

P-6

**PERBAIKAN PENGELUPASAN DAN ROMPAL BETON EKSISTING
DENGAN METODE GROUTING MICROCONCRETE**

**IMPROVEMENT OF LAMINATE AND SPALLING CONCRETE
WITH MICROCONCRETE GROUTING METHOD**

Sulardi^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Tridharma, Jln. A.W Syahrani No.7, Balikpapan

**E-mail: Sulardikm61@yahoo.com*

Diterima 10-09-2018	Diperbaiki 08-10-2018	Disetujui 05-11-2018
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Struktur beton bangunan kilang Pertamina RU V Balikpapan pada saat ini telah berusia > 35 tahun dengan kondisi telah terkarbonasi, mengalami pengelupasan selimut beton, crack, spalling yang mengakibatkan struktur beton pada kondisi sub standard dan unsafe condition. Tujuan penelitian adalah memberikan gambaran tentang spesifikasi material microconcrete dan metode perbaikan pengelupasan selimut beton dan rompal beton dengan metode grouting. Flowable microconcrete adalah material beton mutu tinggi, tidak susut, dapat mengalir dan dapat memadat dengan sendirinya sehingga dapat mencapai detail konstruksi yang tidak terjangkau oleh mortar beton konvensional. Pekerjaan grouting dilakukan dengan alat sagola chamber. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesifikasi material flowable microconcrete dan metode grouting terbukti cocok dan sesuai digunakan. Hasil perbaikan juga merekomendasikan agar spesifikasi material flowable microconcrete dapat dimasukkan dalam approval material list (AML) Pertamina dan metode grouting dapat direplikasi di unit kerja Pertamina yang lain.

Kata kunci: *Pengelupasan, rompal, microconcrete, grouting*

ABSTRACT

Pertamina refinery's concrete structure at this time has aged > 35 years with the condition has been carbonated, experiencing exfoliation of concrete blanket, crack, spalling which resulted concrete structure in sub standard condition and unsafe condition. The purpose of this study is to provide an overview of microconcrete material specifications and methods to improve exfoliation of concrete and concrete ropes with grouting method. Flowable microconcrete is high quality concrete material, not shrinkable, can flow and can solidify by itself so as to achieve the detail of construction not covered by conventional concrete mortar. Grouting work is done by sagola chamber. The results showed that the material specifications of flowable microconcrete and grouting methods proved suitable and suitable for use. The improvement results also recommend that the material specifications of flowable microconcrete can be included in Pertamina's approval material list (AML) and the grouting method can be replicated in other Pertamina units.

Keywords: *Laminating, Spalling, microconcrete, grouting*

1. PENDAHULUAN

1.1 Permasalahan

Struktur beton bangunan di lingkungan kilang dan fasilitas penunjangnya secara dominan menggunakan struktur beton untuk mendukung peralatan kilang, struktur penopang perpipaan (pipe rack), struktur bangunan gedung perkantoran, bangunan perumahan dan fasilitas penunjang lain yang

pada saat ini usia terpasangnya telah mencapai > 30 tahun [6]. Dengan usia struktur beton terpasang telah mencapai 30 tahun ini kondisi struktur beton telah berada pada fase pengelupasan (laminating) selimut beton sehingga selimut beton mengalami penipisan secara signifikan dan akan diikuti dengan degradasi material selimut beton. Jika pengelupasan selimut beton ini dibiarkan tanpa perbaikan maka kerusakan akan berlanjut

kepada terjadinya rompal-rompal (*spalling*) yaitu retak, terkontaminasi dan terkarbonasinya lapis selimut beton sehingga tulangan beton terkorosi bertambah volumenya dan mengakibatkan rompal-rompalnya beton [2]. Terhadap kondisi tersebut yang bila tidak dilakukan perawatan dan pemeliharaan secara memadai maka struktur beton akan mengarah kepada failure dan collapse.



