

Evaluasi Beton Bertulang terhadap Perlakuan Panas (Tinjauan pada Tegangan Tarik dan Modulus Elastis Tulangan Baja Lateral)

(Evaluation of Reinforced Concrete on Heat Treatment: Review on Tensile Stress and Elastic Modulus of Lateral Steel Reinforcement)

RISWANTO, AS'AT PUJIANTO, M. HERI ZULFIAR

ABSTRACT

Fires phenomena have made demands to a building planner to protect, evaluate, and predict the performance of a building after a fires process. The main attention was given to the type of material, in this case, the reinforced concrete that used as a structural element, which due to heating and cooling cycles are alternating, and then the elements of reinforced concrete structures undergo a phase change both in the physical and chemical. This research related to the evaluation of reinforced concrete quality with a focus on heat treatment and reviews tensile stress and elastic modulus of the steel reinforcement. Specimens used in this study was a model of the reinforced concrete beam with a concrete cover types K250 and K300, 7.5 mm of rebar diameter and 2 cm of concrete cover thickness. Heat testing performed after 28 days of treatment with closed combustion in the furnace (heat chamber) without loading at a temperature of 1000°C for 10 hours, holding time for 1 hour, and slows cooling for 10 hours. In normal specimens, the tensile test results show an equivalent stress value of 324.12 MPa. In specimens heat treatment with a concrete cover of K250, the tensile stress value was 259.52 MPa, while in the K300 was 263.76 MPa. Optimum tensile stress value in normal specimens was 568.62 MPa, and in specimens with heat treatment and with the K250 concrete cover was 473.74 MPa and amounted to 494.41 MPa for K300. The value of tensile fracture stress in normal specimens amounted to 552.52 MPa, and in specimens with heat treatment and with the K250 concrete cover amounted to 461.52 MPa and amounted to 465.24 MPa for K300. Elastic modulus values for normal specimen was 1,612,963.61 kg/cm², while in specimen heat treatment with the K250 concrete cover was 1,287,888.05 kg/cm² and was 1,311,545.42 kg/cm² for K300.

Keywords: tensile stress, elastic modulus, lateral steel reinforcement

PENDAHULUAN

Seiring pesatnya pertumbuhan infrastruktur membuat beton bertulang menjadi pilihan sekaligus alternatif dalam pemakaian material konstruksi. Alasan pemakaian beton bertulang sebagai elemen struktur antara lain adalah karena memiliki kuat tekan yang tinggi dan bisa dimodifikasi dalam elemen bentang panjang. Beton bertulang juga relatif lebih tahan terhadap perubahan lingkungan ekstrim, tahan terhadap radiasi sekaligus mampu menghambat konduksi panas.

Dengan adanya peristiwa kebakaran yang sering terjadi saat ini menyebabkan perencana dituntut untuk melindungi, mengevaluasi dan memprediksi kinerja bangunan setelah mengalami proses kebakaran. Perhatian utama diberikan kepada jenis material, dalam hal ini adalah beton bertulang yang dipakai sebagai elemen struktur, dimana karena adanya siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, maka elemen struktur beton bertulang mengalami perubahan fase fisis dan kimia secara kompleks. Pada elemen struktur beton bertulang yang terbakar dengan panas yang

tinggi, material yang paling sensitif adalah tulangan baja, dimana baja akan mengalami proses transformasi fase yang mengakibatkan muai dan mengalami penurunan kinerja atau tegangan leleh yang cukup drastis pada temperatur tinggi (Lawson, 2000). Oleh karena itu selimut beton biasanya dirancang dengan ketebalan yang cukup, untuk melindungi tulangan dari temperatur tinggi.

Pada saat terjadi kebakaran, elemen struktur akan mengalami beberapa pola atau teknik perlakuan panas (*heat treatment*). Umumnya elemen struktur melewati perubahan temperatur yang ekstrim, dimana terjadi peningkatan temperatur pemanasan yang disusul dengan pendinginan secara spontan (pemadaman api dengan air). Proses ini cenderung terjadi berulang-ulang mengingat kebakaran tidak bisa langsung diatasi dengan pemadaman sekali saja. Bentuk perlakuan panas yang lain adalah pendinginan yang sifatnya gradual atau api padam dengan sendirinya. Proses ini membutuhkan waktu yang relatif lama dalam pemulihan (*recovery*) untuk mengembalikan ke temperatur normal. Akibat temperatur tinggi dan perlakuan panas (*heat treatment*) selama kebakaran berlangsung, sudah selayaknya kinerja beton bertulang perlu dievaluasi atau dikaji ulang agar usaha-usaha perbaikan dapat dilaksanakan seefisien mungkin dan menentukan dapat tidaknya sebuah struktur dipergunakan kembali. Dengan adanya pertimbangan-pertimbangan tersebut timbul pemikiran untuk mengadakan suatu penelitian tentang evaluasi mutu beton bertulang akibat radiasi panas pasca pembakaran dengan tinjauan pada aspek material tulangan baja. Fokus penelitian ini untuk mengkaji penurunan tegangan tarik maupun modulus elastis tulangan baja pada beton bertulang setelah mengalami proses pengujian panas pada suhu dan waktu yang telah ditentukan.

