

PENGARUH VARIASI KETEBALAN SELIMUT BETON TERHADAP LENTUR BALOK BETON BERTULANG PASCA BAKAR

Anjany Ayu Fitriana¹, Ari Nur Hidayati¹, Sugiharto^{1,*}, Sukoyo¹

¹Program Studi Teknik Perawatan dan Perbaikan Gedung
Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jalan Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang, 50275 Telp. (024) 7473417

*¹Email : jwahana_tspolines@yahoo.com

Abstract

High temperatures at the time of the fire have a considerable influence on the residual strength of existing concrete. So that it would also result in the use of the building after the fire. The purpose of the study was to assess the extent of the percentage reduction in the compressive strength and flexural strength in the post-combustion reinforced concrete beams with concrete cover thickness and combustion with different duration. The research method by giving a different duration of combustion in 6 hours and 8 hours to beam test specimen measuring 150 mm x 200 mm x 600 mm with a thick concrete cover of 2 cm, 3 cm, 4 cm and 5 cm with the quality of concrete f_c' 22,5 MPa the test beam to the age of 28 days. The result taken from the test will be displayed in a graph of the relations between the length of the combustion duration and a decrease in flexural strength that occurs in any concrete covers. The result is the percentage decrease in the flexural strength smaller as thick blankets. The test results showed that the percentage decrease in the covers 2 cm on burning six hours by 19.72 % and 30.25 % in burning 8 hours. At 3 cm thick blanket large consecutive decrease 10.72 % at 6 hours and burning of 23.58 % on burning eight hours. At 4 cm thick blanket was 6.63% on combustion 6 hours , and 22.09 % on burning eight hours. While on the covers 5 cm was 5.97% at 6 hours and burning of 21.64 % on burning 8 hours. While the compressive strength after burning 6 hours is 19.26 MPa with decreased 15.44 % , and the compressive strength in the burning of 8 hours is 17.74 MPa to 22.11 % decline from the beginning without burning compressive strength of 22.78 MPa

Kata kunci : *flexural strength, concrete cover, after fire concrete, concrete beams*

PENDAHULUAN

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa yang padat (SNI 03 – 2834 – 1993). Semakin berkembangnya zaman dalam segala bidang, sehingga bahaya dapat terjadi dimana saja termasuk dirumah akibat

dari teknologi yang merambah kesetiap bidang hingga kerumah kita, salah satunya ialah kebakaran. Terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, akan berpengaruh terhadap elemen-elemen struktur beton. Hal ini akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton (Cornelis, R. dkk, 2014).

Saat terjadi kebakaran, api timbul sebagai reaksi proses rantai antara bahan mudah terbakar (*fuel*), oksigen dan panas (*heat*) yang sering disebut segitiga api (*fire triangle*). Rangkaian proses oksidasi terus berlangsung, sampai salah satu elemen pembentuk api berakhir. Untuk mencegah terjadinya api, maka salah satu komponen tersebut harus dihindari/diputus (Wahadamaputra, 2008). Dengan adanya Kepmen PU No. 10/KPTS/2000, Kepmen PU No. 11/KPTS/2000 dan UU RI No.28 Tahun 2002 yang terkait dengan kebakaran ini membuktikan bahwa masalah kebakaran adalah masalah yang cukup serius untuk ditanggulangi (Rahmad Anwar,2013). Di Jakarta terhitung dari Januari sampai 24 April 2015 telah terjadi 309 kasus kebakaran yang melanda menurut catatan Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan (DPKP) DKI Jakarta (ANTARA News, Selasa 5 Mei 2015).