Gambar 1. Pengelupasan selimut beton



Gambar 2. Rompal beton

Permasalahan yang dialami adalah terjadinya pengelupasan selimut beton pondasi peralatan, struktur beton mengalami retak (*rack*) dan struktur beton terpasang mengalami rompal-rompal (*spalling*) yang mengakibatkan struktur beton pada kondisi *sub standard dan unsafe condition*. Dampak permasalahan tersebut berdasarkan aspek panca mutu adalah secara *quality (Q)* struktur beton terpasang rusak, selimut beton terkelupas dan *sub standard*. Secara *Cost (C)* adalah permasalahan ini berpotensi terjadi kegagalan peralatan operasi kilang dengan kerugian Rp 500 Juta. Secara *delivery (D)* adalah adanya kesulitan dalam menentukan spesifikasi material perbaikan rompal beton, beton konvensional cenderung susut, retak dan terkelupas lagi. Secara *safety (S)* adalah kondisi struktur beton pada *unsafe condition* karena peralatan dioperasikan pada kondisi tidak aman,

membahayakan peralatan, pekerja dan lingkungan. Secara *moral (M)* adalah bahwa akibat permasalahan ini akan menjadi beban moral pekerja, tidak bisa mengatasi permasalahan dilingkungan kerjanya.

Faktor penyebab pengelupasan (*laminat*) selimut beton adalah (1) material, selimut beton mengalami tidak bonding dengan baik dengan material selimut beton penutup tulangan beton (2) spesifikasi material selimut beton tidak sama. Sedangkan penyebab rompal-rompal beton adalah (1) material, struktur beton mengalami degradasi material dan mengakibatkan korosi tulangan internal beton (2) material beton terpapar bebas dilingkungan terbuka dengan sistem pemeliharaan yang tidak baik.

Penyebab permasalahan laminasi adalah (1) laminasi selimut beton menyebabkan masuknya air dan uap air yang mengakibatkan degradasi material beton dan karbonasi beton, dan (2) karbonasi terjadi karena material beton dipermukaan bereaksi dengan lingkungan udara, uap air dan gas bebas [1]. Sedangkan terjadinya retak (*crack*) menyebabkan masuknya air dan uap air yang dibentuk mengakibatkan korosi tulangan beton serta mengakibatkan volume baja tulangan beton membesar hingga beberapa kalinya sehingga mendesak selimut beton, terjadi *crack* yang cukup dalam dan rompal (*spalling*) dan (2) setelah terjadi rompal beton (*spalling*) menyebabkan paparan karbonasi (degradasi material) beton mencapai inti beton dan menghilangkan sifat *passive* inti beton.

Untuk itu maka penelitian ini penting dilakukan guna menemukan jawaban atas permasalahan kesulitan menentukan spesifikasi material perbaikan dan metode perbaikan struktur beton terpasang (eksisting) yang mengalami pengelupasan (*laminat*) dan rompal (*spalling*). Dengan temuan jawaban berupa inovasi dan *improvement* maka diharapkan permasalahan yang selama ini terjadi dapat ditanggulangi dengan baik, aman dan kejadian yang sama tidak terulang kembali. Metode perbaikan yang akan dilakukan terjadi kerusakan beton eksisting dalam bentuk pengelupasan dan rompal adalah dengan spesifikasi material yang dapat bonding dengan baik terhadap permukaan beton eksisting, tidak mengalami penyusutan, tidak retak (*crack*) dan memiliki mampu layan

yang lebih baik dibandingkan mutu beton eksisting. Metode perbaikan yang akan digunakan adalah dengan membobok permukaan selimut beton eksisting yang mengalami degradasi material (terkarbonasi) sampai dengan inti beton yang masih baik dan melapis kembali bagian permukaan yang telah dibobok (*chipping*) dengan metode *grouting* prosedur kerja ACI 224.1R-07 [1], metode kerja baku perbaikan pengelupasan (*laminat*) PT. Pertamina RU V TKI No.C-023/E15143/2011-S0[8] dan metode kerja baku perbaikan rompal beton (*spalling*) PT. Pertamina RU V TKI No.C-022/E15143/2011-S0[7].

