1.2 Lendutan pada balok

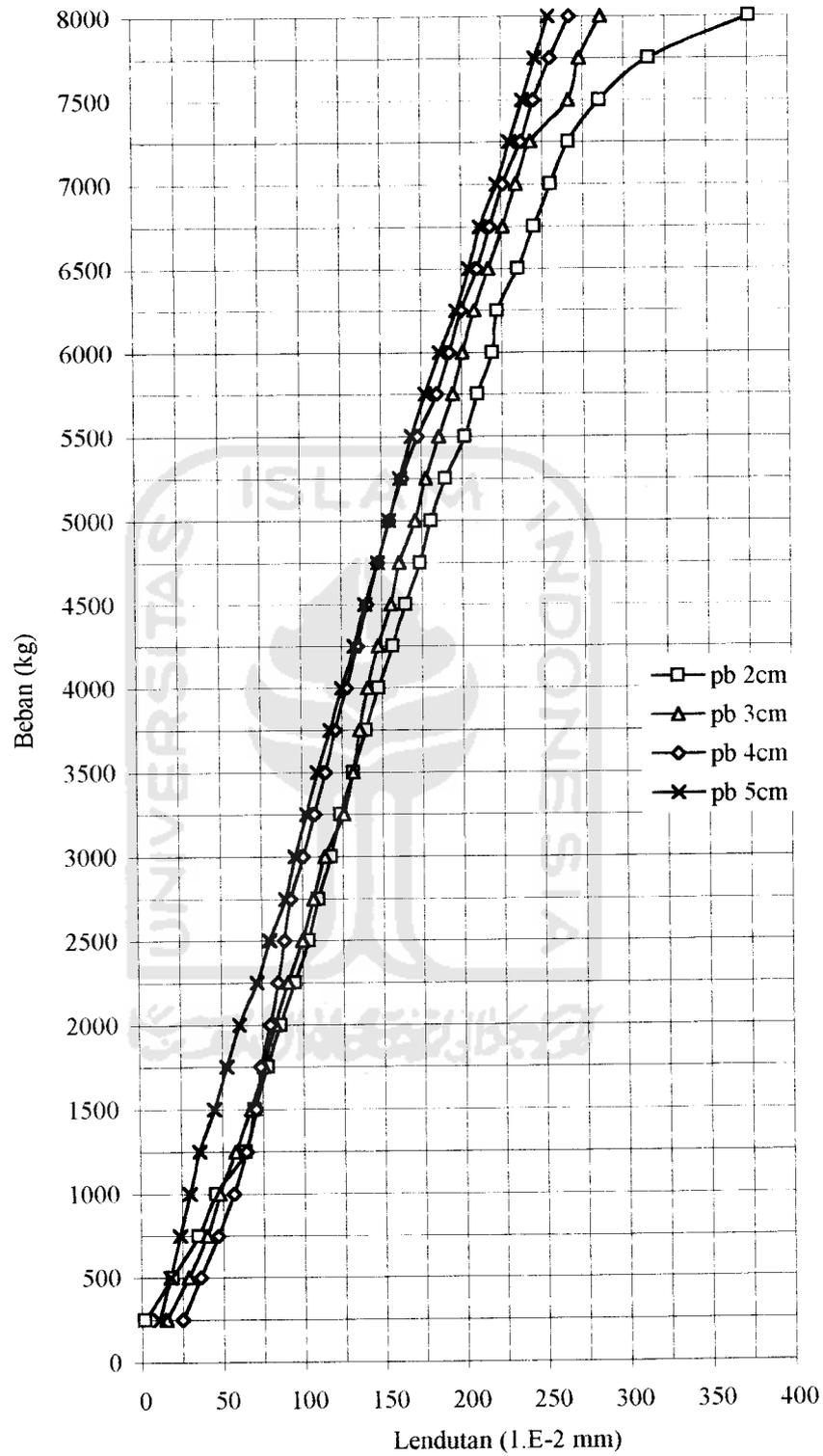
Besarnya lendutan yang terjadi pada suatu balok beton bertulang dipengaruhi oleh kekuatan beton pada daerah tekan dan kekuatan tulangan baja pada daerah tariknya. Pada balok yang mengalami kenaikan temperatur saat terjadi kebakaran, tingkat temperatur dan ketebalan selimut beton ikut mempengaruhi besarnya lendutan yang terjadi. Peningkatan temperatur yang terjadi menyebabkan kuat tekan beton menurun, dan ketebalan selimut beton memberikan perlindungan pada baja terhadap pengaruh panas, besarnya lendutan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.6 sampai dengan 5.9 berikut ini