Rantesalu (2002) mengkaji pengaruh temperatur tinggi pasca kebakaran terhadap kualitas beton mutu tinggi dengan pasir besi sebagai *cementitious*. Hasil penelitian menunjukkan sebelum dibakar kuat tekan rata-rata beton pasir besi adalah 70,526 MPa, namun setelah mengalami pembakaran pada suhu 400°C, kuat tekan beton mengalami penurunan hingga pada suhu pembakaran

1000°C kekuatan beton tinggal 30% dari kekuatan pada temperatur kamar. Hal ini didukung oleh terjadinya penurunan tegangan hingga 68,72% dari nilai tegangan dan terjadinya peningkatan regangan sebesar 155,10% dari nilai regangan awal pada beton pasir besi. Nilai modulus elastisitas menurun dari 271.055 kg/cm menjadi 29.001 kg/cm² yang berarti tingkat kekakuan beton berkurang hingga 89% dari nilai modulus elastisitas awalnya. Disamping itu didukung oleh perubahan nilai porositasnya dari 2,28% menjadi 14,9%, nilai permeabilitasnya dari 4,26.10⁻⁹ cm/det meningkat menjadi 3,07.10⁻⁸ cm/det dan perubahan sifat daya hantar panas dari 1,363 Kcal/m.h.°C berkurang menjadi 1,023 Kcal/m.h. °C.

Randall et al. (2000) mengkaji tentang sifat mekanis beton setelah mengalami pengujian panas pada level temperatur yang berbeda, yang meliputi kuat tekan, berat beton dan modulus elastis. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh temperatur lingkungan yang tinggi terhadap sifat mekanis beton dapat mengakibatkan kuat tekan beton semakin rendah seiring dengan temperatur yang semakin tinggi. Kenaikan temperatur 100°C, 200°C, 300°C dan 450°C akan menurunkan kuat tekan beton secara berturut-turut menjadi 86%, 79%, 66% dan 48%. Penurunan berat beton secara berturut-turut sebanyak 45,3 gram, 210,3 gram, 306 gram, 389,67 gram, dan menurunkan nilai modulus elastis menjadi 92.6%, 68.9%, 45.1% dan 25.4%.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan penelitian yang dibutuhkan dalam penelitian ini, meliputi:

1. Beton dengan kuat tekan $f_c' = 25$ MPa (K250) dan 30MPa (K300) berdasarkan standart perencanaan campuran (*mix design*) dari perusahaan *readymix concrete* sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.
2. Tulangan baja berdiameter 7,5 mm dengan registrasi standart SII.

TABEL 1. *Mix Design* Beton K250

ID	Semen (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Additive PCRI (ml)	Baja Tulangan (mm)
HT250X	1656	5460	6060	901	3050	3D8
HT250Y	1656	2780	6060	901	3050	3D8
HT250Z	1656	2780	6060	901	3050	3D8

TABEL 2. *Mix Design* Beton K300

ID	Semen (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Additive PCRI (ml)	Baja Tulangan (mm)
HT300X	932	2780	2870	519	1600	3D7,5
HT300Y	932	2780	2870	519	1600	3D7,5
HT300Z	932	2780	2870	519	1600	3D7,5

Alat

Peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan berbagai pengujian dalam penelitian ini terdiri dari :

1. *Batching plant*
2. *Truck mixer*
3. Cetakan beton
4. Kerucut Abrams, tongkat penusuk dan mistar
5. Timbangan
6. Tungku pemanas (*heat chamber*)
7. *Thermo couple*
8. *Caliper*
9. *Univesal testing machine*

Lokasi Penelitian

1. Tahap produksi benda uji dilakukan di Laboratorium *Technical and Quality Control* Bahan Bangunan, *Batching Plant* PT. Jaya Readymix Plant Yogyakarta,

Wirokerten, Banguntapan, Bantul Yogyakarta.

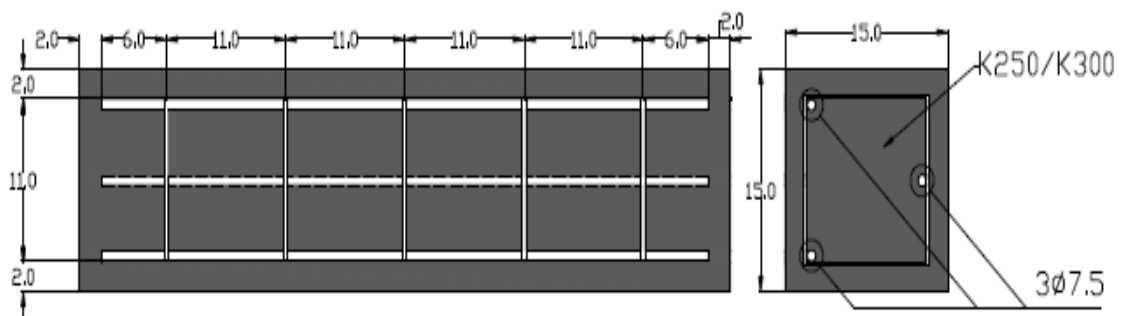
2. Tahap pengujian panas dilakukan di pusat industri keramik Pundong, Bantul Yogyakarta.
3. Tahap pengujian kuat tarik tulangan baja dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Teknologi Beton, Program Studi Teknik Sipil UMY.

Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut ini.

1. Perencanaan model benda uji

Model benda uji yang dipakai dalam penelitian berbentuk balok (*beam*) dengan dimensi 15cm x 15cm x 60cm dengan selimut beton 2cm untuk setiap tipe beton. Adapun spesifikasi benda uji sebagaimana disajikan dalam Gambar 1.



GAMBAR 1. Model Benda uji dengan selimut beton K250 dan K300.

2. Persiapan produksi benda uji.

Pada tahap ini dilakukan persiapan campuran beton. Semua material campuran beton dipersiapkan dan diukur proporsinya sesuai dengan *mix design* untuk menentukan mutu beton yang diinginkan dalam *batching plant*. Kegiatan persiapan yang lain meliputi pembuatan rangkaian tulangan beton dan pemeriksaan cetakan beton.

3. Pencampuran

Semua material yang telah dipersiapkan dalam *batching plant* dimasukkan kedalam *truck mixer* secara mekanis melalui *belt conveyor*, maupun pompa udara bertekanan tinggi. Kerikil, pasir, semen, air dan bahan additiv dicampur di dalam *truck mixer* pada putaran 25 rpm selama 10 menit. Pada penelitian ini campuran beton menggunakan nilai faktor air semen (*water cement ratio*) sebesar 0,544 (untuk beton K250) dan 0,556 (untuk beton K300)

4. Pembuatan benda uji dan perawatan

Campuran beton segar yang dihasilkan dari *mixer*, kemudian dilakukan pengujian slump. Tahap selanjutnya adalah pemadatan dan perawatan beton dengan cara direndam sampai umur 30 hari.

5. Pengujian panas

Benda uji dipanaskan dalam sebuah tungku pemanas (*heat chamber*), yaitu sebuah tungku pemanas yang biasa dipakai untuk memanaskan tanah liat atau kaolin pada industri keramik dan gerabah. Mekanisme kerja alat ini adalah tiap laju kenaikan temperatur 100°C membutuhkan waktu kurang lebih 60 menit sehingga untuk mencapai suhu pemanasan 1000°C dibutuhkan waktu 600 menit. Sementara waktu yang dibutuhkan untuk laju pendinginan yaitu sama dengan waktu untuk laju pemanasan (*equilibrium condition*)

6. Observasi terhadap benda uji

a. Tinjauan terhadap beton

Akibat pemanasan pada temperatur 1000°C beton mengalami perubahan struktur mikro (komposisi kimia) yang mempengaruhi sifat mekanisnya, yaitu perubahan berat sebelum dan sesudah pengujian panas, dan perubahan pasta semen menjadi kapur bebas. Perubahan pasta semen menjadi kapur bebas

mengakibatkan kemampuan mengikat agregat menjadi hilang sehingga komponen penyusun beton tidak terintegrasi dan menyebabkan kuat tekan beton menyusut drastis. Proses pengapuran pasta semen melepaskan panas yang mengakibatkan retak di semua lapisan beton baik lapisan luar maupun lapisan dalam sehingga tidak memungkinkan lagi dilakukan pengujian lentur karena elemen dianggap telah mengalami kegagalan struktur.

b. Tinjauan terhadap tulangan baja

Akibat mekanisme perlakuan panas (*heat treatment*) selama pengujian panas, tulangan baja mengalami perubahan kondisi fisik yaitu reduksi pada luas penampang. Reduksi terhadap luas penampang pada tiap spesimen yang mengalami pengujian panas disebabkan oleh terbentuknya lapisan kerak dari proses oksidasi dengan ketebalan tertentu yang terpisah dari lapisan luar spesimen.

7. Pengujian tarik

Pengujian tarik dimaksudkan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik suatu bahan. Untuk keperluan pengujian tarik, spesimen bahan uji dibuat batas antara ujung yang terjepit oleh mesin uji tarik dengan zona tarik sepanjang 20 cm. Untuk pelaksanaan pengujian, spesimen uji dijepit pada mesin uji. Pembebanan dilakukan mulai dari nol, kemudian bertambah perlahan-lahan hingga diperoleh beban maksimum dan akhirnya benda uji patah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

1. Pengujian beton segar

Sebelum pencetakan benda uji beton, terlebih dahulu dilakukan pengujian beton segar pada masing-masing tipe beton. Dari hasil pengujian sifat *workability* beton, diperoleh nilai *slump* sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

TABEL 3. Hasil Pengujian *Slump*

Tipe beton	Faktor air semen	Slump (cm)			
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	Rata-rata (cm)
K250	0.544	12	10	9	10,33
K300	0.556	10,5	12	9	10,50

2. Pengukuran berat benda uji

Setelah melalui tahap pencetakan dan perawatan, benda uji diukur beratnya. Terjadi penurunan berat beton sebelum dan sesudah pengujian panas pada temperatur 1000°C. Penurunan berat benda uji sebelum dan sesudah pengujian panas disajikan pada Tabel 4.