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai melalui kegiatan penelitian adalah untuk :

1. Memberikan gambaran spesifikasi material dan peralatan untuk pekerjaan perbaikan pengelupasan (*laminat*) dan rompal beton (*spalling*) eksisting
2. Memberikan gambaran pelaksanaan metode perbaikan pengelupasan (*laminat*) dan rompal (*spalling*) beton dengan metode *grouting* sesuai metode kerja baku di Pertamina RU V Balikpapan.

1.3 Batasan Penelitian

Beton *micro concrete* adalah campuran proporsional semen portland, agregat bergradasi dari ukuran 6-10 mm dan agregat halus pasir kwarsa khusus. Microconcrete secara spesifik juga menggunakan material aditif non-shrink dalam campuran untuk membatasi penyusutan plastik hingga 0.4%. Microconcrete bersifat dapat mengalir sendiri (*flowable*) yang pada umumnya digunakan dibagian detail konstruksi yang tidak dapat diakses dengan mortar beton konvensional [2]. Material beton microconcrete secara khusus dipergunakan sebagai material perbaikan struktur beton eksisting yang mengalami pengelupasan selimut beton (*laminat*) dan rompal beton (*spalling*). Aplikasi beton *microconcrete* dilakukan dengan alat pengaduk (*mixer*), mesin penuang (*sagola chamber*) dan material bekisting dengan permukaan yang dilapis dengan film anti lengket beton.

Penelitian ini membatasi diri pada perbaikan kerusakan pengelupasan (*laminat*)

selimut beton dan rompal-rompal (*spalling*) beton eksisting pada struktur bangunan kilang PT. Pertamina RU V Balikpapan. Perbaikan dilakukan dengan spesifikasi material *flowable microconcrete* EMACO S322 M produk pabrikan BASF Indonesia. Pemilihan spesifikasi material ini didasarkan kepada beberapa hal antara lain (1) memiliki usia kuat tekan awal yang tinggi (*high early strength*) (2) memiliki kuat tekan yang tinggi (*high ultimate strength*) (3) mempunyai sifat sebagai bahan yang mengalir (*flowable long life grout*) (4) bersifat dual expansion untuk mengantisipasi gejala retak-susut (*shrinkage compensated*) pada kondisi basah (kondisi plastis dan pada kondisi kering (kondisi setelah setting) sesuai ASTM C-1107(5) memiliki daya lekat yang baik pada permukaan beton eksisting (6) memiliki kemampuan memadatkan diri sendiri tanpa diperlukan vibrasi (7) memiliki tingkat permeabilitas yang rendah untuk menghambat masuknya serangan ion chloride dan karbondioksida di udara (8) memiliki tingkat kemudahan pengerjaan yang tinggi (*high workability*) (9) dalam kondisi *flowable* tidak boleh terjadi *bleeding* [6].

Typical performance microconcrete EMACO S322 M adalah memiliki *compressive strength* (ASTM C-109) 30 N/mm² pada usia 1 hari, 50 N/mm² pada usia 3 hari, 60 N/mm² pada usia 7 hari, dan 70 N/mm² pada usia 28 hari. *Flexural strength* (ASTM C348) pada usia 28 hari adalah 10,5 N/mm², *Tensile strength* (ASTM C-348) pada usia 28 hari adalah 5,5 N/mm² dan *Initial setting time* pada 5-6 jam. Material *microconcrete* EMACO S322 M disuplai dalam bentuk powder, Berwarna cement grey, Density (wet) 2.25, Flowable 2.28, density (wet) plastic flow trough flowable 30-50 Cm [6].

