

## **INSPEKSI TEKNIK STRUKTUR BETON PASCA BAKAR DAN METODE PERBAIKANNYA**

**Sulardi**

*Prodi Teknik Sipil Universitas Tridharma, Balikpapan*

*E-mail : Sulardikm61@yahoo.com*

### **ABSTRACT**

The objective of the study was to provide an overview of the inspection method to determine the condition grade and method of improvement on the post-burn concrete chimney reinforced concrete steel structure. Inspection method using visual check method, hammer test compressive strength test and ultrasonic pulse velocity test (UPV Test) method with spontaneous damage condition and light crack. Method of crack repair with material specification of low pressure injection (LPI) method with material specification Resin Concrete 2525 and Resin Barra Emulsion 57, spalling improvement with epoxy grouting method using material flowable microconcrete specification, with good result, as per specification and acceptable. Method of repair of crack injection with epoxy grout method has been registered as a standard working method in PT.Pertamina RU V and can be replicated to overcome similar problems

Keywords : Ultrasonic pulse velocity test, crack, spalling, low pressure injection, epoxy grout.

### **1. PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu peralatan penting penunjang operasional kilang hydrocracking unit adalah steel chimney reinforced concrete (F-2-02). Peralatan ini adalah struktur selongsong beton penopang selongsong pelat baja yang berfungsi sebagai pengalir gas buang dari furnace di hydrocracking unit PT.Pertamina RU V. Sesuai drawing DWG. No. 30960/ R2 [5] spesifikasi steel chimney reinforced concrete dengan tinggi. 81 meter, diameter luar (OD), 9.1 meter, diameter dalam (ID), 8.5 meter, tebal dinding beton. 30 Cm, mutu beton, K-350 Kg/cm<sup>2</sup> dengan verticality

standard. 1/500 L (0.025%). Peralatan ini sangat penting dan tanpa keberadaan peralatan ini maka kilang hydrocracking unit tidak bisa dioperasikan. Namun dengan telah terjadinya incident kebakaran di furnace kilang hydrocracking unit yang mengakibatkan ikut terpaparnya steel chimney reinforced concrete telah mengakibatkan sisi dalam steel chimney reinforced concrete menghitam dan tertutup jelaga. Sementara steel chimney pengalir gas buang (flue gas) kondisi rusak parah, terdeformasi, meliut dan tak berbentuk lagi. Akibat kejadian ini maka peralatan ini tidak bisa digunakan lagi dan berdampak pula tidak bisa dioperasikannya kilang hydrocracking unit yang merupakan penyumbang benefit terbesar PT. Pertamina RU V Balikpapan. Kerugian akibat incident ini adalah sebesar Rp 22.5 Milyard sehari dan rusaknya asset perusahaan senilai > US\$ 500 Juta.



Gambar 1. Kondisi visual steel chimney reinforced concrete sisi luar dan sisi dalam pasca kebakaran

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dihadapi adalah kesulitan untuk melakukan inspeksi teknik, identifikasi kerusakan dan perbaikan kerusakan karena kerusakan peralatan berada diketinggian, diruang terbatas dan belum adanya pengalaman mengatasi permasalahan sejenis karena incident adalah yang pertama kali terjadi. Terkait kerusakan steel chimney pengalir gas buang telah diserahkan penyelesaiannya kepada PT. GTA Corporation bekerja sama dengan JGC Corporation, sedangkan untuk kerusakan struktur betonnya perbaikan akan dilakukan sendiri oleh

PT.Pertamina RU V. Untuk itu maka penelitian ini penting untuk dilakukan dalam rangka menemukan jawaban atas permasalahan kerusakan struktur beton steel chimney reinforced concrete dan metode perbaikannya. Dengan penelitian ini diharapkan mendapat gambaran lebih jauh kualitas beton pasca terbakar, condition grade kerusakan dan metode perbaikan yang digunakan. Masih terkait permasalahan tersebut, jika permasalahan ini belum dapat ditemukan jawabannya maka perbaikan tidak bisa segera dilakukan dan kilang hydrocracking unit tidak bisa berproduksi.