TABEL 4. Penurunan Berat Benda Uji Sebelum dan Sesudah Pengujian Panas.

ID Spesimen	Wo (kg)	W (kg)	Reduksi	
			(kg)	%
HT250X	30,31	29,3	1,01	3,33
HT250Y	30,29	29	1,29	4,25
HT250Z	30,31	28,5	1,81	5,97
HT300X	30,49	29,5	0,99	3,24
HT300Y	30,52	29,6	0,92	3,01
HT300Z	30,51	29,4	1,11	3,63

3. Pengukuran luas penampang tulangan baja

Pengukuran dimensi tulangan baja dilakukan sebelum pembuatan benda uji dan sesudah benda uji mengalami pengujian panas. Akibat mekanisme perlakuan panas (*heat treatment*) selama pengujian panas, tulangan baja mengalami perubahan luas penampang. Perbandingan luas penampang sebelum dan sesudah mengalami pengujian panas disajikan pada Tabel 5.

TABEL 5. Perubahan Luas Penampang Spesimen Sebelum dan Sesudah Pengujian Panas.

ID Spesimen	Ao (mm ²)	A (mm ²)	Reduksi (mm ²)	Rata-rata reduksi	
				(mm ²)	%
HT250X1	44,15625	34,71	9,44	9,69	22,55
HT250X2	44,15625	33,67	10,47		
HT250X3	44,15625	34,19	9,96		
HT250Y1	44,15625	34,19	9,96	10,13	22,94
HT250Y2	44,15625	34,19	9,96		
HT250Y3	44,15625	33,67	10,47		
HT250Z1	44,15625	36,83	7,32	9,25	20,95
HT250Z2	44,15625	34,19	9,96		
HT250Z3	44,15625	33,67	10,47		
HT300X1	44,15625	36,83	7,32	9,59	21,72
HT300X2	44,15625	34,19	9,96		
HT300X3	44,15625	32,65	11,49		
HT300Y1	44,15625	31,65	12,50	10,80	24,47
HT300Y2	44,15625	34,19	9,96		
HT300Y3	44,15625	34,19	9,96		
HT300Z1	44,15625	29,21	14,94	12,98	29,40
HT300Z2	44,15625	31,65	12,50		
HT300Z3	44,15625	32,65	11,49		
N1	44,15625	44,15	0	0	0
N2	44,15625	44,15	0		

4. Pengujian tarik tulangan baja

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik yang dapat dioperasikan secara otomatis dengan input digital. Data pengujian tarik yang diperoleh berupa printout pada beberapa rangkaian pembebanan. Sebelum dilakukan pengujian tarik, terlebih dahulu dilakukan marking atau memberikan tanda batasbatas zona tarik. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui nilai perpanjangan spesimen sebelum dan sesudah pengujian tarik. Dari hasil pengujian tarik, diperoleh akumulasi data dengan nilai rata-rata pada satu benda uji beton bertulang dan pada tiap tipe selimut beton.

5. Pengukuran luas penampang spesimen pada saat patah (*fracture stress*).

Pada saat patah, penampang benda uji tempat patahan mengalami pengecilan, sedang pada penghitungan tegangan patah digunakan luas penampang mula-mula, sehingga diperoleh tegangan patuh turun. Pada tegangan ini, nilai luas penampang yang dipakai adalah luas penampang saat itu (aktual), sehingga ketika terjadi *necking* (pengecilan penampang), nilai tegangan tariknya justru tetap naik. Untuk menentukan luas penampang pada saat *fracture stress* harus diukur secara manual ada zona patahan. Data selengkapnya mengenai *fracture area* disajikan dalam Tabel 6.

TABEL 6. Fracture Area pada Tiap Spesimen

ID Spesimen	Break point (Kg)	Fracture Area (mm ²)
HT250X1	1579,4	17,711
HT250X2	1554,9	15,544
HT250X3	1618,2	16,610
HT250Y1	1600,1	16,251
HT250Y2	1596,5	17,340
HT250Y3	1601,1	16,973
HT250Z1	1579,8	16,251
HT250Z2	1544,1	16,610
HT250Z3	1593,6	16,251
HT300X1	1647,9	13,035
HT300X2	1567,4	12,875
HT300X3	1603,5	13,195
HT300Y1	1545,0	13,195
HT300Y2	1582,4	13,035
HT300Y3	1581,0	13,195
HT300Z1	1546,8	13,195
HT300Z2	1585,8	13,035
HT300Z3	1594,4	13,195
Normal 1	2566,5	13,195
Normal 2	2490,8	13,519

Analisis dan Pembahasan

1. Nilai kuat tarik optimum.

Nilai kuat tarik optimum diperoleh dari nilai tertinggi dari rangkaian pembebanan tarik berturut-turut sehingga diketahui tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen uji tarik. Berdasarkan data hasil uji kuat tarik diperoleh rata-rata akumulasi penurunan nilai kuat tarik tiap spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 sebesar 794,69 kg atau 32,81% dan K300 sebesar 794,01 atau 32,78%. terhadap spesimen normal. Data selengkapnya perbandingan nilai kuat tarik optimum pada spesimen *heat treatment* dan spesimen normal disajikan pada Tabel 7 dan 8.