2. METODOLOGI

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pekerjaan perbaikan struktur jembatan dalam area kilang PT. Pertamina RU V Balikpapan dan dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan. Pada pekerjaan perbaikan struktur jembatan ini penulis sekaligus bertindak sebagai *advisor construction, quality controll (QC) & quality assurance (QA)* yang bertanggung jawab terhadap metode kerja perbaikan, penentuan spesifikasi material, metode kerja, kontrol kualitas dan kontrol keberterimaan hasil pekerjaan (*quality acceptance*).

2.2 Bahan-bahan digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi (1) Material microconcrete EMACO S322 M produk PT.BASF Indonesia (2) *Bonding agent* (3) Tulangan beton ulir diameter 13 mm dengan beugel tulangan 8 mm ulir dan pengikat kawat bendrad (4) Triplex bekisting tebal 14 mm dilapis film anti lengket (5) Bahan-bahan lain sesuai kebutuhan dilapangan.

2.3 Peralatan digunakan

Peralatan kerja yang digunakan dalam penelitian ini meliputi (1) *demolition drillhammer* kapasitas 6 kg (2) tabung *sagola chamber* (3) mixer (4) *Air compressor* (5) *water jet pump* (6) Bor beton (7) Bor beton (8) Cut off (9) Peralatan lain sesuai kebutuhan (10) Peralatan keselamatan kerja dan alat pelindung diri (APD) [7,8].



(1a)

(1b)

Gambar 1. Sagola chamber (1a) dan Mixer (1b)

2.4 Metode Grouting Dengan Material Flowable Microconcrete

Metode *grouting* dengan spesifikasi material *flowable microconcrete* dilakukan sesuai standar baku KI No.C-022/E15143/2011 Rev.0 [7,8] Pertamina RU V yang diawali dengan dengan tahapan pekerjaan marking area dengan langkah sebagai berikut :

1. Pekerjaan ini dimaksudkan untuk mengetahui luasan dan volume rompal *concrete (spalling)* yang akan dikerjakan, sehingga mempermudah
2. Perhitungan volume material digunakan
3. Permukaan *spalling* yang akan diperbaiki/ digrouting dibersihkan dengan *power tools* atau sikat kawat
4. Pastikan bahwa tidak ada kotoran debu dan cairan kimia yang masih melekat pada permukaan tulangan dan *concrete* yang akan diperbaiki
5. Yakinkan bahwa seluruh area beton rompal (*spalling*) yang akan diperbaiki terlihat dengan jelas dan dapat diperiksa dengan baik, dan dipastikan permukaan beton

bebas kontaminasi Chloride dengan uji indikator cairan kimia *Phenolphthalane*.

Setelah *marking area* selesai dilanjutkan dengan pekerjaan persiapan (preparasi) dengan langkah-langkah sebagai berikut [7,8]:

1. Pastikan bahwa permukaan beton yang *spalling/ rompal* telah dichipping sampai mencapai kedalaman 1,5 Inch (30-40 mm) atau sampai dengan tulangan beton dapat dikerjakan dengan bentuk dan konfigurasi *chipping* yang benar, dan pastikan permukaan yang akan direpair bebas kotoran, debu dan minyak
2. Pastikan bahwa tulangan beton yang rusak telah diganti dan disambung dengan benar, serta telah dilapis dengan anti korosi dengan spesifikasi material anti korosi *water based* (sesuai AML Pertamina) dan jarak tulangan beton dengan *formwork* >30 mm
3. Pastikan dan yakinkan bahwa peralatan *grouting Sagola Chamber* yang akan digunakan konklisinya bersih dan siap digunakan
4. Pastikan bekisting (*formwork*) yang digunakan telah terpasang dengan baik dan benar sesuai dengan bentuk, dimensi dan konfigurasi desain
5. Pastikan bahwa permukaan beton eksisting telah benar-benar bersih, telah dijenuhkan dengan air dan telah dilaburi dengan bonding agent sesuai AML Pertamina.