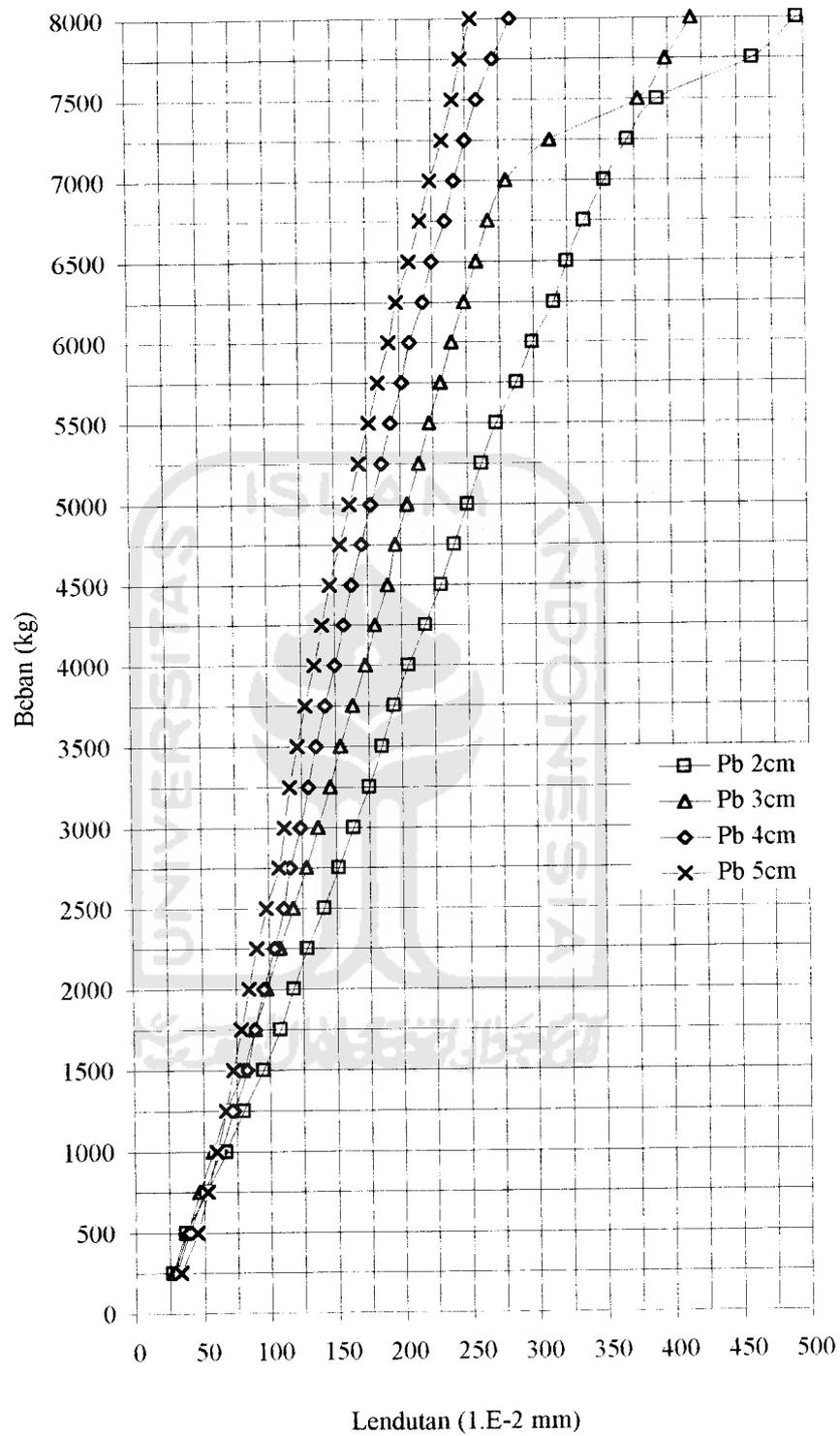
Gambar 5.6 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur Ruang