Berdasarkan Tabel 7 dan 8, memperlihatkan adanya selisih penurunan pada nilai kuat tarik optimum pada spesimen *heat treatment* terhadap spesimen normal. Penurunan nilai kuat tarik optimum disebabkan oleh perubahan sifat mekanis sebagai indikasi penurunan pada kekuatan spesimen dari spesimen normal menjadi spesimen dengan kekuatan yang lebih rendah. Dampak yang ditimbulkan proses perlakuan panas selama pengujian menyebabkan kekuatan spesimen menurun menjadi lebih rendah. Sifat mekanis baja dengan kekuatan rendah salah satunya ditandai dengan nilai kuat tarik yang lebih rendah (Morisco, 1992).

TABEL 7. Penurunan Nilai Kuat Tarik Optimum Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K250 terhadap Spesimen Normal.

ID Spesimen	Kuat tarik optimum (Kg)	Rata-rata kuat tarik optimum (Kg)	Selisih Penurunan		
			(kg)	%	(kg)
Normal1	2455,20	2421,97	0	0	0
Normal2	2388,75				
HT250X1	1629,15				
HT250X2	1585,50	1625,20	796,77	32,89	
HT250X3	1660,95				
HT250Y1	1648,65				
HT250Y2	1638,75	1643,50	778,47	32,14	794,69
HT250Y3	1643,10				
HT250Z1	1619,85				
HT250Z2	1587,90	1613,15	808,82	33,39	
HT250Z3	1631,70				
Penurunan kuat titik optimum rata-rata sebesar 32,81%					

TABEL 8. Penurunan Nilai Kuat Tarik Optimum Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K300 terhadap Spesimen Normal.

ID Spesimen	Kuat tarik optimum (Kg)	Rata-rata kuat tarik optimum (Kg)	Selisih Penurunan		
			(kg)	%	(kg)
Normal1	2455.20	2421.97	0	0	0
Normal2	2388.75				
HT300X1	1694,70				
HT300X2	1598,70	1649,6	772,37	31,89	0
HT300X3	1655,40				
HT300Y1	1587,75				
HT300Y2	1627,65	1612,9	809,07	33,40	749,05
HT300Y3	1623,30				
HT300Z1	1597,05				
HT300Z2	1628,30	1621,3	800,67	33,06	
HT300Z3	1637,55				
Penurunan kuat titik optimum rata-rata sebesar 32,78%					

2. Batas proporsional dan modulus elastis

Modulus elastis dihitung berdasarkan data tegangan dan regangan pada batas proporsional. Batas proporsional berada pada koordinat garis singgung linier, sedangkan modulus elastis adalah perbandingan tegangan dan regangan pada deformasi elastis atau batas proporsional sama dengan konstan. Berdasarkan data koordinat pada batas proporsional, diperoleh rata-rata akumulasi nilai tegangan proporsional spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 sebesar 259,247 MPa, K300 sebesar 263,760 MPa dan spesimen normal sebesar 324,09 MPa, atau telah terjadi penurunan nilai tegangan proporsional spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 sebesar 19,92% dan K300 sebesar 18,61%. Ratarata akumulasi nilai modulus elastis spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 sebesar 128788,805 MPa, K300 sebesar 131154,54

MPa dan spesimen normal sebesar 161296,36 MPa. Artinya telah terjadi penurunan nilai modulus elastis spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 sebesar 20,15% dan K300 sebesar 18,68%. Data selengkapnya perbandingan nilai modulus elastis pada spesimen *heat treatment* terhadap spesimen normal disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10 memperlihatkan adanya selisih penurunan batas proporsional dan modulus elastis pada spesimen *heat treatment* terhadap spesimen normal. Penurunan batas proporsional tersebut merupakan indikasi penurunan pada kekuatan spesimen dari spesimen normal menjadi spesimen dengan kekuatan yang lebih rendah sebagai akibat dari rangkaian proses perlakuan panas selama pengujian. Sifat mekanis baja dengan kekuatan rendah salah satunya ditandai dengan penurunan nilai pada batas proporsional (Morisco, 1992).

TABEL 9. Perbandingan Nilai Modulus Elastis Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K250 terhadap Spesimen Normal.

ID	Batas Proporsional			Modulus Elastisitas (Kg/cm ²)	Rata-rata Modulus Elastis (Kg/cm ²)	Akumulasi (Kg/cm ²)
	Stress (Kg/cm ²)	Strain %	cm			
Normal 1	3059,7	1,99	0.002	1538937,43	1612963,61	1612963,61
Normal 2	3422,16	2,03	0.002	1612963,61		
	3240,93	2,01	0.002			
HT250X1	2771,45	2,01	0.002	1378865,15	1368528,73	
HT250X2	2736,02	2,00	0.002	1364625,73		
HT250X3	2755,26	2.02	0.002	1362095,30		
HT250Y1	2603,92	2,01	0.002	1129745,14	1217519,12	1287888,051
HT250Y2	2653,05	2,01	0.002	1317330,04		
HT250Y3	2480,81	2,06	0.002	1205482,18		
HT250Z1	2236,10	1,99	0.002	1123307,08	1221714,24	
HT250Z2	2529,34	1,98	0.002	1279531,76		
HT250Z3	2591,27	2,05	0.002	1262303,87		
	2595.247					
Penurunan tegangan proporsional rata-rata sebesar					19,92%	
Penurunan modulus elastis rata-rata sebesar					20,15%	

TABEL 10. Perbandingan Nilai modulus elastis Spesimen Heat Treatment dengan Selimut Beton Tipe K300 terhadap Spesimen Normal.