Setelah pekerjaan preparasi bahan, material, tenaga kerja dan metode kerja selesai dilakukan dilanjutkan dengan dengan pekerjaan *grouting flowable microconcrete* dengan tahapan sebagai berikut [3,4,5]:

1. Periksa kesiapan material *microconcrete grouting* yang digunakan sesuai dengan spesifikasi material yang cocok dan sesuai digunakan untuk *grouting* yang dapat mengalir sendiri (*flowable microconcrete*)
2. Periksa dan yakinkan bahwa mesin *groutingsagola chamber* dalam kondisi bersih, selang konektor terikat rapat dan kuat sebelum adukan material *microconcrete* dimasukan kedalam tabung mesin *grouting*
3. Periksa komposisi campuran *microconcrete* (kecepatan mixing 400 RPM) dan air telah sesuai spesifikasi dan tercampur dengan baik dan homogen sebelum dituang kedalam mesin *grouting*

4. Periksa dan yakinkan bahwa tekanan air pressure (dari *air compressor*) yang dihubungkan dengan tubing ke tabung mesin *grouting sagola* telah siap untuk dilakukan *grouting* ke lokasi yang akan diperbaiki
5. Proses *grouting* berakhir dan dianggap selesai jika material *grouting* mengalir melalui lubang kontrol *grouting* pada titik yang terjauh/ tertinggi
6. Material *grouting* didiamkan selama 2x24 jam untuk memastikan material telah setting dengan baik, mengering benar dan menyatu dengan baik dengan material beton eksisting
7. Setelah pekerjaan *grouting* selesai *formwork* dilepas, bekas-bekas detail konstruksi dibersihkan dan dilakukan perawatan keras (*curing*) dengan menjaga beton tetap dalam kondisi lembab dengan material *curing compound* atau dengan membasahi dengan karung goni basah.

Mode kalibrasi ukuran keberhasilan hasil pekerjaan perbaikan pengelupasan selimut (*laminat*) beton dan rompal beton (*spalling*) dengan metode *grouting flowable microconcrete* meliputi [3,4]:

1. Seluruh permukaan beton eksisting yang mengalami pengelupasan (*laminat*) dan rompal (*spalling*) telah teridentifikasi luasan, volumenya dan termasuk dalam lingkup perbaikan
2. Spesifikasi material perbaikan *flowable microconcrete*, peralatan mixer dan *sagola chamber set*, tenaga kerja berpengalaman melakukan pekerjaan sejenis dan metode kerja *grouting* telah disosialisasikan dan difahami oleh seluruh pekerja terlibat pekerjaan
3. Permukaan beton eksisting yang mengalami degradasi material (terkorosi dan terkarbonasi) telah di *chipping* hingga mencapai inti beton yang baik
4. Pekerjaan *repair grouting* dengan *flowable microconcrete* dilakukan sesuai metode kerja baku TKI No.C-022/E15142/2011 Rev.0
5. Material perbaikan *flowable microconcrete* dapat *bonding* dengan baik, tidak ada indikasi retak, tidak ada indikasi porus (*honeycomb*) dan kuat tekan permukaan pada usia 3 hari telah mencapai 350 kg/cm²

6. Seluruh rangkaian pekerjaan perbaikan telah selesai dilakukan dengan baik, aman, mentaati peraturan keselamatan kerja dan tidak terjadi *accident* (*zero incident*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi material yang dipergunakan pada pekerjaan perbaikan pengelupasan (*laminat*) dan rompal (*spalling*) beton ini adalah material *flowable microconcrete EMACO S322 M*. Material *microconcrete* ini dipilih karena memiliki usia kuat tekan awal yang tinggi, memiliki kuat tekan yang tinggi, memiliki sifat sebagai bahan yang mengalir, bersifat *dual expansion* untuk mengantisipasi gejala retak-susut, memiliki daya lekat yang baik pada permukaan beton eksisting, memiliki kemampuan memadatkan diri sendiri tanpa diperlukan vibrasi, memiliki tingkat permeabilitas yang rendah, memiliki tingkat kemudahan pengerjaan yang tinggi, dalam kondisi *flowable* tidak terjadi *bleeding*.