Gambar 5.7 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur 400°C



Gambar 5.8 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur 500°C

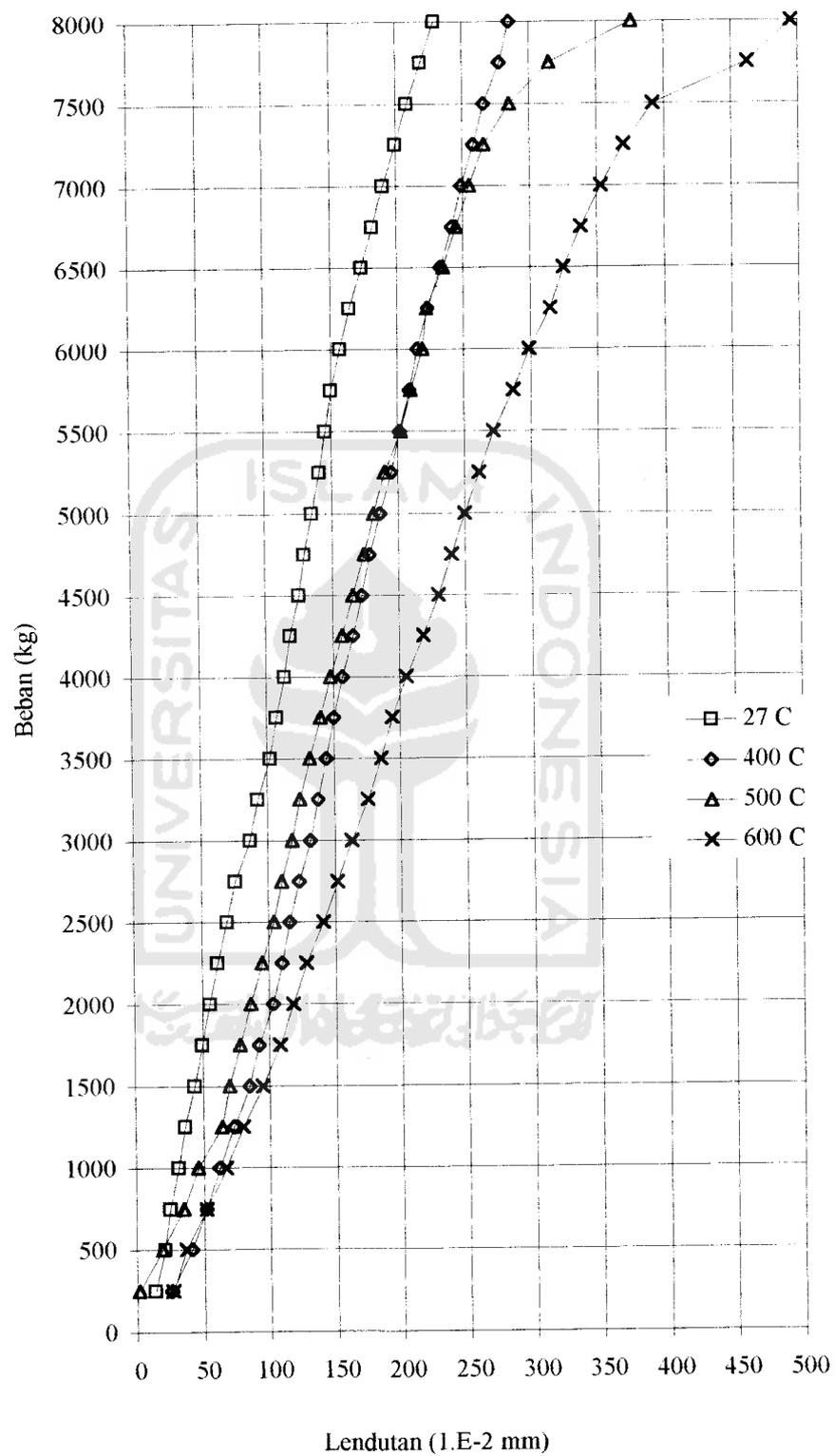


Gambar 5.9 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur 600°C

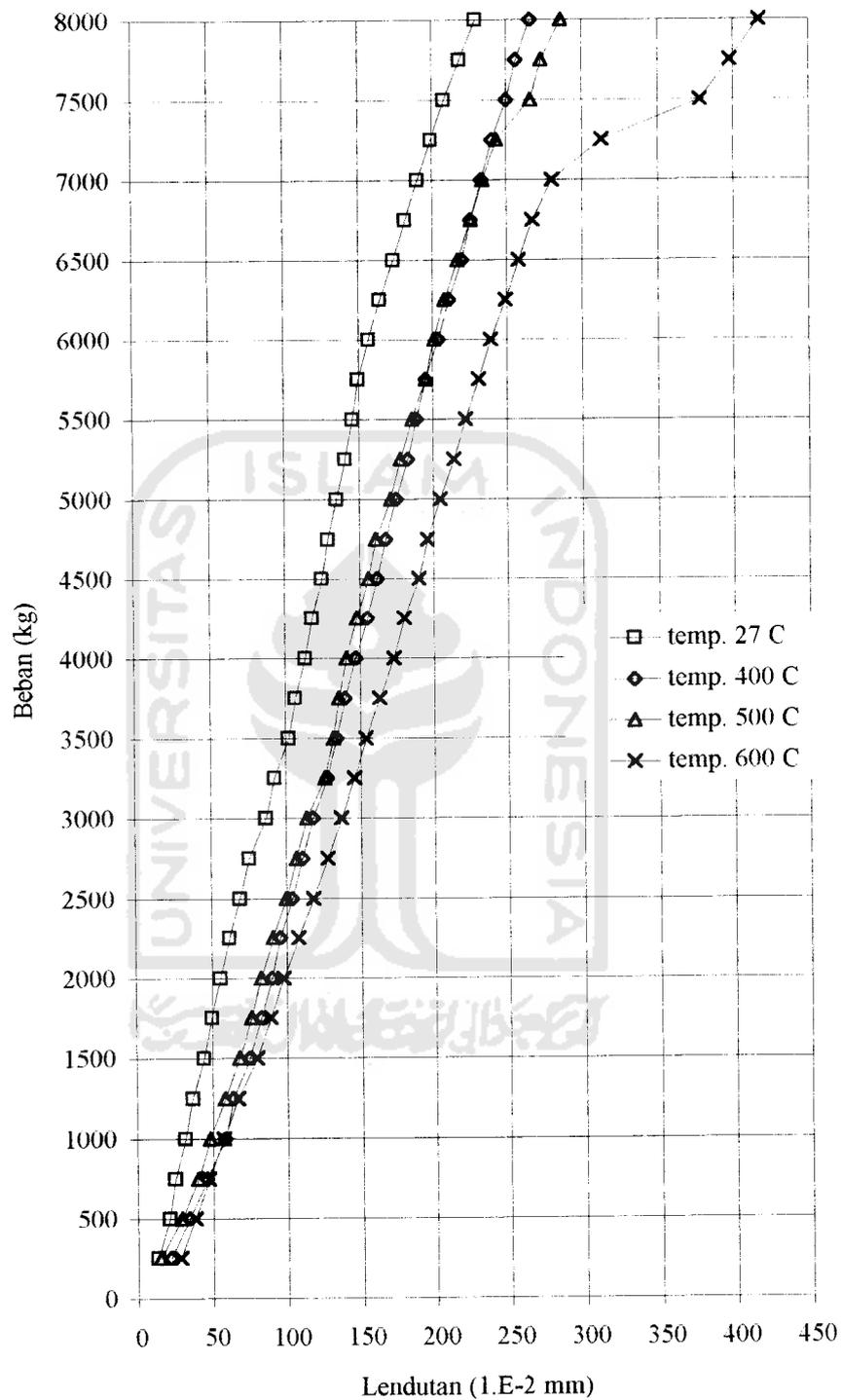
Dari gambar 5.6 untuk balok yang tidak dibakar, besarnya lendutan hampir sama untuk setiap benda uji, karena kekuatan lentur balok yang juga hampir sama. gambar 5.7 sampai 5.9 terlihat garis lendutan untuk benda uji yang dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C dengan tebal selimut beton 2 cm terletak paling atas, kemudian tebal 3 cm dan tebal 4 cm, kemudian paling bawah adalah benda uji dengan tebal 5 cm. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan bahwa dengan bertambahnya tebal selimut beton, maka lendutan yang terjadi semakin besar.

Pada gambar 5.10 sampai 5.13 berikut ini memperlihatkan bahwasanya lendutan juga dipengaruhi oleh peningkatan temperatur. Peningkatan temperatur mengakibatkan menurunnya kekuatan lentur dan memperbesar lendutan yang terjadi.