ID	Batas Proporsional			Modulus Elastisitas (Kg/cm ²)	Rata-rata Modulus Elastis (Kg/cm ²)	Akumulasi (Kg/cm ²)
	Stress	Strain				
	(Kg/cm ²)	%	cm			
Normal 1	3059,70	1,99	0,002	1538937,43	1612963,61	1612963,61
Normal 2	3422,16	2,03	0,002	1686989,79		
	3240,93	2,01	0,002			
HT250X1	2360,31	2,02	0,002	1168007,72	1231535,35	
HT250X2	2449,51	2,02	0,002	1215052,80		
HT250X3	2664,89	2,03	0,002	1311545,52		
HT250Y1	2873,17	2,02	0,002	1425423,93	1318583,61	1311545,42
HT250Y2	2568,82	2,01	0,002	1278687,87		
HT250Y3	2531,54	2,02	0,002	1251639,00		
HT250Z1	2795,63	2,03	0,002	1374516,94	1384517,32	
HT250Z2	2788,82	1,97	0,002	1418113,77		
HT250Z3	2705,77	1,99	0,002	1360921,24		
	2637,607					
Penurunan tegangan proporsional rata-rata sebesar					18,61%	
Penurunan modulus elastis rata-rata sebesar					18,68%	

3. Nilai tegangan tarik optimum

Tegangan optimum terjadi pada saat spesimen uji tarik mengalami pembebanan optimum. Berdasarkan data tegangan tarik optimum diperoleh rata-rata akumulasi penurunan nilai tegangan tarik optimum spesimen heat treatment dengan selimut beton K250 sebesar 94,88 MPa atau 16.68 % dan K300 sebesar 74,21 MPa atau 13.05 %. Data selengkapnya perbandingan nilai tegangan optimum pada spesimen heat treatment dan spesimen normal disajikan pada Tabel 11 dan 12.

Berdasarkan Tabel 11 dan 12 memperlihatkan adanya selisih penurunan pada nilai tegangan tarik optimum pada spesimen *heat treatment* terhadap spesimen normal. Penurunan tegangan tarik optimum

disebabkan oleh penurunan sifat mekanik sebagai akibat dari adanya rangkaian proses perlakuan panas pada saat pengujian. Dampak *heat treatment* selama pengujian panas menyebabkan spesimen menjadi baja menjadi lebih lunak sehingga kekuatannya menurun. Baja dengan kekuatan rendah memiliki karakteristik hubungan tegangan-regangan yang terdiri dari batas proporsional, tegangan leleh, tegangan optimum yang lebih rendah (Morisco, 1992).

4. Nilai tegangan patah (*fracture stress*)

Data selengkapnya perbandingan nilai tegangan patah pada spesimen *heat treatment* dan spesimen normal disajikan pada Tabel 13 dan 14.

TABEL 11. Penurunan Nilai Tegangan Optimum Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K250 terhadap Spesimen Normal

ID	Tegangan optimum MPa	Rata-rata tegangan optimum MPa	Selisih penurunan		
			MPa	%	MPa
Normal 1	556,02	568,62	0	0	94,88
Normal 2	581,23				
HT250X1	469,29	475,26	93,35	16,41	
HT250X2	470,77				
HT250X3	485,73				
HT250Y1	482,13	483,08	85,54	15,04	
HT250Y2	479,24				
HT250Y3	487,87				
HT250Z1	439,76	462,87	15,75	18,59	
HT250Z2	464,37				
HT250Z3	484,49				
Penurunan tegangan optimum rata-rata sebesar 16,68%					

TABEL 12. Penurunan Nilai Tegangan Optimum Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K300 terhadap Spesimen Normal.

ID	Tegangan Optimum MPa	Rata-rata tegangan optimum MPa	Selisih penurunan		
			MPa	%	MPa
Normal 1	556,02	568,62	0	0	74,21
Normal 2	581,23				
HT250X1	460,09	478,17	90,45	15,90	
HT250X2	467,53				
HT250X3	506,89				
HT250Y1	501,60	484,10	84,51	14,86	
HT250Y2	475,99				
HT250Y3	474,72				
HT250Z1	546,75	520,97	47,65	8,38	
HT250Z2	514,73				
HT250Z3	501,42				
Penurunan tegangan optimum rata-rata sebesar 13,05%					

TABEL 13. Penurunan Nilai Tegangan Patah (*Fracture Stress*) Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K250 terhadap Spesimen Normal

ID	Tegangan Optimum MPa	Rata-rata tegangan optimum MPa	Selisih penurunan		
			MPa	%	MPa
Normal1	540,97	552,52	0	0	0
Normal2	564,07				
HT250X1	454,95	463,29	89,23	16,15	91,01
HT250X2	461,69				
HT250X3	473,23				
HT250Y1	467,92	470,06	82,45	14,92	
HT250Y2	466,87				
HT250Y3	475,40				
HT250Z1	428,89	451,21	101,31	18,33	
HT250Z2	451,56				
HT250Z3	473,18				

Penurunan tegangan optimum rata-rata sebesar 16,47%

TABEL 14. Penurunan Nilai Tegangan Patah (Fracture Stress) Spesimen Heat Treatment dengan Selimut Beton Tipe K300 terhadap Spesimen Normal.