Hasil kuat tekan (*compressive strength*) material *microconcrete EMACO S322 M* pada usia terpasang 24 jam adalah 30,5 N/mm², pada usia 3 hari 45 N/mm² pada usia 7 hari 60 N/mm² dan pada usia 28 hari mencapai 71 N/mm². Hasil uji *flexural strength* pada usia 28 hari adalah 11,5 N/mm², hasil uji *tensile strength* pada usia 28 hari adalah 6,0 N/mm² dan memiliki *initial settingtime* pada 4-5 jam.

Pekerjaan *repair grouting* dengan *flowable microconcrete* dilakukan sesuai metode kerja baku Pertamina RU V TKI No.C-022/E15142/2011 Rev.0 [7] dengan tahapan kerja meliputi *mapping* seluruh area kerusakan laminasi dan *spalling*, penentuan spesifikasi material perbaikan, penyiapan peralatan kerja, menyiapkan tenaga kerja, menyiapkan metode kerja dan indikator ukuran hasil pekerjaan. Metode kerja *grouting* diawali dengan *chipping* permukaan beton eksisting setebal 1,5 Inch atau hingga mencapai inti beton yang masih baik, pembersihan permukaan dengan angin bertekanan, menjenuhkan permukaan beton eksisting dengan water jeting, pelaburan permukaan dengan *bonding agent*, pemasangan tulangan pengganti, pemasangan bekisting dan kekuatannya, pelaksanaan *grouting*, pekerjaan *curing*, melepas bekisting dan pembersihan *detail construction*.

Dengan uraian spesifikasi material, metode kerja dan hasil perbaikan diatas dapat dibuat simpulan bahwa faktor dan penyebab pengelupasan selimut beton yang tidak

bonding dengan baik dan terjadinya spalling akibat degradasi metareial beton telah dapat diatas dengan baik menggunakan material perbaikan *flowable microconcrete* EMACO S322 M produk BASF Indonesia. Dengan sifatnya yang kedap air, dapat menjangkau bagian detail konstruksi yang tidak dapat terjangkau oleh mortar beton konvensional dan dapat memadat dengan sendirinya tanpa bantuan alat pemadat maka spesifikasi material ini cocok dan sesuai digunakan sebagai material perbaikan laminasi dan spalling beton.

Hasil perbaikan beton dengan metode grouting dengan *flowable microconcrete* ini juga dapat memberikan manfaat berdasarkan aspek panca mutu sebagai berikut, secara *quality* (Q) struktur beton telah diperbaiki dengan bentuk, dimensi dan konfigurasi sesuai standar. Dari aspek *cost* (C) dengan perbaikan maka telah terhindari dari potensi terjadi kegagalan peralatan operasi kilang dengan kerugian Rp 500 Juta. Dari aspek *delivery* (D) adalah terhindar dari kesulitan dalam penentuan spesifikasi material perbaikan beton eksisting yang cocok dan sesuai. Dari aspek *safety* (S) adalah kondisi struktur beton pada *safe condition* dan telah tersedia prosedur kerja baku perbaikan beton dengan TKI No.C-022/E15143/2011-S0. Dari aspek *moral* (M) adalah bahwa pekerja terlibat pekerjaan menjadi lebih konfiden karena inovasi yang dilakukan dapat mengatasi permasalahan dilingkungannya dengan baik dan aman.

Metode perbaikan kerusakan pengelupasan dan rompal beton dengan spesifikasi material *flowable microconcrete* dan menggunakan metode standar kerja baku TKI No.C-022/E15143/2011-S0 [7] telah diaplikasikan untuk pekerjaan struktur bangunan beton dermaga, strtur bangunan gedung, pondasi peralatan kilang, *reservoir*, struktur *pipe rack* dan penopang peralatan kilang lainnya di di kilang Pertamina RU V serta telah terbukti berhasil dengan baik dan aman hingga saat ini.

4. KESIMPULAN

1. Spesifikasi material *microconcrete* EMACO S322 M terbukti sesuai dan cocok digunakan untuk perbaikan beton eksisting yang mengalami pengelupasan (*laminata*) dan rompal (*spalling*)
2. Metode kerja perbaikan dengan standar Pertamina TKI No.C-022/E15143/2011-S0 terbukti dapat diaplikasi dengan baik dan aman mengatasi masalah kerusakan

pengelupasan (*laminata*) dan rompal (*spalling*).

5. SARAN

1. Spesifikasi material *microconcrete* EMACO S322 M yang terbukti sesuai dan cocok digunakan untuk perbaikan *laminata* dan *spalling* agar dapat dimasukkan dalam daftar *approval material list* (AML) PT. Pertamina Corporate
2. Metode kerja standar Pertamina RU V TKI No.C-022/E15143/2011-S0 Rev.0 dapat direplikasi untuk pekerjaan perbaikan sejenis dilingkungan Pertamina, anak perusahaan Pertamina dan perusahaan oil and gas lainnya.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penelitian ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Rahendrafedy selaku *Stationary Inspection Engineer Section Head* PT.Pertamina RU V Balikpapan, Bapak Agung Wahyono dari PT. Mitra Lindung Sarana Samarinda dan Bapak Priyo Agung Widodo yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan untuk kelancaran penelitian ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI 224.1R-07, 2007, *Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures*, American Concrete Institute, Farmington Hills, U.S.A.
- [2] Michael Raupach, 2008, *Concrete Repair to EN 1504 Diagnosis, Design, Principles and Practice*, RWTH Aachen University, Institute for Buildings Material Research, Milan
- [3] Sulardi, 2018, *Metode Perbaikan Laminasi Selimut Dengan TKI No.C-023/E15143/2011-S0*, Portal Komet Sharing Knowledge PT.Pertamina: http://ptmkpwab81.pertamina.com/komet/Search_Result.aspx?ptm.Kodefikasi.No.180702001
- [4] Sulardi, 2018, *Metode Perbaikan Spalling Struktur Beton Eksisting Dengan TKI No.C-022/E15143/2011-S0*, Portal Komet Sharing Knowledge PT. Pertamina : http://ptmkpwab81.pertamina.com/komet/Search_Result.aspx?ptm.Kodefikasi.No.180702003
- [5] Sulardi, 2015, *Mengatasi Kesulitan Aplikasi Mortar Beton Mutu Tinggi Dengan Spesifikasi Material Rapid*

Setting High Strength Microconcrete Repair Mortar Di Pertamina RU V Balikpapan, Risalah Sharing Knowledge PT. Pertamina RU V, Portal Komet : http://ptmkpwab81.pertamina.com/komet/Search_Result.aspx?ptm.Kodefikasi_No.AC6208

- [6] Sulardi, 2011, *Analisis Panca Mutu Metode Perbaikan Struktur Bangunan Dermaga*, Thesis Magister Teknik, Universitas 17 Agustus 1945, Surabaya
- [7] TKI No.C-022/E15143/2011-S0 Rev.0, 2011, *Metode Pelaksanaan Pekerjaan dan Pemeriksaan hasil Perbaikan Spalling Dengan Metode Grouting Microconcrete*, PT.Pertamina RU V, Balikpapan
- [8] TKI No.C-023/E15143/2011-S0 Rev.0, 2011, *Metode Pelaksanaan Pekerjaan dan Pemeriksaan Hasil Perbaikan Pengelupasan Selimut Beton Eksisting Dengan Metode Grouting Microconcrete*, PT.Pertamina RU V, Balikpapan