Tentunya dengan banyaknya kasus kebakaran tersebut mempunyai pengaruh besar terhadap jenis material yang digunakan untuk konstruksi, antara lain ialah beton dan baja tulangan yang ada didalamnya. Dengan selimut beton yang melindungi baja tulangan didalamnya diharapkan dapat menjaga kekuatan lentur dari beton struktur pada gedung yang terbakar. Sebagai elemen struktur, balok berguna untuk menahan beban lentur dan geser. Kekuatan sisa dari momen dan gaya geser dari kerusakan akibat kebakaran pada balok beton adalah faktor penting dalam menentukan keamanan struktur (2006,

Hsu dkk). Sehingga setelah terjadi kebakaran, bangunan masih tetap dapat digunakan, namun dengan pengurangan kapasitas pembebanan pada struktur yang ada.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi perubahan fisik yang terjadi pada beton pra dan pasca bakar, kemudian menganalisis prosentase penurunan kuat lentur dan kuat tekan balok beton bertulang pada kondisi pra dan pasca bakar.

Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa yang padat (SNI 03 – 2834 – 1993).

Beton Bertulang

Beton bertulang adalah bahan bangunan yang merupakan kombinasi antara beton dan baja tulangan. Beton untuk beton bertulang merupakan campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah jika diperlukan. Pada struktur beton bertulang terdapat beberapa elemen utama seperti pelat, balok, kolom, dinding serta elemen – elemen lain. Elemen elemen ini berfungsi untuk menunjang kinerja struktur tersebut (Sutrisno, 2012).

Sifat Beton Terhadap Temperatur Tinggi

Penampakan terhadap temperatur yang sangat tinggi mengakibatkan perubahan sifat dari material tersebut.

Temperatur yang sangat tinggi sering dijumpai pada gedung saat terjadi kebakaran, sehingga akan mengakibatkan perubahan sifat material baja maupun beton (Sudibyo, dkk. 2010).

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton memikul beban tekan maksimum per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Kuat Lentur Beton

Balok sebagai elemen struktur yang sekarang dijumpai, dalam aplikasi di lapangan merupakan elemen yang cukup besar perannya dalam memikul beban, terutama untuk memikul beban lentur. Pada perencanaan lentur balok beton bertulang, penampang balok dapat direncanakan bertulangan kurang, lebih dan seimbang yang akan mengakibatkan keruntuhan tarik, keruntuhan tekan dan keruntuhan seimbang (Riza,2010).

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm akan diuji kuat tekan dengan cara *destructive*. Sedangkan benda uji balok beton bertulang dengan ukuran 15 x 20 x 80 cm akan diuji kuat tekan dengan cara *non*

destructive menggunakan *hammer*, kemudian akan diuji kuat lentur menggunakan mesin lentur. Benda uji balok beton bertulang diperlakukan dengan tiga kondisi berbeda yakni kondisi pertama dilakukan durasi pembakaran selama 6 jam, kondisi ke dua dengan durasi pembakaran selama 8 jam, kemudian kondisi ketiga tanpa dilakukan pembakaran.

Pada eksperimen ini digunakan mutu beton $f'c = 22,5$ MPa.

Pada penelitian ini bahan yang kami gunakan untuk *mix design* sebagai berikut :

1. Semen : menggunakan Semen Portland Type I ex Semen Gresik;
2. Agregat Halus : Pasir muntilan;
3. Agregat Kasar : berupa split (batu pecah) ukuran $\frac{1}{2}$ “;
4. Air : Sumur artesis laboratorium uji beton Politeknik Negeri Semarang;
5. Tulangan ulir $\varnothing 13$ dengan f_y 400 MPa

Bahan material dilakukan pengujian sebelum dilakukan *trial mix*, untuk agregat halus dilakukan pengujian analisa ayak, kadar air, berat isi dan kadar organik. Untuk agregat kasar pengujian dilakukan pengujian analisa ayak, kadar air dan berat isi. Sedangkan tulangan akan dilakukan uji tarik untuk mengetahui tegangan leleh sesungguhnya. Setelah semua data diperoleh dilakukan *mix design* dan pembuatan benda uji hingga perawatan benda uji hingga mencapai umur 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kuat Tekan Kubus dan Silinder

