

KEKUATAN LEKAT BETON DAN BAJA TULANGAN AKIBAT PEMANASAN

Ellen Kumaat

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Perpaduan antara material beton dan baja tulangan akan membentuk material komposit yang ekonomis serta efisien lewat hasil kerjasama yang tercipta melalui kekuatan lekat pada interface kedua material tersebut. Pemanasan dengan temperatur yang bervariasi akan menyebabkan terjadinya perubahan perilaku material komposit tersebut, khususnya menyangkut kinerja kekuatan lekatnya akibat perubahan mikrostruktur pada material beton dan material baja tulangan.

Dari hasil uji tekan uniaksial diperoleh nilai kuat tekan beton umur tujuh hari yang bila dipanaskan dengan temperatur 200°C, 500°C dan 800°C akan mengalami penurunan yang bervariasi antara enam hingga 100%, sedangkan penurunan kuat tekan beton pada umur 28 hari berkisar antara sepuluh hingga 90%. Pada tingkat pemanasan dengan temperatur 200°C, penurunan kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton umur 28 hari adalah sekitar 30%, serta untuk pemanasan dengan temperatur yang lebih besar atau sama dengan 500°C akan terjadi penurunan sebesar 40% hingga 77%. Penurunan kuat tekan beton dan penurunan kekuatan lekat beton dengan baja tulangan akibat pemanasan dipresentasikan oleh kurva tidak linier serta menunjukkan adanya korelasi positif antara kedua karakteristik tersebut.

Kata kunci : kekuatan lekat, baja tulangan, beton, pemanasan, temperatur

ABSTRACT

The combination of concrete and steel form economical and efficient composite material by means of the created cooperation through bond stress on the interface of both materials. Heating at varying temperature would result in behaviour change of the composite material, particularly regarding its bond stress performance due to the microstructure change of the concrete and steel.

The uniaxial compression test indicated that the value of concrete compression strength on seven days if heated at 200° C , 500° C, and 800° C temperature would decrease, varying from six to 100%, whereas the decrease of concrete compression strength on 28 days varying from ten to 90%. At 200° C heating, the decrease of bond stress between steel and concrete on 28 days was approximately 30%. Heating at a higher temperature or at 500° C would lead to 40% to 77% decrease. The decrease of concrete compression and that of bond stress due to heating was presented by a non-linear curve showing that there was a positive correlation between the two characteristics.

Keywords : bond stress, steel, concrete, heating, temperature.

PENDAHULUAN

Beton adalah material buatan yang sejak lama digunakan dalam bidang rekayasa sipil baik sebagai material struktural maupun non-struktural untuk memenuhi kebutuhan dan menunjang aktifitas manusia. Sebagai material struktural, material beton lemah terhadap tarik

sehingga pada umumnya bagian-bagian struktur beton tersebut diperkuat dengan material baja tulangan membentuk satu kesatuan sebagai material komposit.

Perpaduan antara material baja tulangan dan beton ini akan memberikan nilai-nilai ekonomis dan efisiensi yang diperoleh dari hasil kerja sama antara baja tulangan dan beton[1] sebagaimana telah dilakukan sejak awal dari pemanfaatan baja sebagai tulangan pada material beton dalam upaya mengimbangi

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 November 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 6 Nomor 1 Maret 2004.

kelemahan beton terhadap tarik. Untuk menjamin terciptanya kerjasama yang baik antara ke dua material tersebut sebagai material komposit terutama bertumpu pada kekuatan lekat antara material baja tulangan dan beton. Intervensi dari berbagai faktor eksternal terhadap material komposit ini akan mempengaruhi bahkan dapat merubah perilaku baik ditinjau sebagai material komposit maupun sebagai material beton ataupun material baja itu sendiri.

Seiring dengan tujuan yang ingin dicapai, penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran tentang perubahan tingkat degradasi kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton bila diberi pemanasan dengan temperatur dan selama interval waktu tertentu. Dampak pemanasan terhadap kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton sangat tergantung pada perubahan mikrostruktur beton maupun material baja tulangan yang diakibatkan oleh reaksi fisik ataupun reaksi kimia serta pada akhirnya akan mempengaruhi kekuatan konstruksi secara keseluruhan.