Gambar 2. Retak dan rompal beton pasca kebakaran

### 1.3 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan permasalahan yang dikembangkan pada penelitian ini adalah kerusakan struktur beton identik dengan penurunan kualitas dan penurunan mampu layan

struktur beton terpasang, diperlukan metode perbaikan dengan spesifikasi material tertentu agar dapat mengembalikan fungsi struktur beton seperti semula.

Tabel 1. Fokus masalah penelitian

Permasalahan	Fokus Penelitian	Target Perbaikan
Struktur beton menghitam, dan retak-retak	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Visual chek, Non Destructive Test dan Destructive Test</li> <li>2. Menentukan condition grade kerusakan beton eksisting</li> <li>3. Gambaran perbaikan, peralatan dan spesifikasi material digunakan.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perbaikan steel chimney reinforced concrete dengan spesifikasi material dan metode kerja baku</li> <li>2. Steel chimney reinforced concrete berfungsi kembali dengan baik dan aman</li> </ol>

Untuk fokus dan terarahnya penelitian ini membatasi diri pada metode inspeksi teknik struktur steel chimney reinforced concrete, penentuan condition grade kerusakan dan metode perbaikan yang digunakan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah :

- a. Memberikan gambaran metode inspeksi teknik untuk menentukan condition grade struktur beton steel chimney reinforced concrete pasca terbakar
- b. Memberikan gambaran metode perbaikan dan hasil perbaikan yang dilakukan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Kebakaran adalah reaksi oksidasi eksotermis yang berlangsung dengan cepat dari suatu bahan bakar yang disertai dengan timbulnya api dan penyalaan. Tiga unsur penting dalam kebakaran antara lain adalah tersedian bahan bakar, udara dan sumber panas dalam jumlah yang cukup.

Pada saat terjadi kebakaran, api berkembang pada tiga periode yaitu periode pertumbuhan (*Growth*), periode pembakaran tetap (*Steady Combustion*), dan

periode menghalangi (*Decay*). Pada periode pertumbuhan biasanya suhu masih rendah sekitar 250°C, pada periode pembakaran tetap dan lanjut suhu meningkat dengan cepat [6] dan dapat mencapai 1000°C, tergantung jenis dan banyaknya bahan yang terbakar. Pada saat terjadinya kebakaran, beton dan baja tulangan akan mengalami proses perubahan fase secara fisika maupun kimia yang kompleks. Akibatnya dengan adanya perubahan mikrostruktur beton dan baja tulangan secara keseluruhan dapat menurunkan kekuatan konstruksi.

Pada temperatur 100°C, kandungan air akan menguap namun jika permeabilitasnya rendah maka uap air akan terkondensasi lagi menjadi air [3] dan bila beton terpanasi sampai temperatur 400°C maka akan terjadi penguapan air bebas dalam pori-pori kapiler [1]. Karena adanya migrasi molekul air yang akan keluar terhalang, maka bisa terjadi friksi dengan dinding pori-pori beton, akibatnya akan timbul-timbul retak-retak mikro sehingga porositas beton meningkat dan kuat tekan beton akan mengalami penurunan [5]. Kenaikan suhu internal beton tergantung pada ketebalan dan kepadatan beton, jenis agregat, kondisi kelembaban agregat pada saat pengadukan. Peristiwa kerusakan berupa retak, rompal, spalling dan laminasi pada saat terjadi kebakaran cenderung terjadi [5]. Peristiwa spalling merupakan kombinasi dari tegangan-tegangan yang disebabkan beban luar, tegangan-tegangan akibat temperatur, kapasitas panas dan sifat tahan panas dari material, bentuk dan kapasitas tegangan dan material dan kenaikan tekanan pori.