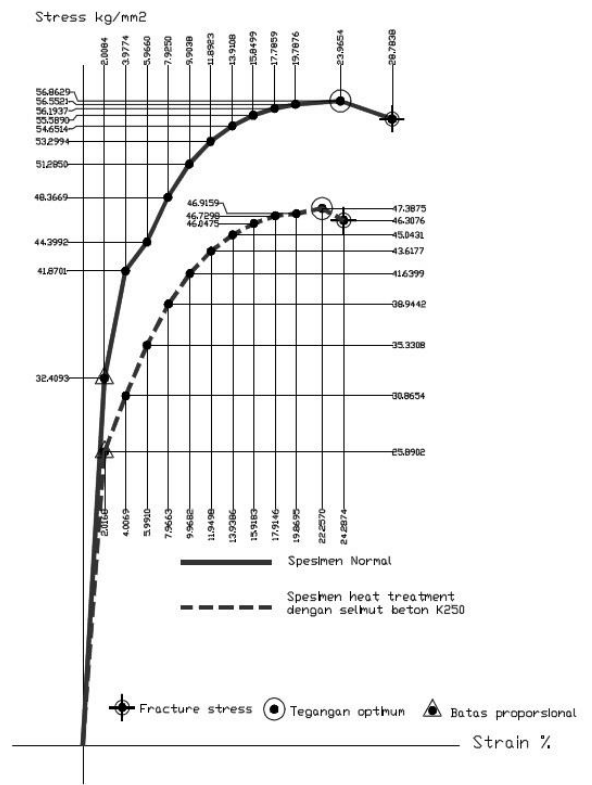
ID	Tegangan Optimum	Rata-rata tegangan optimum	Selisih penurunan		
	MPa		MPa	MPa	%
Normal1	540,97	552,52	0	0	0
Normal2	564,07				
HT250X1	447,38	465,58	86,94	15,73	
HT250X2	458,36				
HT250X3	490,99				
HT250Y1	473,18	459,64	92,88	16,81	87,27
HT250Y2	447,38				
HT250Y3	458,36				
HT250Z1	490,99	470,52	82,01	14,84	
HT250Z2	473,18				
HT250Z3	447,38				

Penurunan tegangan optimum rata-rata sebesar 15,79%

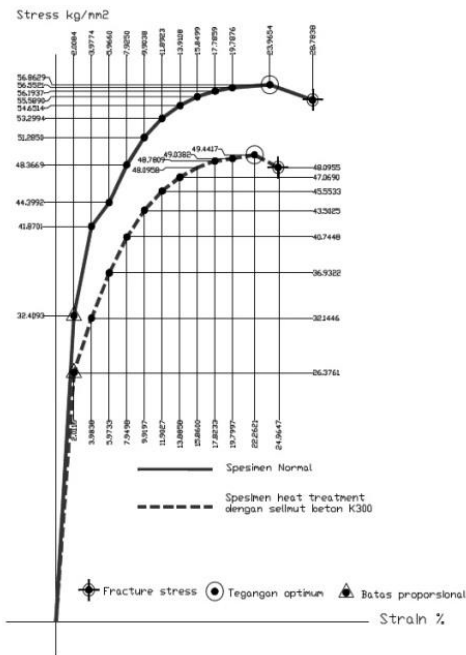
Tegangan patah (*fracture stress*) terjadi pada saat spesimen uji Tarik mengalami patah. Berdasarkan data tegangan patah tersebut diperoleh rata-rata dari akumulasi penurunan nilai tegangan patah spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 sebesar 91,01 MPa atau 16,47% dan K300 sebesar 87,27 MPa atau 15,79%. Berdasarkan Tabel 13 dan 14 memperlihatkan adanya selisih penurunan pada nilai tegangan patah pada spesimen *heat treatment* terhadap spesimen normal. Penurunan tegangan patah disebabkan oleh penurunan sifat mekanik sebagai akibat dari adanya rangkaian proses perlakuan panas pada saat pengujian. Dampak *heat treatment* selama pengujian panas menyebabkan spesimen menjadi baja menjadi lebih lunak sehingga kekuatannya menurun. Baja dengan kekuatan rendah memiliki karakteristik hubungan tegangan-regangan lebih rendah (Morisco, 1992).

5. Nilai hubungan tegangan-regangan

Model grafik hubungan tegangan-regangan spesimen normal dan spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 dan K300 ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



GAMBAR 2. Hubungan Tegangan-Regangan pada Spesimen Heat Treatment dengan Selimut Beton Tipe K250 dan Spesimen Normal.