LANDASAN TEORI

Material Beton

Pada temperatur tinggi, beton akan mengalami perubahan mikrostruktur yang disebabkan oleh reaksi fisik maupun reaksi kimia dan bervariasi sesuai dengan tingkat pemanasannya. Untuk pemanasan dengan temperatur di atas 100°C akan terjadi percepatan penguapan air bebas dalam pori-pori kapiler beton yang berukuran besar dan kemudian disusul dengan air dalam pori-pori beton yang lebih kecil. Terhalangnya migrasi air yang akan ke luar menimbulkan terjadinya gesekan dengan dinding pori-pori beton yang dapat menyebabkan retak-retak mikro. Selanjutnya, pada pemanasan dengan temperatur antara 420°C–500°C akan terjadi reaksi dekomposisi dari CH yang menyebabkan penyusutan pasta semen. Retak-retak mikro pada bidang batas antara agregat dan matriks akan bertambah serta lebih menyebar pada tingkat pemanasan dengan temperatur sekitar 575°C yang sekaligus menyebabkan terjadinya perbedaan pemuaihan yang sangat besar antara agregat dan pasta semen akibat transformasi silikat [2,3]. Penyusutan pasta semen yang disusul dengan retak-retak mikro dalam beton pada pemanasan yang tinggi akan dapat meningkatkan porositas beton sehingga kekuatan beton menjadi berkurang. Kondisi ini sejalan

dengan hasil studi pengaruh pemanasan terhadap kuat tekan beton [4] yang menunjukkan bahwa, penurunan kekuatan tekan beton berkisar antara 0,7% - 80,0% tergantung dari tingkat dan lama pemanasan.

Material Baja Tulangan

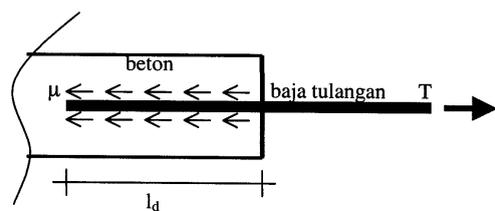
Baja tulangan dengan kadar karbon < 2% dan titik lebur sekitar 1500°C[1,5] akan mengalami proses penurunan kadar karbon bila diberi perlakuan panas[6]. Penurunan kadar karbon akan menurunkan kekuatan material baja tulangan tetapi sebaliknya akan memberikan pertambahan pada nilai regangan. Dari hasil pengujian pada baja tulangan BJTP-24 dengan diameter 16 mm, besar penurunan kekuatan tarik bervariasi dari 3% - 29% dan pertambahan regangan sebesar 5% -73% berturut-turut untuk pemanasan dari 100°C hingga 1100°C. Pada pemanasan dengan temperatur $\geq 700^\circ\text{C}$ selama enam jam membuktikan terjadinya perubahan karakteristik mekanik baja tulangan sehingga material baja tulangan tersebut tidak memenuhi standard mutu kekuatan minimal yang disyaratkan [7]. Kriteria ini menunjukkan bahwa, penurunan kadar karbon pada permukaan baja tulangan akan menyebabkan terjadinya perubahan komposisi dan mikrostruktur yang sekaligus mempengaruhi perilaku material baja tulangan secara keseluruhan.

Tegangan Lekat

Pada material beton bertulang, material baja tulangan seakan menyatu dengan material beton lewat daya lekat pada media permukaan baja tulangan sebagaimana diberikan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat dirumuskan persamaan daya lekat antara baja tulangan dan beton yakni : $T = \mu \Sigma_0$ [8,9,10] (1) di mana, T adalah gaya tarik pada baja tulangan, μ adalah tegangan lekat dan Σ_0 adalah luas permukaan nominal dari baja tulangan. Bila $T = A_s f_s$, $A_s = \pi d_s^2/4$ dan $\Sigma_0 = \pi l_d d_s$, maka tegangan lekat antara baja dan beton adalah :

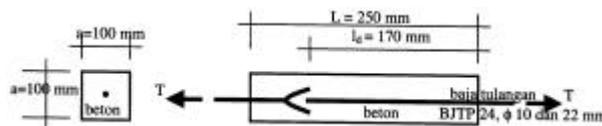
$$\mu = d_s f_s / 4 l_d \quad (2)$$

di mana, d_s adalah diameter nominal dari baja tulangan, f_s adalah tegangan baja tulangan, l_d adalah panjang pengankeran minimal yang diizinkan dan A_s adalah luas penampang baja.