Akibat paparan panas kuat tekan beton akan mengalami penurunan [5], disaat suhu bakar 500 °C kuat tekan menurun karena air yang terserap pada agregat mulai menguap. Disaat temperatur mencapai 750 °C terjadi penurunan kekuatan tekan yang signifikan [3]. Penurunan kuat tekan ini disebabkan karena pasta semen yang sudah terhidrasi terurai kembali  $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ . CaO (kapur) yang bersifat higroskopis dan menyerap air, sedangkan H<sub>2</sub>O mulai menguap pada temperatur 100 °C karena panas sehingga menyebabkan beton kering dan rapuh [1]. Bila terbakar hingga suhu 1000°C dan bertahan hingga 6

jam akan ditandai dengan permukaan beton yang mengelupas dan struktur internalnya menjadi rapuh.

Penurunan kuat tekan akibat terbakar pada temperatur 250 °C adalah 4.44%-7.41%, pada temperatur 500 °C penurunannya 12.59%-22.96 %, pada temperatur 750 °C penurunannya 56.44%-66.22% dan pada temperatur 1000 °C penurunan sebesar 76.74% -100% [3].

Dampak kebakaran terhadap porositas beton menunjukkan, akibat paparan panas 250 °C terjadi peningkatan porositas sebesar 8.09%-9.57%, pada temperatur 500 °C peningkatan sebesar 11.79%-15.50 %, pada temperatur 750 °C peningkatan sebesar 16.98%-18.46%, dan pada temperatur 1000 °C porositasnya bertambah 19.20%-26.61% dari porositas beton normal [6]. Adapaun dampak kebakaran terhadap perubahan warna beton adalah, perubahan warna beton mulai tampak jika beton terbakar pada suhu 500°C beton menjadi cokelat keabu-abuan. Hal ini terjadi karena adanya senyawa garam besi dalam agregat atau pasir beton yang menyebabkan beton berubah warna. Jika suhu mencapai 750°C terjadilah proses karbonisasi yaitu terbentuk Calcium Carbonat (CaCO<sub>3</sub>) yang berwarna keputih-putihan sehingga merubah warna beton menjadi lebih terang [1].

### **3. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian aplikasi dengan metode pendekatan studi kasus pada struktur steel chimney reinforced concrete yang terpapar panas pada saat terjadi kebakaran di furnace kilang hydrocracking unit PT. Pertamina RU V. Metode penelitian ini adalah success story perbaikan struktur beton steel chimney reinforced concrete pasca terjadi kebakaran [4] [5]. Metode perbaikan dilakukan pada bagian internal steel chimney reinforced concrete yang terpapar panas dan mengalami kerusakan.

### 3.2 Metode Inspeksi Teknik

Tahap awal dilakukan pembersihan permukaan beton yang tertutup jelaga dengan manual handtools dan menyemprotkan angin bertekanan, hasilnya diketahui secara permukaan beton eksisting masih cukup bagus dan hanya ditemukan spalling berukuran 15x18x2 Cm di 3 titik dan ukuran 20x8x1,5 Cm di 4 titik, retak vetikal dan retak horizontal berbentuk retak keliling (circumferential). Setelah pembersihan dilanjutkan inspeksi teknik dengan metode non destructive test menggunakan alat Pundit, hammer test dan metode visual check.

#### a. Uji kualitas homogenitas beton dengan UPV Test

Pemeriksaan dilakukan dengan pengukuran kecepatan pulsa ultrasonik (*ultrasonic pulse velocity test*) berdasarkan waktu rambat (*transit time*) pulsa ultrasonik dalam beton secara *indirect method*. Untuk mendapatkan nilai ekivalensi kecepatan secara *direct* perlu dikalikan dengan faktor koreksi. Faktor koreksi adalah nilai pulsa *direct* dibagi dengan nilai pulsa *indirect* dan nilai akhir kecepatan rambat pulsa yang diperoleh (ekivalensi *direct*) selanjutnya digunakan untuk menentukan kualitas betonnya.