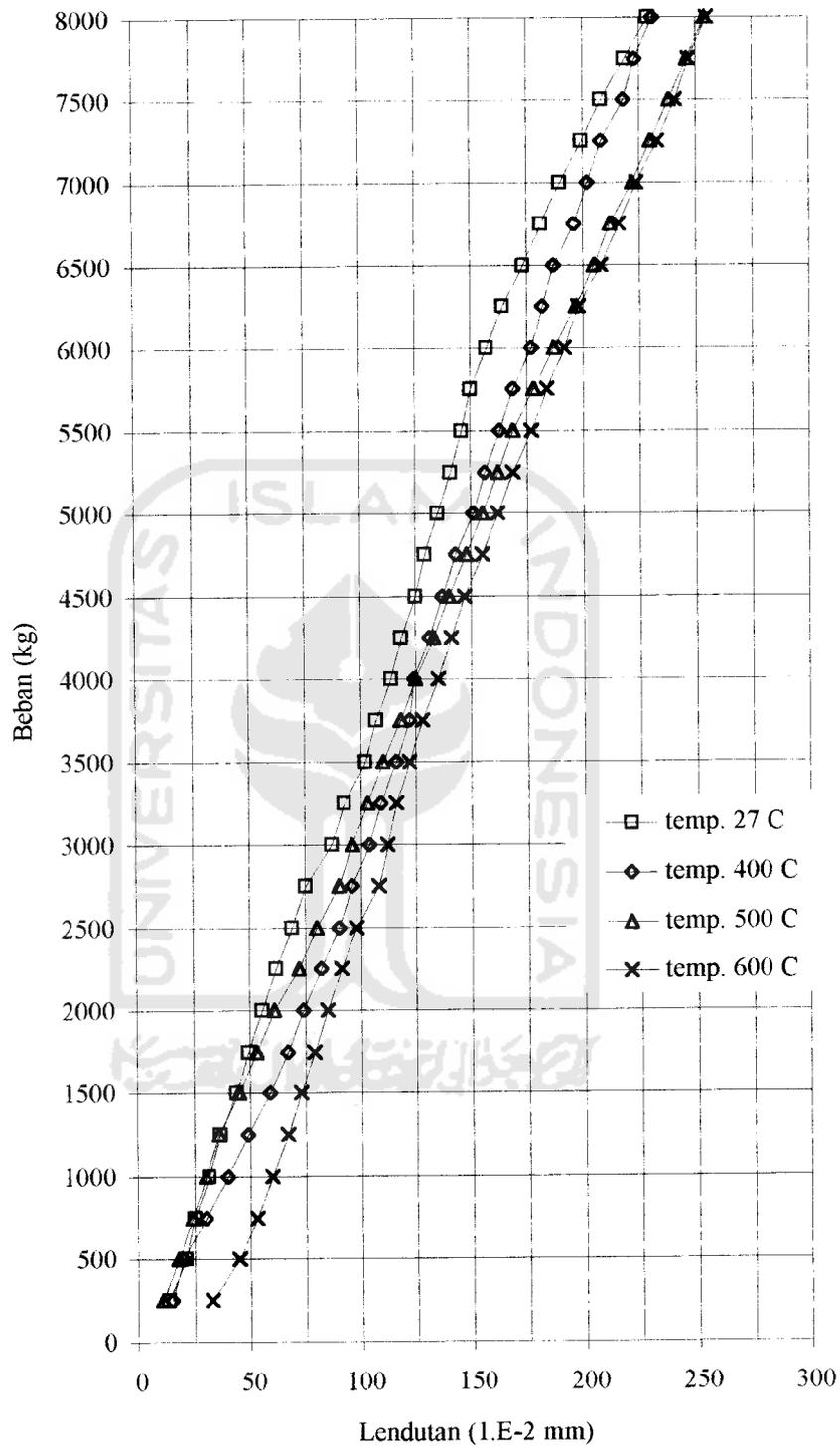
Dengan mengetahui besarnya lendutan dan penurunan kuat lentur yang terjadi maka dapat diambil suatu keputusan yang tepat terhadap bangunan dengan struktur balok beton bertulang yang mengalami kebakaran.