Gambar 1. Pengangkaran baja tulangan[8,9,10]

pengujian kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton dilakukan dengan cara "Pull out test" (gambar 2) pada "Universal Testing Machine".



Gambar 2. Model benda uji untuk pengujian kuat lekat

PROGRAM EXPERIMENTAL

Material dan Komposisi Campuran Beton

Material-material yang digunakan dalam studi ini adalah semen portland tipe I, pasir alam 0/5 asal Amurang, agregat kasar 5/20 asal desa Tateli, air dan baja tulangan polos BJTP 24 dengan diameter 10 mm dan 22 mm.

Komposisi campuran beton yang digunakan diberikan pada Tabel 1. Densitas rata-rata material beton adalah 2.21 dengan nilai "slump test" sekitar 70 ± 10 mm.

Tabel 1. Komposisi campuran beton per m³

No.	Uraian Bahan	Jumlah (kg)
1	Semen	337
2	Pasir	674
3	Kerikil	1011
Faktor air semen = 0,55		

Benda Uji, Perawatan dan Metoda Pengujian

Untuk keperluan uji tekan uniaksial telah diproduksi benda-benda uji beton berbentuk kubus 100 mm dengan jumlah total sebanyak 60 buah. Benda-benda uji beton dengan atau tanpa pemanasan tersebut diuji pada umur-umur 7 hari dan 28 hari.

Tipe benda uji yang digunakan untuk penelitian kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton digunakan benda-benda uji berbentuk balok dengan dimensi 100 x 100 x 250 mm (gambar 2) sebanyak 30 buah serta diuji pada umur 28 hari baik yang dengan maupun tanpa pemanasan.

Semua benda uji dikeluarkan dari cetaknya setelah berumur satu hari serta dirawat dengan kondisi yang sama dalam udara terbuka sesuai kelembaban dan temperatur ruangan. Demikian pula halnya dengan perawatan benda-benda uji yang telah dipanasi sesuai temperatur dan lama pemanasan yang dikehendaki diinginkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian. Uji kuat tekan digunakan "Compression Testing Machine" sedangkan untuk

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Experimental

Sehubungan dengan pembuatan material beton, telah dilakukan pengujian karakteristik dasar dari bahan-bahan pembentuk material beton, khususnya kadar air, kadar lumpur, berat jenis, absorpsi, abrasi dan tahanan leleh baja tulangan yang kesemuanya ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik material yang digunakan

Material	Kadar Air (%)	Kadar Lumpur (%)	Berat Jenis	Absorpsi (%)	Abrasi (%)
Semen Type I			3.15		
Agregat Halus, Amurang	1.79	0.31	2.40	5.19	
Agregat Kasar, Tateli	0.14		2.46	1.05	27.69
Baja Tulangan Polos U-24	Tegangan leleh, $f_y = 300$ MPa				

Kuat tekan beton

Besaran nilai kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari yang diperoleh dari hasil pengujian tekan uniaksial terhadap benda-benda uji berbentuk kubus 100 mm ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Kekuatan tekan beton