Pengujian kuat tekan dilakukan sebagai kontrol mutu beton, benda uji untuk kuat tekan ini berupa kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm dan silinder dengan ukuran 15

x 30 cm. Pengujian kuat tekan pada kubus dilakukan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari, sedangkan pada silinder dilakukan pengujian setelah berusia 28 hari. Berikut adalah hasil uji kuat tekan pada kubus dan silinder :

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Benda Uji Kubus

No.	Ukuran Benda Uji (cm)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Isi (kg/cm^3)	Umur (hari)	Beban Tekan Maks. (N/mm^2)	Kuat Tekan (N/mm^2)	Estimasi Kuat Tekan 28 Hari (N/mm^2)
1.	15 x 15 x15	7,80	2363,64	7	376,47	16,73	25,74
2.	15 x 15 x15	7,80	2363,64	14	407,32	18,10	20,57
3.	15 x 15 x15	7,80	2363,64	21	498,61	22,16	23,32
4.	15 x 15 x15	7,80	2363,64	28	537,94	23,91	23,91

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder

No.	Ukuran Benda Uji D x t (cm)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Isi (kg/cm^3)	Umur (hari)	Beban Tekan Maks. (N/mm^2)	Kuat Tekan 28 Hari (N/mm^2)
1.	30 x15	12,1	2372,55	28	523,64	23,27
2.	30 x15	12,1	2372,55	28	516,95	22,95
3.	30 x15	12,2	2372,55	28	525,56	23,36
4.	30 x15	12,1	2372,55	28	513,87	22,83
5.	30 x15	12,0	2372,55	28	523,83	23,28
6.	30 x15	12,1	2372,55	28	511,69	22,74
Kuat Tekan Rata – Rata Beton						23,09

Dari hasil pengujian diperoleh kuat tekan kubus sebesar 23,91 N/mm^2 dan kuat tekan rata-rata silinder 23,09 N/mm^2 , hasil tersebut telah sesuai dengan mix desain beton dengan kuat tekan yang disyaratkan ialah 22,5 N/mm^2 .

Pada identifikasi beton yang kami lakukan adalah pada benda uji balok berukuran 15 x 20 x 60 cm, dari beton normal atau tanpa pembakaran, kemudian beton dengan pembakaran 6 jam dan 8 jam dengan mengupas bagian selimut beton kemudian melihat perubahan fisik yang terjadi pada beton.

b. Identifikasi Fisik Beton Pasca Bakar



(a)

(b)

Gambar 1. Kondisi Fisik Beton Normal

Pada beton dengan kondisi normal atau tanpa pembakaran beton bertekstur keras, berwarna abu-abu cerah seperti pada Gambar 1 (a),

kemudian permukaan dari beton non bakar juga rata dan tidak terdapat retak rambut.



(a)

(b)

Gambar 2. Kondisi Fisik Beton Setelah Pembakaran 6 Jam

Pada beton dengan pembakaran 6 jam beton berwarna kekuningan (pucat) seperti pada Gambar 2 (a),

dan terdapat retak rambut pada permukaan beton seperti pada Gambar 2 (b).



(a)

(b)

Gambar 3. Kondisi Fisik Beton Setelah Pembakaran 8 Jam

Kondisi fisik beton dengan pembakaran 8 jam beton menjadi berwarna keputihan (pucat) seperti pada Gambar 3 (a) dan beton mudah rapuh, kemudian terdapat retak-retak pada permukaan beton (*spalling*) seperti pada Gambar 3 (b).

c. *Hammer Test* Balok Beton

Pengujian *hammer test* dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton tanpa merusak kondisi balok beton sehingga beton masih dapat digunakan kembali. Berikut adalah data hasil pengujian *Hammer Test* pada balok beton dan prosentase penurunan kuat tekan beton :

Tabel 3. Hasil *Hammer Test* dan Prosentase Penurunannya

Waktu Pembakaran	Kuat Tekan (MPa)	Penurunan (%)
0 jam	22,78	0
6 jam	19,26	15,445
8 jam	17,74	22,115