Gambar 5.10 Grafik Lendutan Balok terhadap Temperatur pada Selimut Beton 2 cm



Gambar 5.11 Grafik Lendutan Balok terhadap Temperatur pada Selimut Beton 3 cm

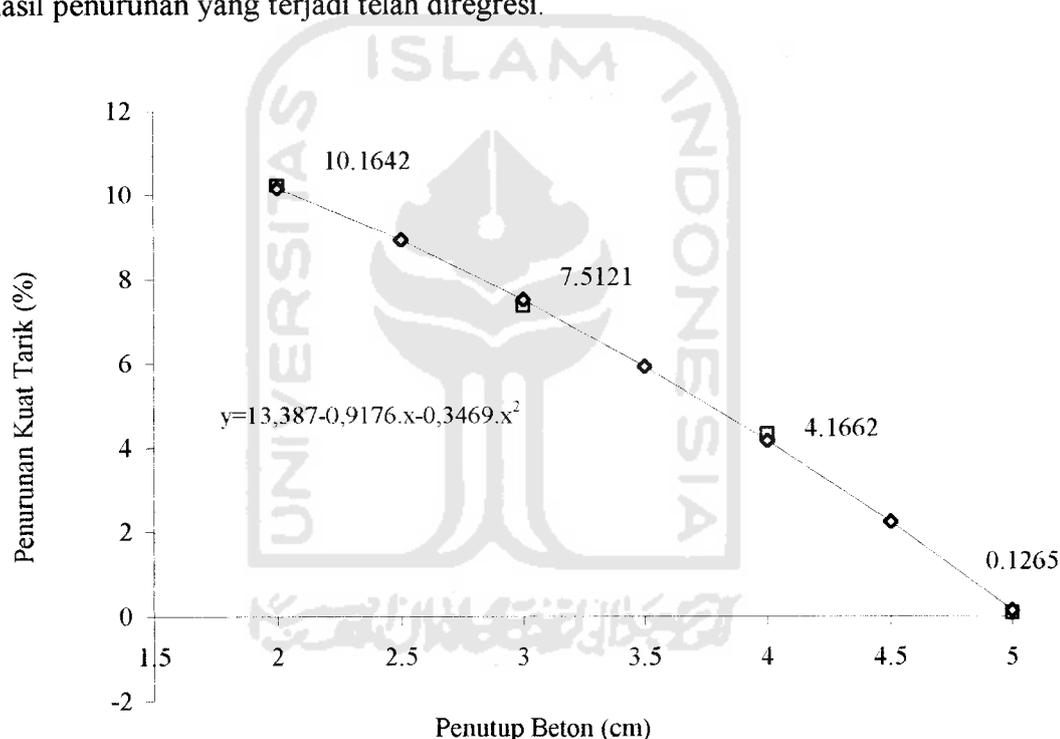


Gambar 5.13 Grafik Lendutan Balok terhadap Temperatur pada Selimut Beton 5 cm

5.1.3 Kuat tarik baja

Kuat tarik baja yang didapat pada pengujian awal dalam penelitian ini sebesar 2627,372 kg/cm². Setelah uji lentur balok dilakukan, baja tarik yang telah terkena beban lentur pada balok mempunyai kuat tarik rata-rata sebesar 2550,5694 kg/cm².

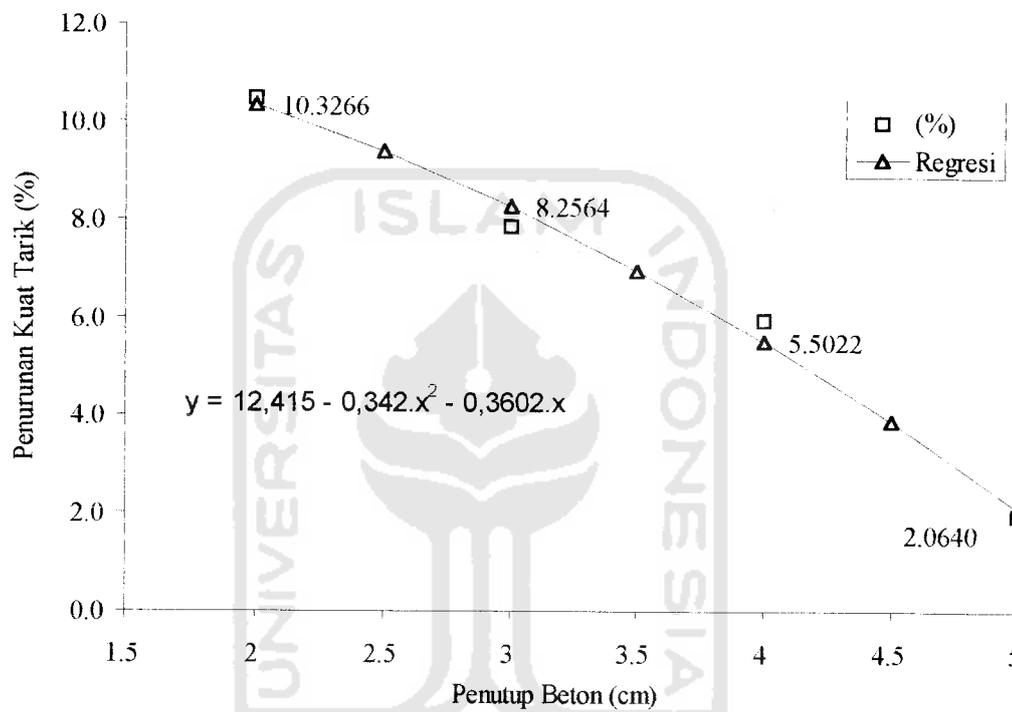
Sedangkan penurunan kuat tarik yang terjadi pada baja dengan variasi selimut beton dan pada beberapa temperatur diperlihatkan pada gambar 5.14, 5.15 dan 5.16, hasil penurunan yang terjadi telah diregresi.



Gambar 5.14 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C

Penurunan kuat tarik baja terjadi karena sifat baja yang tidak kuat terhadap panas saat terjadi kebakaran, tebal selimut beton tertentu memberikan perlindungan yang baik terhadap panas dan memperkecil penurunan kekuatan tarik bajanya. Gambar 5.14 memperlihatkan nilai penurunan yang besar pada tebal selimut 2 cm dan semakin

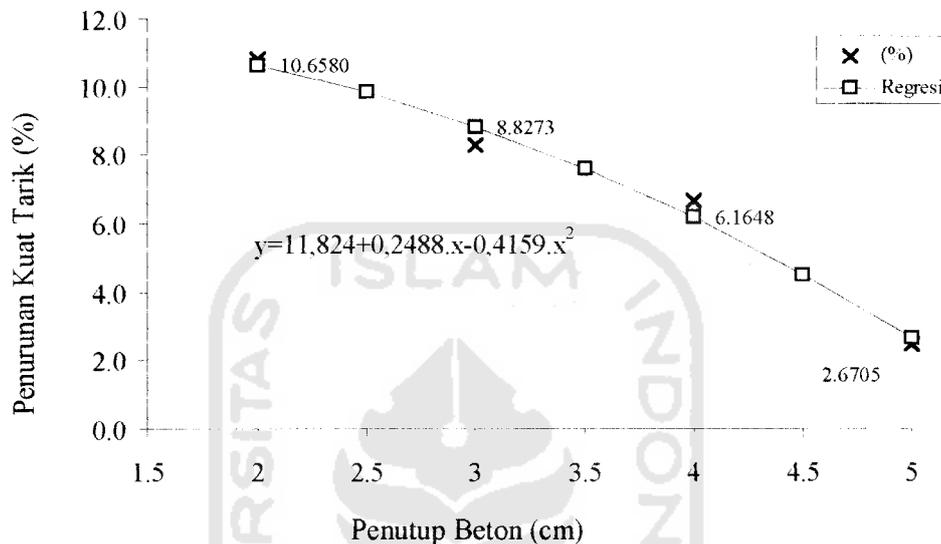
kecil penurunannya untuk setiap penambahan tebal selimut beton. Pada tebal selimut beton 5 cm yang dibakar pada temperatur 400°C penurunan yang terjadi relatif kecil yaitu 0,1265 %, ini menunjukkan bahwa selimut beton dengan tebal 5 cm cukup baik melindungi baja dari panas akibat kenaikan temperatur pada saat terjadi kebakaran.