Tabel 2. Rating kecepatan pulsa ultrasonik untuk beton

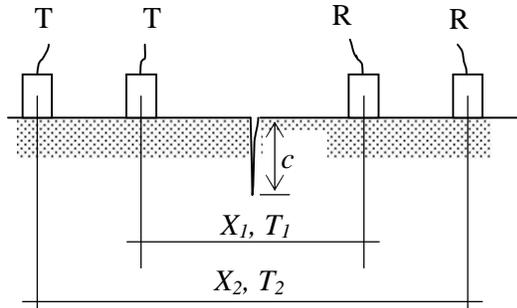
Kualitas Beton	Kecepatan pulsa ultrasonik (km/det)
Sangat baik ( <i>excellent</i> )	> 4,6
Baik ( <i>good</i> )	3,7 – 4,6
Cukup ( <i>fair</i> )	3,0 – 3,7
Jelek ( <i>poor</i> )	2,1 – 3,0
Sangat jelek ( <i>very poor</i> )	< 2,1

#### b. Uji kedalaman retak dengan UPV Test

Pengukuran kecepatan pulsa ultrasonik untuk penentuan kedalaman retak dilakukan secara *indirect method* dengan posisi retak berada di tengah-tengah antara probe. Pengukuran *transit time* dilakukan dua kali dengan jarak *transmitter* dan *receiver* yang berbeda, misalkan  $X_1$  dan  $X_2$  di mana  $X_2 = 2X_1$ . Jarak antara *transmitter* ke celah retak dan antara celah retak ke *receiver* dibuat sama. *Transit*

time yang bersesuaian dengan  $X_1$  dan  $X_2$  adalah  $T_1$  dan  $T_2$ . Selanjutnya kedalaman retak  $c$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

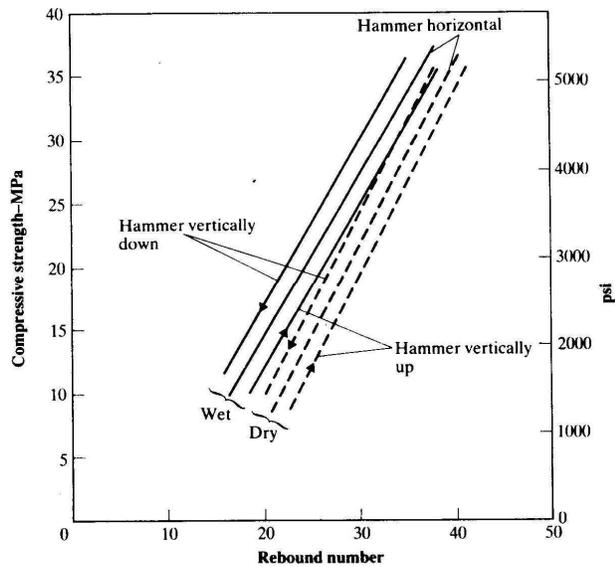
$$c = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{X_2^2 T_1^2 - X_1^2 T_2^2}{T_2 - T_1}}$$



Gambar 2. Cara pengukuran kedalaman retak

c. Estimasi kuat tekan beton permukaan dengan Hammer Test

Pemeriksaan kuat tekan beton dengan Hammer Test dilakukan sebanyak 10 kali pukulan untuk setiap lokasi. Nilai pantulan (R) yang diperoleh kemudian dikonversikan menjadi kuat tekan beton. Konversi nilai R ke kuat tekan beton menggunakan grafik pada Gambar.3 [2].



Gambar 3. Hubungan antara kuat tekan beton dengan nilai R

### **3.3 Metode Perbaikan retak beton**

#### **a. Bahan**

- 1). Resin LPL, Concessive 2525 (A) dan Resin, Barra Emulsion 57 (B) (BASF)
- 23). Perekat, Concessive 1438/ BASF.