GAMBAR 3. Hubungan Tegangan-Regangan pada Spesimen *Heat Treatment* dengan Selimut Beton Tipe K300 dan Spesimen Normal.

Dari Gambar 2 dan 3 tampak bahwa hubungan tegangan-regangan yang dibentuk oleh spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 dan K300 terlihat adanya perilaku yang relatif sama dengan spesimen normal, namun mengalami penurunan pada nilai tegangan dan modulus elastis. Pada grafik deformasi plastis, pola grafik yang terbentuk tidak memiliki batas lumer (*yield point*) yang jelas pada tegangan leleh (*yield stress*). Hal ini dikarenakan kekuatan spesimen baja menurun menjadi lebih rendah dari sebelumnya. Pada umumnya baja dengan kekuatan yang rendah tidak memiliki batas lumer yang tidak jelas (Novyanto, 2008). Penurunan nilai yang terjadi pada grafik hubungan tegangan-regangan spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K250 lebih besar daripada spesimen *heat treatment* dengan selimut beton K300. Penurunan nilai hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada spesimen dengan selimut beton K300 lebih kecil. Hal ini dikarenakan mutu beton K300 yang dipakai sebagai selimut tulangan baja memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi dalam volume dan daya hantar panas (*thermal conductivity*) yang lebih rendah dari pada beton K250, sehingga pengaruh temperatur terhadap tulangan juga lebih kecil. Mutu beton adalah indikator kuat tekan dan tingkat kepadatan dalam volume, sehingga semakin tinggi mutu beton, semakin tinggi tingkat kepadatannya dan semakin

rendah kemampuan menghantar panas. Mekanisme perlakuan panas dengan pendinginan lambat (*slow cooling*) memberikan dampak penurunan sifat mekanis pada tiap spesimen uji tarik yang terdiri dari batas proporsional, tegangan optimum, maupun tegangan pada saat benda uji patah.

6. Perbedaan nilai modulus elastis pada spesimen uji tarik.

Data hasil uji tarik spesimen yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai nilai modulus elastis yang lebih rendah (khususnya spesimen normal) dibandingkan dengan nilai modulus elastis spesimen yang digunakan dalam perencanaan. Spesimen yang digunakan dalam perencanaan mempunyai nilai modulus elastis umumnya $2,1 \times 10^6$ kg/cm² dan spesimen penelitian memiliki nilai modulus elastis sebesar 1612963,61 kg/cm². Perbedaan nilai modulus elastis tersebut disebabkan oleh pemakaian spesimen dalam penelitian menggunakan material dengan mutu/kualitas lebih rendah dan tidak memiliki spesifikasi khusus, lisensi, sertifikasi atau data-data teknis dari produsen.

KESIMPULAN

1. Hasil uji tarik menunjukkan nilai tegangan proporsional spesimen normal sebesar 324,12 MPa dan spesimen perlakuan panas (*heat treatment*) dengan selimut beton K250 sebesar 259,52 MPa atau penurunan sebesar 19,92% dan K300 sebesar 263,76 kg/cm² atau penurunan sebesar 18,61%.
2. Nilai tegangan tarik optimum spesimen normal sebesar 568,62 MPa dan spesimen perlakuan panas (*heat treatment*) dengan selimut beton K250 sebesar 473,74 MPa atau penurunan sebesar 16,68% dan K300 sebesar 494,41 MPa atau penurunan sebesar 13,05%.
3. Nilai tegangan tarik patah (*fracture stress*) spesimen normal sebesar 552,52 MPa dan spesimen perlakuan panas (*heat treatment*) dengan selimut beton K250 sebesar 461,52 MPa atau penurunan sebesar 16,47% dan K300 sebesar 465,24 MPa atau penurunan sebesar 15,79%.
4. Nilai modulus elastis untuk spesimen normal sebesar 1612963,61 kg/cm², spesimen perlakuan panas dengan selimut beton K250 sebesar 1287888,05 kg/cm² atau penurunan sebesar 20,15 % dan K300

sebesar 1311545,42 kg/cm² atau penurunan sebesar 18.68 %.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E119 (2002). “*Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*,” ASTM International, West Conshohocken, PA, United States.
- Lawson. J.R, Phan. L.T, Davis. F. (2000). *Mechanical Properties Performance Concrete After Exposure Elevated Temperature*, NIST journal No. 6475 United States Department Of Commerce Administration Technology.
- Morisco (1992). *Diktat Kuliah Pengetahuan Dasar Struktur Baja*, Yogyakarta: Padosbajayo.
- Novyanto, O. (2008). *Mengenal Pengujian Tarik*, okasatrianovyanto@blogspot.com
- Rantesalu, S. (2002). *Pengaruh Temperatur Tinggi Pasca Kebakaran terhadap Kualitas Beton Mutu Tinggi dengan Pasir Besi Sebagai Cementitious*. ITS Digital Library.

PENULIS:

Riswanto

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55183.

As'at Pujiyanto, M. Heri Zulfiar

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55183.