Dari hasil pengujian didapat bahwa semakin lama durasi pembakaran, prosentase penurunan yang terjadi pada kuat tekan juga semakin besar. Seperti yang terlihat pada pembakaran 6 jam terjadi penurunan kuat tekan sebesar 15,445 % dengan kekuatan tekan rata – rata sebesar 19,26 Mpa. Sedangkan pada pembakaran 8 jam penurunan yang terjadi sebesar 22,115% hal ini menunjukkan penurunan yang lebih besar dibandingkan saat kondisi pembakaran selama 6 jam.

d. Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian kuat lentur dilakukan setelah balok beton berumur 28 hari kemudian dilakukan pengujian pada masing-masing tebal selimut beton. Pembebanan dilakukan terpusat dengan jarak tumpuan 45 cm. Data yang diperoleh dari pengujian ini ialah data beban maksimum kemudian dilakukan perhitungan sehingga didapat nilai kuat lenturnya.

1. Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Pembakaran

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Tanpa Pembakaran.

Tebal Selimut	Beban Maks. (N)	Kuat Lentur (N/mm ²)
2 cm	71.000	5,325
3 cm	70.000	5,250
4 cm	69.000	5,175
5 cm	67.000	5,025

Nilai kuat lentur pada masing-masing selimut telah menunjukkan hasil yang sesuai dengan nilai pegangan kuat lentur beton yakni (11-23)% dari kuat tekan kubus atau $0,70 \sqrt{\text{kekuatan tekan beton}}$ yakni dengan nilai sebesar $3,32 \text{ N/mm}^2$. Dengan nilai kuat lentur tertinggi ialah pada balok

beton dengan tebal selimut 2 cm dengan nilai kuat lentur sebesar $5,325 \text{ N/mm}^2$.

2. Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pembakaran 6 Jam

Setelah dilakukan pembakaran selama 6 jam didapat nilai kuat lentur sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Pembakaran 6 Jam

Tebal Selimut	Beban Maks. (N)	Kuat Lentur (N/mm^2)
2 cm	57.000	4,275
3 cm	62.500	4,687
4 cm	63.000	4,725
5 cm	63.500	4,762

Dari hasil pengujian kuat lentur dengan pembakaran 6 jam telah terjadi penurunan pada masing-masing selimut. Nilai kuat lentur tertinggi ialah pada balok beton bertulang dengan selimut 5 cm dengan kuat lentur sebesar $4,762 \text{ N/mm}^2$.

3. Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Pembakaran 8 Jam

Hasil dari pengujian kuat lentur setelah pembakaran 8 jam adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Lentur Balok Beton Pembakaran 8 Jam

Tebal Selimut	Beban Maks. (N)	Kuat Lentur (N/mm^2)
2 cm	49.500	3,712
3 cm	53.500	4,012
4 cm	53.000	3,975
5 cm	52.500	3,937

Nilai kuat lentur pada balok beton dengan pembakaran 8 jam juga lebih rendah dibandingkan dengan balok beton tanpa pembakaran dan dengan pembakaran 6 jam. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pembakaran juga berpengaruh

terhadap nilai kuat lentur balok beton bertulang.

4. Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Dari ketiga kondisi pada balok beton, dapat dihitung prosentase penurunan kuat

lenturnya dengan menghitung selisih kuat lentur balok antar kondisi dibagi dengan kuat lentur balok tanpa pembakaran

dikalikan seratus persen. Berikut adalah grafik penurunan kuat lentur pada setiap tebal selimut beton:



Gambar 4. Grafik Penurunan Nilai Kuat Lentur

Meskipun nilai kuat lentur awal pada masing-masing tebal selimut berbeda, namun pada semua tebal selimut mengalami penurunan setelah mengalami pembakaran 6 jam dan 8 jam. Dari semua tebal selimut beton

yang memiliki nilai kuat lentur terendah ialah pada balok beton yang mengalami pembakaran 8 jam. Dari hasil perhitungan prosentase penurunan kuat lentur beton didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 7. Prosentase Penurunan Kuat Lentur