Gambar 5.15 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 500° C

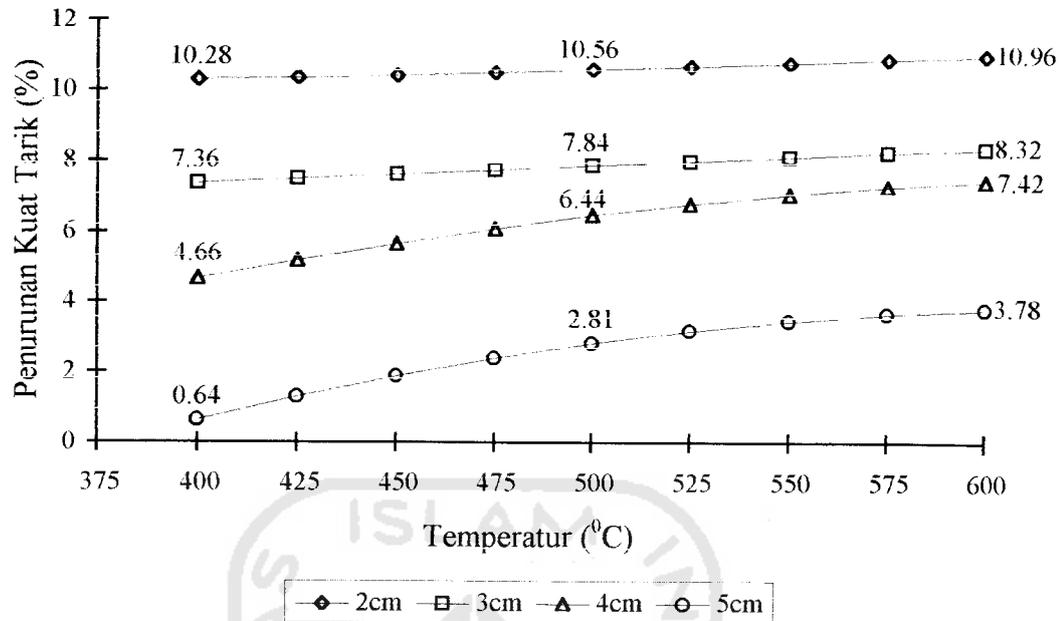
Gaambar 5.15 menunjukkan penurunan kuat tarik baja yang masih besar pada tebal selimut beton 2, 3, 4 cm yaitu 10,3266 %, 8,2504 %, 5,5022 %, dan penurunan terkecil terjadi pada tebal selimut penutup beton 5 cm yaitu sebesar 2,0640 % dari kuat tarik baja yang tidak dibakar. Pada temperatur ini, kuat tarik baja masih lebih rendah kekuatannya dibandingkan kekuatan baja yang diambil dari balok yang dibakar pada temperatur 400°C (lihat gambar 5.14). Hal ini sesuai dengan yang diharapkan

bahwa kecuali akibat tebal selimut, peningkatan temperatur juga mempengaruhi kekuatan tarik baja pada beton bertulang.



Gambar 5.16 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 600° C

Penurunan kuat tarik baja pada saat temperatur mencapai 600°C seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.16, menunjukkan penurunan kekuatan baja pada semua tebal selimut beton terhadap kekuatan baja pada temperatur yang lebih rendah ataupun kekuatan baja pada balok yang tidak dibakar. Gambar 5.17 berikut ini memperlihatkan adanya pengaruh tingkat temperatur pada penurunan kekuatan tarik baja yang dilindungi oleh penutup beton. Penurunan kekuatan yang terjadi tidak terlalu besar, hal ini disebabkan karena kekuatannya yang berangsur kembali sejalan dengan pendinginan, meskipun tidak kembali 100 %. Penurunan ini mungkin akan lebih besar jika baja diuji ketika masih panas.



Gambar 5.17 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Temperatur

5.1.4 Pola retak benda uji

Retak-retak permukaan terjadi pada semua beton yang telah dibakar. Keretakan pada beton yang dibakar pada temperatur 400° C selama 3 jam terlihat menyerupai retak-retak rambut dan terjadi hampir diseluruh permukaan yang terkena panas langsung. Retak-retak ini semakin bertambah banyak dan bertambah lebar seiring dengan peningkatan temperatur. Retak-retak dapat terjadi akibat pasta semen yang menyusut pada peristiwa dehidrasi, sedangkan butiran agregat mengembang karena meneruskan muai panas.