Suhu (°C)	Lama Pemanasan (Jam)	Berat Rata-rata Benda Uji (Gram)				Beban Runtuh Rata-rata (kN)		Tegangan Tekan Beton Rata-rata (MPa)	
		Sebelum Pemanasan		Setelah Pemanasan		7 hari	28 hari	7 hari	28 hari
		7 hari	28 hari	7 hari	28 hari				
Ruangan	0	2194.78	2217.76			111.00	245.43	11.10	24.54
	1	2210.57	2226.07	2188.17	2208.60	104.00	222.00	10.40	22.20
	3	2258.35	2236.70	2172.37	2176.48	99.00	212.67	9.90	21.27
200	5	2221.33	2259.43	2124.95	2174.73	93.33	207.00	9.33	20.70
	1	2154.18	2205.13	2074.07	2141.07	58.67	169.33	5.87	16.93
	3	2116.48	2248.23	2004.07	2158.82	53.33	166.00	5.33	16.60
500	5	2206.27	2225.67	2105.30	2130.25	38.67	122.67	3.87	12.27
	1	2214.93	2172.13	2032.85	2105.27	23.00	77.33	2.30	7.73
	3	2227.72	2203.49	2096.85	2102.57	2.33	52.00	0.23	5.20
800	5	2158.60	2188.10	2039.27	2085.13	0.00	30.33	0.00	3.03

Kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton

Kekuatan lekat antara baja tulangan dan material beton yang diperoleh dari hasil uji tarik

langsung terhadap benda-benda uji dengan dimensi 100 x 100 x 250 mm diberikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kuat lekat antara baja tulangan dan material beton

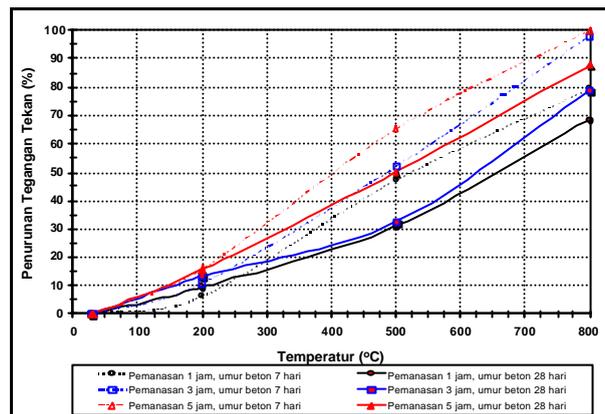
Suhu (°C)	Lama Pemanasan (Jam)	Berat Rata-rata Benda Uji (Gram)		Beban Slip Rata-rata (daN)	Tegangan Lekat Rata-rata (MPa)
		Sebelum Pemanasan	Sesudah Pemanasan		
Ruangan	0	5761.33		990.68	2.03
200	1	5660.67	5545.00	840.28	1.72
	3	5662.00	5468.67	676.80	1.39
	5	5637.33	5398.33	666.99	1.37
500	1	5572.33	5354.33	593.43	1.21
	3	5534.67	5380.67	529.67	1.08
	5	5532.00	5240.67	369.46	0.76
800	1	5573.33	5278.00	326.96	0.67
	3	5529.00	5204.33	245.22	0.50
	5	5887.33	5574.33	228.87	0.47

Pembahasan

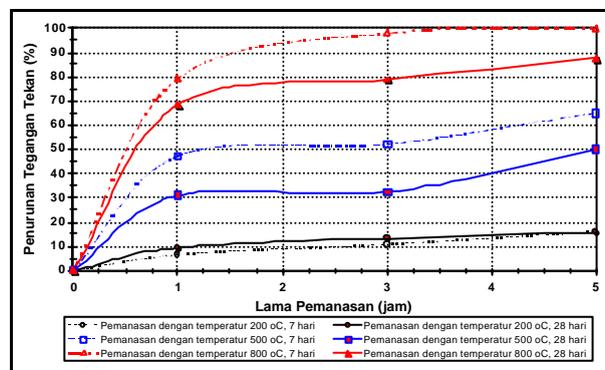
Kuat tekan beton

Pengaruh pemanasan selama 1 jam, 3 jam dan 5 jam pada benda-benda uji beton umur 7 hari dan 28 hari dengan temperatur 200°C, 500°C dan 800°C akan menurunkan kuat tekan beton berturut-turut sekitar antara 6-16%, 30%-65% dan lebih besar dari 65% dibandingkan terhadap kuat tekan beton tanpa pemanasan untuk masing-masing umur benda uji sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 3. Hasil ini dapat dikatakan sesuai dengan yang ditemukan oleh Qusyairi [4] yakni, untuk pemanasan dengan temperatur 350°C dan 800°C akan terjadi penurunan kuat tekan sebesar 17% hingga 78%. Namun demikian pada pemanasan dengan temperatur ≤ 200°C dari gambar 3 terlihat bahwa, besaran nilai persentase penurunan kuat tekan beton berumur muda secara umum relatif lebih kecil dibandingkan terhadap persentase penurunan kuat tekan beton umur 28 hari dan perbedaannya cenderung mengecil seiring dengan bertambahnya waktu lama pemanasan. Gambar 4 dengan jelas memperlihatkan relatif kecilnya pengaruh umur terhadap penurunan kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari yang mengalami pemanasan dengan temperatur 200°C yakni, sekitar 0.3%-3.3%. Untuk itu dapat dikatakan bahwa, umur beton relatif tidak mempengaruhi penurunan kekuatan beton pada tingkat pemanasan ≤ 200°C. Berbeda halnya bila material beton tersebut dipanaskan dengan temperatur ≥ 300°C yang memperlihatkan persentase penurunan kuat tekan beton umur muda akan menjadi lebih besar dari persentase penurunan kuat tekan beton umur 28 hari

dengan titik baliknya bervariasi dalam interval antara 200°C hingga 300°C tergantung pada lamanya waktu pemanasan (Gambar 3). Perbedaan persentase penurunan kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari akibat pemanasan dengan temperatur 500°C dan 800°C bervariasi antara 10% hingga 20% bahkan pada pemanasan sekitar 5 jam dengan temperatur 800°C pada beton umur 7 hari akan menjadikan material beton tersebut kehilangan seluruh kuat tekannya sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Hubungan penurunan kuat tekan beton dan derajat pemanasan

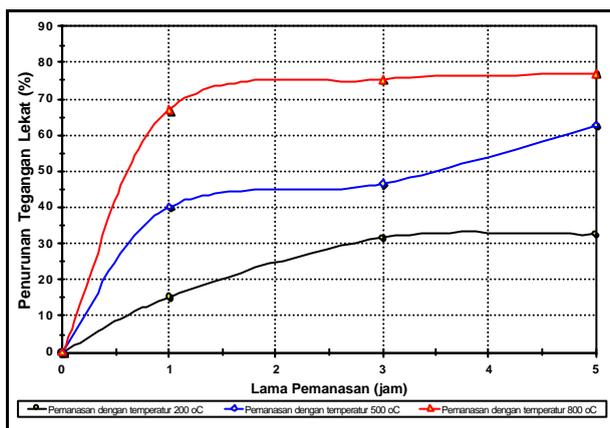


Gambar 4. Hubungan penurunan kuat tekan beton dan lama pemanasan

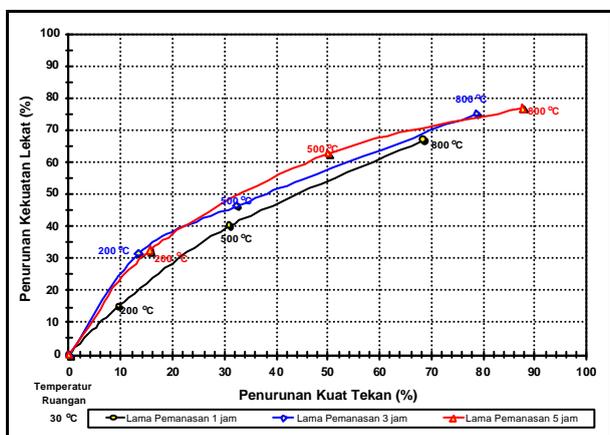
Kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton

Kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton umur 28 hari akan menurun berturut-turut sekitar 15%-32%, 40%-63% dan 67%-77% akibat pemanasan pada temperatur 200°C, 500°C dan 800°C dengan lama pemanasan 1, 3 dan 5 jam sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 5. Penurunan kekuatan lekat ini antara lain disebabkan karena melemahnya kekuatan material beton itu sendiri serta terjadinya proses dekarburisasi pada material baja

tulangan [7]. Gambar 5 dan 6 menunjukkan bahwa, besaran nilai kehilangan kekuatan lekat dengan lama pemanasan tiga dan lima jam pada temperatur 200°C ternyata relatif sama, yakni berkisar pada besaran nilai 32% dan pada pemanasan dengan temperatur 800°C sekitar 77%. Penurunan kuat tekan beton dan penurunan kekuatan lekat beton dengan baja tulangan yang dipresentasikan oleh gambar 6 memperlihatkan suatu hubungan yang tidak linier sekaligus membuktikan adanya korelasi positif antara kedua karakteristik tersebut.



Gambar 5. Hubungan penurunan kekuatan lekat antara beton dan baja tulangan dengan lama pemanasan.



Gambar 6. Hubungan penurunan kekuatan lekat antara beton dan baja tulangan dengan penurunan kuat tekan beton.

Namun demikian secara umum terlihat bahwa terdapat indikasi penurunan kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton yang cukup signifikan pada interval penurunan kuat tekan $\leq 15\%$ sedangkan, untuk penurunan kuat tekan yang lebih besar dari 15% kelihatannya akan sebanding dengan penurunan kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton sekaligus

membuktikan adanya korelasi yang erat antara kedua karakteristik tersebut (Gambar 3 dan 6).

KESIMPULAN

Berdasarkan pada bahasan di atas dapat disimpulkan bahwa, beton berumur muda sangat peka terhadap pemanasan yang diindikasikan dengan hilangnya kuat tekan beton umur tujuh hari berkisar antara enam hingga 100% bila dipanaskan berturut-turut selama satu, tiga dan lima jam pada temperatur 200°C, 500°C dan 800°C. Penurunan kuat tekan beton umur 28 hari ($f_{c28} = 24 \text{ MPa.}$) pada pemanasan dengan temperatur 200°C adalah sekitar 10% untuk pemanasan selama satu jam dan berkisar 16% pada pemanasan tiga hingga lima jam. Untuk temperatur di atas 500°C, penurunan kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara 30% hingga 90% tergantung dari temperatur dan lama pemanasan. Namun demikian dapat dikatakan bahwa, umur beton relatif tidak mempengaruhi penurunan kuat tekan beton pada pemanasan dengan temperatur $\leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pada pemanasan dengan temperatur 200°C akan menurunkan kekuatan lekat maksimal antara baja tulangan dan beton umur beton 28 hari sekitar 30% dan untuk pemanasan dengan temperatur yang lebih besar atau sama dengan 500°C akan terjadi penurunan sebesar 40% hingga 77% tergantung dari lama pemanasan. Persentase penurunan kekuatan lekat ini akan meningkat secara signifikan yakni, hingga sekitar 30% dalam selang penurunan kuat tekan beton umur 28 hari dari 0% hingga sekitar 15% dan akan sebanding pada penurunan kuat tekan yang lebih besar dari 15%. Di samping itu terlihat bahwa, penurunan kuat tekan beton dan kekuatan lekat beton dengan baja tulangan memperlihatkan suatu hubungan yang tidak linier serta adanya korelasi positif antara kedua karakteristik tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sagel, R., Kole, P., dan Kusuma, G., *Pedoman Pengerjaan Beton berdasarkan SKSNI T-15-1991-03*, Erlangga, 1994.
2. Partowiyatmo, A., Efek Kebakaran pada Konstruksi Beton Bertulang, *Majalah Konstruksi*, 1996.

3. Troxell, Davis, and Kelly, *Composition and Properties of Concrete*.
4. Qusyairi, M., *Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Beton*, Skripsi, Fakultas Teknik Unsrat, Manado, 1997.
5. Surdia, T., and Saito, S., *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, edisi ke-4, 1999.
6. Alexander, W.O., Davis, H., Reynolds, K.A., and Whittaker, V.N., *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, 1990.
7. Anggreni, D.A.A., *Kuat Tarik pada Baja Tulangan akibat Perubahan Temperatur*, Skripsi, Fakultas Teknik Unsrat, 1998.
8. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Inc, 1975.
9. Ferguson, P.M., *Reinforced Concrete Fundamentals*, John Wiley and Sons, 1981.
10. Wang, C.K and Salmon, C.G., *Reinforced Concrete Design*, Harper and Row, edisi ke-3, 1979.