Tebal Selimut	Prosentase Penurunan Pada Kondisi :	
	Pembakaran 6 Jam	Pembakaran 8 Jam
2 cm	19,72 %	30,25 %
3 cm	10,72 %	23,58 %
4 cm	6,63 %	22,09 %
5 cm	5,97 %	21,64 %

Dari hasil perhitungan didapat prosentase penurunan kuat lentur semakin besar akibat pembakaran pada setiap durasi pembakaran. Pada masing-masing tebal selimut

mengalami penurunan bervariasi, meskipun dengan besar kuat lentur awal berbeda namun prosentase penurunan kuat lentur semakin kecil dengan semakin tebalnya

selimut. Prosentase penurunan kuat lentur yang paling besar ialah pada balok beton dengan tebal selimut 2 cm dengan penurunan pada pembakaran 6 jam dan 8 jam berturut-turut 19,72 % dan 30,25 %. Sedangkan prosentase penurunan yang paling kecil ialah pada balok dengan tebal selimut 5 cm dengan penurunan pada pembakaran 6 jam dan 8 jam berturut-turut 5,97 % dan 21,64 %. Hal ini menunjukkan bahwa tebal selimut melindungi baja tulangan yang ada didalamnya. Namun hal ini masih perlu diteliti lebih lanjut terhadap kuat tarik baja tulangan setelah dilakukan pembakaran, sehingga dapat diketahui seberapa jauh perlindungan selimut beton terhadap baja tulangan yang ada didalamnya.

KESIMPULAN

1. Perubahan fisik terjadi dari beton normal yang bertekstur keras, berturut-turut menjadi semakin rapuh pada pembakaran 6 jam dan 8 jam. Kemudian perubahan warna terjadi dari berwarna abu-abu cerah menjadi kekuningan (pucat) pada pembakaran 6 jam dan menjadi keputihan pada pembakaran 8 jam. Permukaan yang halus menjadi terdapat retak rambut kemudian pada pembakaran 8 jam terjadi *spalling* pada permukaan beton.
2. Dari perhitungan prosentase kuat tekan dapat disimpulkan bahwa

semakin lama durasi pembakaran kekuatan tekan yang tersisa akan semakin kecil. Seperti yang terlihat pada pembakaran 6 jam terjadi penurunan kuat tekan sebesar 15,445 %, sedangkan pada pembakaran 8 jam penurunan yang terjadi sebesar 22,115%. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pembakaran juga berpengaruh terhadap kuat tekan.