#### **b. Peralatan**

- 1). Mesin Low Pressure Injection (LPI)
- 2). Packer set
- 3). Air compressor unit
- 4). Alat Keselamatan Kerja
- 5). Alat bantu lainnya

#### **c. Metode kerja**

##### **a. Pekerjaan marking area**

- 1) Pekerjaan ini dimaksudkan untuk mengetahui luasan dan volume retakan concrete yang akan dikerjakan, sehingga mempermudah perhitungan volume material digunakan
- 2) Permukaan retak yang akan diperbaiki dibersihkan dengan power tools atau sikat kawat
- 3) Yakinkan bahwa celah/ retakan yang akan diperbaiki terlihat dengan jelas

##### **b. Pemeriksaan Pekerjaan Pemasangan Packer unit**

- 1) Pastikan bahwa packer dipasang pada retakan setiap jarak 20 Cm, telah diberi perekat (concessive 1438) dan dipasang pada posisi tegak lurus terhadap retakan
- 2) Pastikan dan yakinkan bahwa retakan antara packer yang satu dengan yang lain telah diplug sehingga material injeksi tidak bocor dan packer-packer telah dihubungkan dengan selang penghubung dengan rangkaian yang tidak lebih dari 10 titik packer

##### **c. Pelaksanaan Injeksi Retakan**

- 1) Siapkan material injeksi (Resin LPL, Concessive 2525, Barra Emulsion 57), komponen part A dan part B, campur dan aduk keduanya hingga benarbenar homogen

- 2) Periksa dan yakinkan internal tabung LPI dalam kondisi bersih dan yakinkan bahwa tekanan air pressure dari air compressor bertekanan cukup (1-1,5 Kg/Cm<sup>2</sup>)
  - 3) Lakukan injeksi dan selama pelaksanaan injeksi monitor tekanan LPI pada tekanan konstan (1-1,5 Kg/cm<sup>2</sup>)
  - 4) Proses injeksi dinyatakan selesai jika material tidak mengalir lagi dari LPI melalui selang-selang penghantar
  - 5) Material injeksi didiamkan selama min. 12 jam untuk memastikan material telah kering benar dan meyatu dengan baik dengan material beton eksisting
  - 7) Lepas selang konektor tubing dilepas, packer-packer dipotong dan bekas-bekasnya dibersihkan dengan gerinda beton sehingga permukaan rata
- d. Ukuran keberhasilan pekerjaan injeksi adalah packer port terpasang dengan baik, pekerjaan injeksi retakan dilaksanakan metode yang benar, beton yang retak telah menyatu dengan baik, tidak ada indikasi retak dan tidak terjadi incident.

### **3.4 Metode Perbaikan Spalling**

Spesifikasi material yang dipergunakan adalah flowable microconcrete dan bonding agent. Peralatan perbaikan meliputi form waork, hammer drill, air compressor, water jet, mixing machine dan sagola chamber. Metode perbaikan spalling (rompal) dilakukan dengan cara dichipping dengan hammer dril kapasitas 5 kg hingga kedalaman 5 Cm, cleaning dengan angin dan water jet sehingga bersih dan jenuh air. Lanjutkan laburi permukaan beton eksisting dengan bonding agent, pasang bekisting dengan konfigurasi menyesuaikan kondisi eksisting, grouting material flowable microconcrete, buka form work dan curing time selama 2x24 jam.

## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengujian dengan kualitas homogenitas beton dengan metode uji UPV test sebagai tersaji pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil UPV Test Internal Beton Steel Chimney Reinforced Concrete

No.	Lokasi	UPV indirect rata-rata (km/det)	Ekivalensi UPV direct (km/det)	Kualitas Beton
1	Dasar Chimney	4.68	3.72	Baik
2	Bordes sisi luar posisi tertinggi	3.49, 3.53	3.54, 69	Baik
4	Bordes sisi dalam posisi tertinggi (elevasi. 4 -22m dari ujung paling atas	3.66, 3.78, 3.99, 3.34	3.35, 3.25, 3.51, 3,59	Baik

Hasil pengukuran kedalaman retak beton sisi dalam steel chimney reinforced concrete meliputi retak arah vertikal (atas ke bawah) dan retak melingkar (circumferential) dengan alat UPV Test sebagaimana tabel. 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kedalaman Retak Beton

No.	Lokasi	Retak Vertikal		Retak Melingkar	
		Lebar Retak (mm)	Kedalaman Retak (cm)	Lebar Retak (mm)	Kedalaman (cm)
1	Bordes sisi luar posisi tertinggi (sisi timur chimney)	0.1-1.2	14.2, 2.7, 6.6, 7.1, 2.7	0.1,1.3	5.6, 7.5
2	Bordes sisi dalam posisi tertinggi (elevasi $\approx$ 4 m dari ujung atas	0.3	12.4, 18.4, 6.8, 7.2	0.4, 0.3, 0.6	6.5, 11.2, 19.6
3	Sisi dalam, elevasi $\approx$ 8 m dari ujung paling atas	0.6	6.9, 25.7	0.3, 0.7	6.1, 21.1
4	Sisi dalam, elevasi $\approx$ 10 m, 16 m dan 22 m dari ujung paling atas	0.3, 0.4, 0.3	15.6,10.4, 12.4, 16.6	0.3, 0.5, 1.0, 1,2	16.1,8.3, 7.8, 11.7

Hasil pengukuran kuat tekan permukaan sisi dalam steel chimney reinforced concrete dengan alat Hammer Test sebagaimana tabel. 5.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Beton Permukaan dengan Hammer Test

No.	Lokasi	R Number	Kuat Tekan Beton Permukaan (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Bordes sisi luar posisi tertinggi (sisi timur chimney)	54.1, 53.8, 55.2	565, 561, 581
2	Bordes sisi dalam posisi tertinggi (elevasi ≈ 4 m dari ujung paling atas (sisi tenggara chimney))	53.6, 50.3, 49.1, 48.4	558, 510, 545, 493, 483, 458
3	Sisi dalam, elevasi ≈ 8 m dari ujung paling atas (sisi barat laut chimney)	51.8, 50.3	532, 510, 535
4	Sisi dalam, elevasi ≈ 10 m, 16 m, 22 m dari ujung paling atas (sisi barat daya chimney)	50.0, 52.7, 49.3, 48.6, 52.7, 51.4	540, 545, 540, 496, 487, 510, 546, 526, 535

Hasil visual check setelah jelaga dan sisa-sisa bakar dibersihkan diketahui bahwa kondisi beton masih cukup baik, ditemukan retak memanjang arah vertikal dari atas kebawah di (8) delapan lokasi dan retak melingkar sebanyak 7 (tujuh) lokasi dengan total panjang retak 341 meter dengan variasi kedalaman retak. 5.6 – 21.1 Cm. Ditemukan pula 7 (tujuh) titik lokasi spalling dengan kedalaman spalling 1.5 – 2.0 Cm. Hasil uji kuat tekan beton permukaan dengan alat Smith Hammer test menunjukkan variasi kuat beton 458 – 581 Kg/Cm<sup>2</sup> vs 350 Kg/Cm<sup>2</sup>. Hasil uji homogenitas beton dengan alat UPV Test menunjukkan angka 3.19 – 3,71 km/detik. Secara umum kondisi beton sisi dalam steel chimney reinforced concrete pada condition grade : Good/ Baik, tidak terjadi penurunan kualitas dan dalam batas aman.