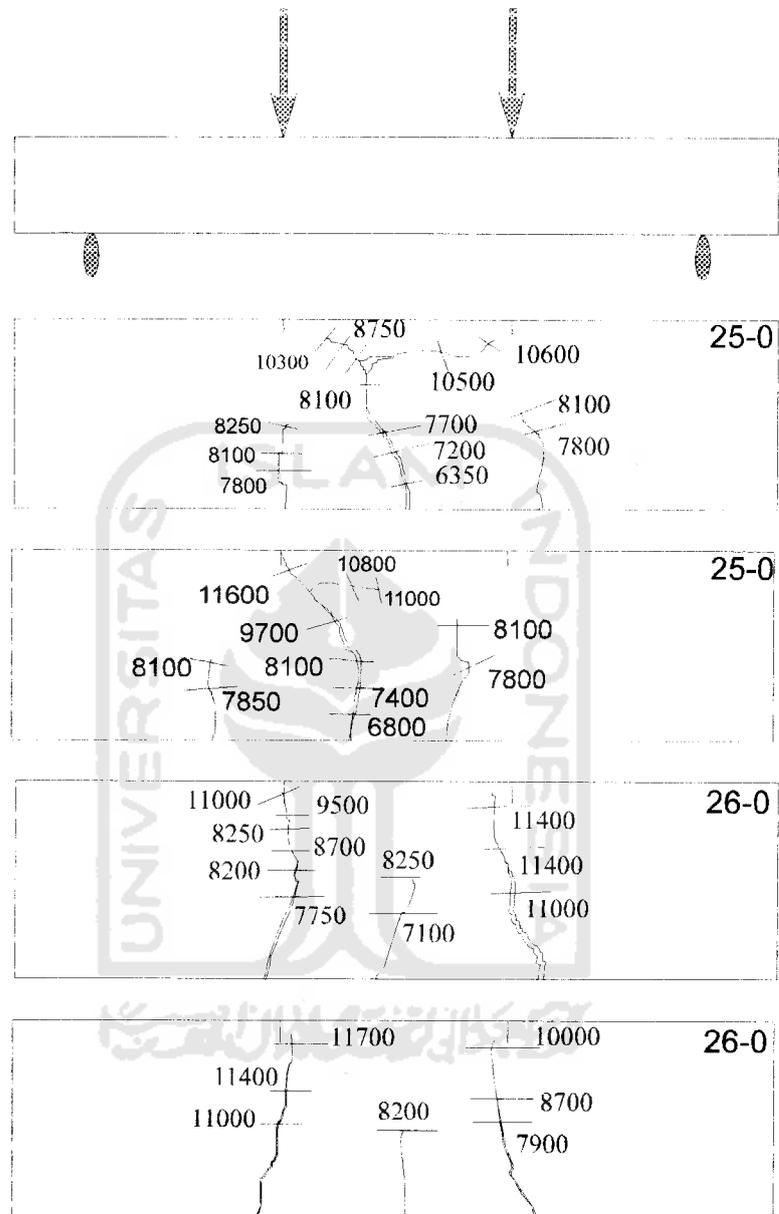
Selain retak karena kenaikan temperatur, juga diperhatikan pola dan letak retak dari hasil pengujian lentur. Letak retak dan patah untuk benda uji pada penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan, karena semua benda uji tidak ada yang patah pada daerah tumpuan ataupun gagal akibat pembelahan beton pada daerah tumpuan ataupun

gagal akibat pembelahan beton pada daerah tarik, hal ini karena semua benda uji menggunakan tulangan sengkang dengan jarak yang rapat.

Pola retak akibat pembebanan lentur dapat dijelaskan sebagai berikut.

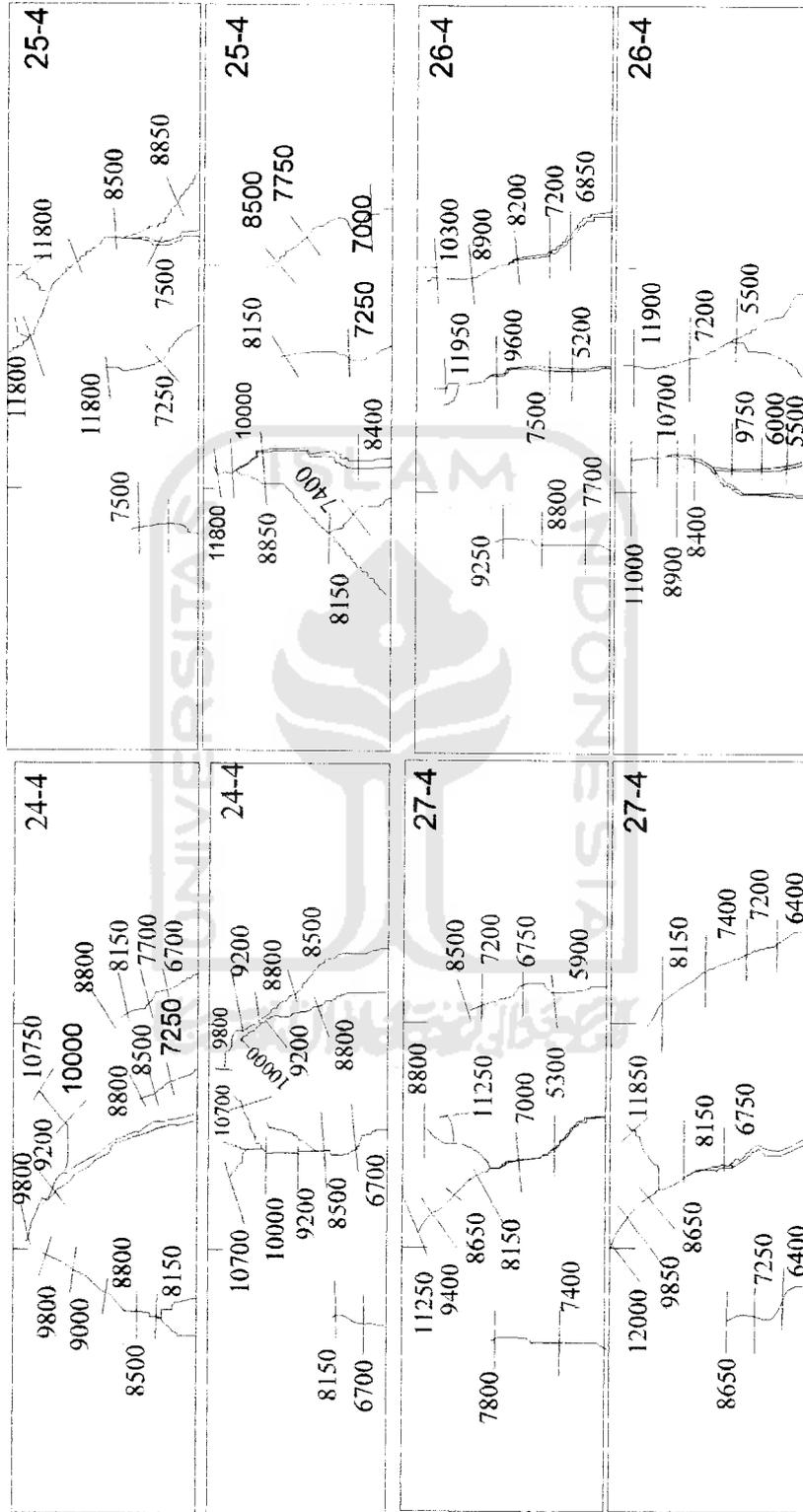
1. Retak dimulai pada sisi bawah atau sisi tarik benda uji balok dan terus berlanjut menuju bagian atas atau bagian tekan secara perlahan seiring dengan peningkatan beban.
2. Pola retak semakin melebar, kemudian berhenti pada saat mencapai beban maksimum. Kegagalan akhir tidak terjadi secara tiba-tiba karena pada penelitian ini balok menggunakan sengkang.

Pola retak dari masing-masing balok seperti terlihat pada gambar 5.18, gambar 5.19, gambar 5.20 dan gambar 5.21 berikut ini. Beban-beban dicatat pada saat terlihat retak pada balok, pola retak pada penelitian ini digambarkan berdasarkan pengamatan langsung tanpa menggunakan alat bantu.

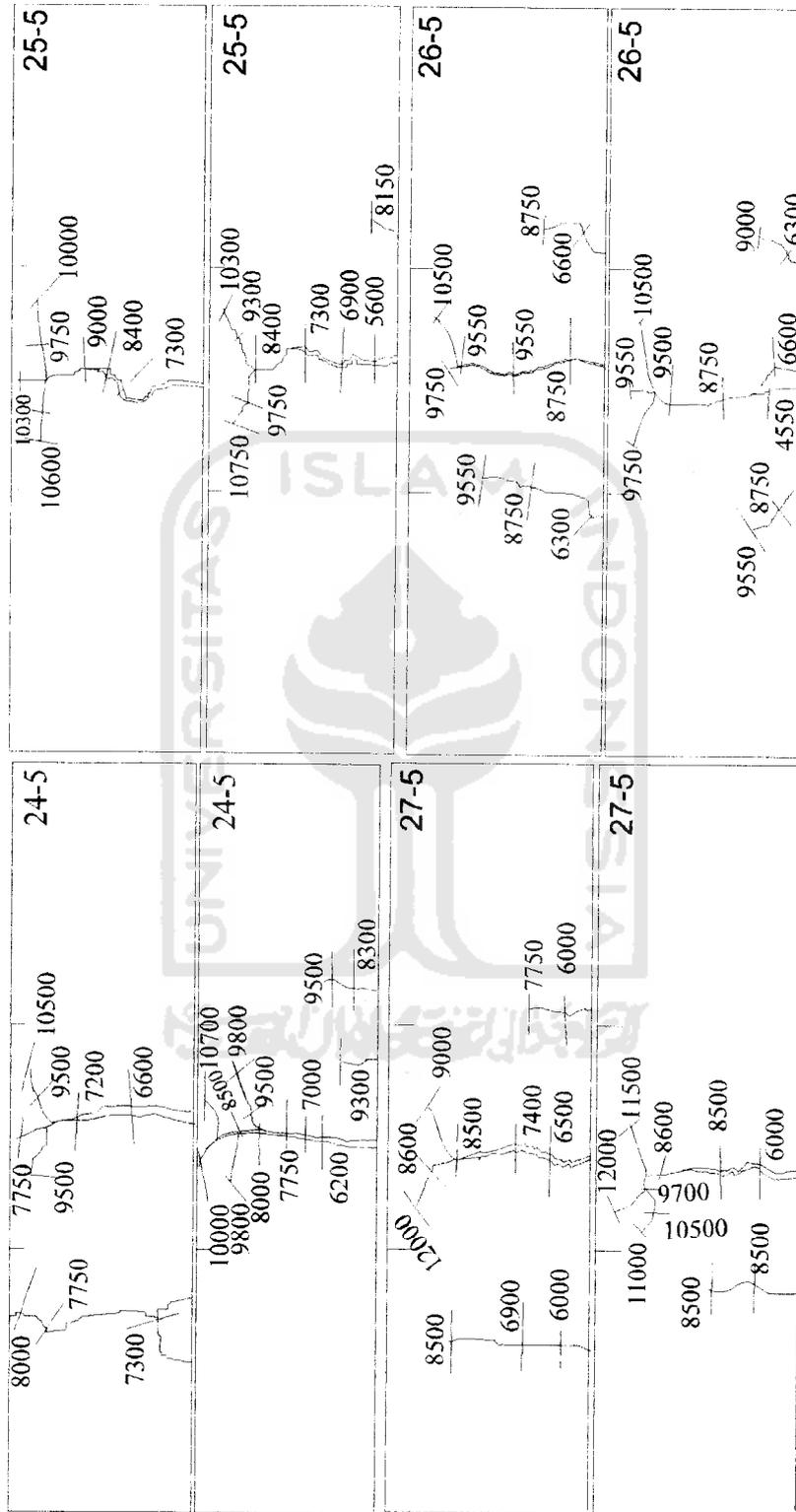


Catatan : Angka-angka diatas adalah batas retak pada pembebanan dan beban dalam satuan kg.

Gambar 5.18 Pola retak balok setelah pembebanan pada temperatur ruangan



Gambar 5.19 Pola retak balok setelah pembebanan untuk pembakaran pada temperatur 400°C



Gambar 5.20 Pola retak balok setelah pembebanan untuk pembakaran pada temperatur 500°C