3. Semakin tebal selimut beton prosentase penurunan kuat lentur yang terjadi juga semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan selimut berpengaruh terhadap kekuatan sisa beton bertulang pada saat terjadi kebakaran. Besarnya prosentase penurunan kuat lentur yang terjadi pada selimut dengan tebal 2 cm pada pembakaran 6 jam 19,72 % dan 30,25 % pada pembakaran 8 jam. Pada tebal selimut 3 cm besar penurunan berturut-turut 10,72 % pada pembakaran 6 jam dan 23,58 % pada pembakaran 8 jam. Pada tebal selimut 4 cm adalah 6,63 % pada pembakaran 6 jam, dan 22,09% pada pembakaran 8 jam. Sedangkan pada selimut 5 cm ialah 5,97 % pada pembakaran 6 jam dan 21,64 % pada pembakaran 8 jam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada seluruh staf di Lab. Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang yang telah memberikan arahan, dukungan dan bantuan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A., 2010, *Balok dan Plat Beton Beton Bertulang*, Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Vis, W.C dan Kusuma, Gideon H., 1993, *Dasar – Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- McCormac, J., 2001, *Desain Beton Bertulang*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- SNI 03-1968-1990 *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar*
- SNI 03-1970-1990 *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*
- SNI 03 – 1971 – 1990 *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*
- SNI 03-2417-1991 *Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angles*
- SNI 03-4430-1997 *Metode Pengujian Elemen Struktur Beton Dengan Alat Palu Beton Tipe N Dan NR*
- SNI 4431 : 2011 *Cara Uji Lentur Beton Normal dengan Satu Titik Pembebanan*
- Reddy, Dronnadula V. dkk., 2015, *Size Effect on Fire Resistance of Structural Concrete*. Engineering Structures journal homepage: www.elsevier.com/locate/engstruct. Elsevier Ltd.
- Anwar, Syed Farrukh dan Mohd Wasee Ahmed, 2015, *Experimental Study On Behavior Of Ternary Bleded Crimped Steel Fiber Reinforced Concrete Beam In Shear*. International Journal Of Engineering Scieces & Research Technology (IJESRT) / Vol. 4 No. 8 - 2015.
- Cornelis, R. dkk., 2014, *Kajian Kuat Tekan Beton Pasca Bakar Dengan dan Tanpa Perendaman Berdasarkan Variasi Mutu Beton*. Jurnal Teknik Sipil / Vol. III, No. 2 - 2014.
- Kadhum, M.M., 2014, *Fire Resistance of Reinforced Concrete Rigid Beams*. Academic Journals. Journal of Civil Engineering and Construction Technology / Vol. 5 - 2014.
- Karwur, Yohanes Handy dkk., 2013, *Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen*. Jurnal Sipil Statik / Vol.1 No.4 - 2013.
- Fikkriansyah dan Gunawan Tanzil, 2013, *Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagai Semen Dengan w/c 0,60 dan 0,65*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan / Vol. 1, No. 1 - 2013.
- Bajad, M.N. dkk., 2011, *Effect Of Glass On Strength Of Concrete Subjected To Sulphate Attack*. International Journal of Civil Engineering Research and Development (IJCERD) / Vol. 1 Number 2 - 2011.
- Gernay, T. dkk., 2011, *Structural Behavior of Concrete Columns*

- Under Natural Fires Including Cooling Down Phase.* International Conference on Recent Advances in Nonlinear Models – Structural Concrete Applications, CoRAN.
- Kusdiyono, 2011, *Buku Ajar Bahan Bangunan 2*. Semarang. PP Polines.
- Wahyuni, Edhi dan Retno Anggraini, 2010, *Pengaruh Perbedaan Proses Pendinginan Terhadap Perubahan Fisik dan Kuat Tekan Beton Pasca Bakar*. JURNAL REKAYASA SIPIL / Volume 4, No.1– 2010.
- Yao, Z.H. dkk., 2008, *Study on Flexural Behavior Of Fire-Exposed RC beam Strengthened With SMPM*. World Conference on Earthquake Engineering ke 14.
- Lorenzis, De Laura dkk., 2001, *Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Near-Surface Mounted Fiber-Reinforced Polymer Rods*. ACI Structuran Journal / Vol. 98 No. 1 - 2001.
- Sian, Buen dkk., 2013, *Uji Eksperimental Kuat Lentur Balok dan Pelat Beton dengan Agregat Kasar dan Halus Beton Daur Ulang*. III/LPPM/2012-02/49-P
- Wikana, Widayat Yohanes, 2007, *Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Lapisan Mutu Beto Yang Berbeda*. Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 2/th XII/2007
- Supriyadi, 2011, *Pengaruh Mutu Baja Tulangan Terhadap Kapasitas Momen Lentur Balok Beton Bertulang*. Wahana TEKNIK SIPIL Vol. 15 No. 2 Desember 2011: 75-83.
- Ginting, Arusmalem, 2011, *Perbandingan Peningkatan Kuat Tekan Dengan Kuat Lentur Pada Berbagai Umur Beton*. Jurnal Teknik Sipil Volume 7 Nomor 2, Oktober 2011:98-192.