Hasil perbaikan retak menggunakan metode *low pressure injection* (LPI) dengan spesifikasi material Resin Concessive 2525 (BASF) dan Resin Barra Emulsion 57 (BASF) menunjukkan bahwa seluruh bagian sisi dalam steel chimney reinforced concrete dengan total panjang 341 meter telah selesai dilakukan perbaikan. Hasil perbaikan spalling dengan metode *epoxy grouting* menggunakan spesifikasi material flowable microconcrete dan bonding agent menunjukkan bahwa material beton perbaikan dapat bonding dengan baik. Hasil perbaikan retak, hasil perbaikan dan seluruh permukaan terpapar panas telah dilakukan surface preparation dengan manual handtools dan telah dicoating dengan spesifikasi material mastic surface tolerance dengan tebal 300 micron DFT.

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

1. Metode inspeksi untuk menentukan condition grade kerusakan struktur steel chimney reinforced concrete adalah dengan metode visual cek, metode uji kuat tekan hammer test dan metode ultrasonic pulse velocity test (UPV Test) dengan kondisi kerusakan rompal (spalling) dan retak (crack) ringan
2. Perbaikan retak (crack) dengan spesifikasi material metode low pressure injection (LPI) dengan spesifikasi material Resin Concessive 2525 dan Resin Barra Emulsion 57, perbaikan rompal (spalling) dengan metode epoxy grout menggunakan spesifikasi material flowable microconcrete, dengan hasil baik, sesuai spesifikasi dan dapat diterima
3. Metode perbaikan injeksi retak (crack) dengan metode low pressure injection dan perbaikan rompal (spalling) dengan metode epoxy grouting telah tergistrasi sebagai metode kerja baku di PT.Pertamina RU V dengan Nomor. C-021/113330/2011-S0 dan Nomor. C-022/113330/2011-S0.

### **5.2 Saran-saran**

1. Metode inspeksi penentuan condition grade dengan metode visual cek, metode uji kuat tekan hammer test dan metode ultrasonic pulse velocity test (UPV Test) dapat digunakan pada struktur beton dan peralatan konstruksi yang mengalami permasalahan sejenis

2. Perbaikan retak dengan metode low pressure injection dengan spesifikasi material Resin dan metode perbaikan rompal dengan epoxy grout dengan spesifikasi material flowable microconcrete terbukti dapat mengatasi masalah kerusakan struktur beton pasca kebakaran
3. Metode perbaikan injeksi retak dengan metode low pressure injection dan perbaikan rompal dengan metode epoxy grouting yang telah terregistrasi sebagai metode kerja baku di PT.Pertamina RU V dapat direplikasi di unit kerja lingkungan PT. Pertamina dan diluar Pertamina.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Febrina, F., 2010, *Pengaruh Suhu Dan Waktu Pembakaran Pada Struktur Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*, Departemen Fisika Universitas Sumatera Utara, Medan
- [2] Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1994, *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical, Harlow
- [3] Remigildus Cornelis, Elia Hunggurami, Nini Yunita Tokang, 2014, *Kajian Kuat Beton Pasca Bakar Dengan dan Tanpa Perendaman Berdasarkan Variasi Mutu Beton*, *Jurnal Teknik Sipil Universitas Udayana* Vol. III, No. 2, Denpasar
- [4] Sulardi, 2016, *Mempercepat Readiness Struktur beton Main Flue Duct Stack F-2-02 Dengan Injeksi Retak dan Spalling Repair*, Portal Sharing Knowledge PT.Pertamina Corporate,   
<http://ptmcpwab81.pertamina.com/komet/SearchResult.aspx?ptm. Kodefikasi.160928008>
- [5] Sulardi, 2016, *Identifikasi Kerusakan Struktur Beton Steel Chimney Reinforced Concrete F-2-02 Dan Metode Perbaikannya di PT. Pertamina RU V Balikpapan, Laporan Penelitian Non Publikasi*
- [6] Yulia Corsika M. S, Rahmi Karolina, 2013, *Analisis Perilaku Mekanis dan Fisis Beton Pasca Bakar*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan.