

PENGARUH PENGGUNAAN NATRIUM TRIPOLYPHOSPHATE ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) TERHADAP SIFAT FISIK BETON COR BAWAH AIR BERLUMPUR

Fitri Lestari¹⁾, Ismeddiyanto²⁾, Andre Novan²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas Km 12.5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : fitri.lestari5875@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Concrete that used for underwater construction should be proportioned so that the concrete is capable to consolidate by its self weight and develop the strength. The aim of this research is to purpose the use of natrium tripolyphosphate as an additive to concrete mix that will be used for underwater construction. The amount of natrium tripolyphosphate added to the concrete mix was derived from three trial mix, namely trial mix I, II and III. Based on trial mix I natrium tripolyphosphate can used for underwater construction and the best percentage of filler is 15% by weight of fine aggregate, while based on trial mix II all of concrete had segregation and the concrete with 10% of natrium tripolyphosphate had the least segregation and based on trial mix III natrium tripolyphosphate can diluted the concrete mix and helps harden the mixture. The result showed that the slump flow value for concrete with 10% of natrium tripolyphosphate was 673,3 mm, this value fit the slump value suggested by ASTM-C-161, that slump for SCC should be within the range of 550 mm and 850 mm. The mud rates obtained from the test result using centrifuge and measurement were 28,62% and 26,87%. The values for porosity and permeability in normal water at 28 days are 21,97% and $1,04 \times 10^{-9}$ m/s, and while the values for porosity and permeability in muddy water at 28 days are 23,27% and $1,61 \times 10^{-9}$ m/s.

Keywords: Underwater concrete, natrium tripolyphosphate, muddy water, physical properties

A. PENDAHULUAN

Kemajuan pada bidang konstruksi beton didorong oleh perkembangan ilmu dan teknologi. Kemajuan tersebut dapat dilihat dengan pemanfaatan beton pada berbagai jenis pekerjaan dan lokasi pengecoran. Lokasi pengecoran tersebut dapat di daratan dan di bawah air.

Pekerjaan konstruksi di bawah air tidak selamanya berada pada lingkungan air normal. Pekerjaan konstruksi bawah air akan sangat memungkinkan berada dalam lingkungan agresif. Lingkungan agresif yang dimaksud adalah lingkungan yang memiliki air di luar batasan

normalnya, seperti terlalu asam atau basa serta memiliki kadar organik tinggi. Kepulauan Riau khususnya Kota Pekanbaru adalah salah satu wilayah yang dikelilingi oleh lingkungan agresif. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya ditemukan rawa-rawa bergambut dan sungai-sungai yang memiliki air berlumpur.

Pengecoran beton yang dilakukan di bawah air pada dasarnya dilaksanakan dengan menuangkan adukan beton ke bidang cor yang sudah diatur. Pengecoran beton di bawah air tidak memungkinkan

untuk terjadinya pemadatan secara konvensional, sehingga diperlukan beton segar yang mampu mengalir dan memadat dengan memanfaatkan berat sendiri. Konsekuensi dari beton bertulang yang tidak sempurna pematatannya, di antaranya dapat menurunkan kuat tekan beton dan impermeabilitas beton sehingga mudah terjadi korosi pada besi tulangan (Sugiharto dan Kusuma, 2001).

Natrium tripolyphosphate adalah zat kimia yang biasa digunakan untuk mengenyalkan adonan bakso. *Natrium tripolyphosphate* ini berbentuk serbuk putih dan merupakan material anorganik dengan rumus kimia $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$. *Natrium tripolyphosphate* dapat mengikat kelebihan air dalam adonan bakso sehingga bakso tidak lembek dan terasa kenyal. Penambahan *natrium tripolyphosphate* dengan konsentrasi 0,1% sampai 0,2% sudah cukup bagus untuk mengenyalkan bakso (Legowo, 2012).

Berdasarkan sifat tersebut diharapkan campuran beton yang ditambah *natrium tripolyphosphate* tidak akan terlepas ketika dilakukan pengecoran dalam air. Selain itu, beton ini diharapkan dapat menjadi beton yang ramah lingkungan, mengingat bahan tambah yang digunakan adalah senyawa yang biasa digunakan pada makanan.

Mengingat kondisi Riau khususnya Kota Pekanbaru yang memiliki luas lahan gambut yang besar dan tersebar merata, menjadi inspirasi untuk melakukan penelitian konstruksi bawah air berlumpur. Maka penelitian ini akan membahas mengenai pengecoran beton di dalam air menggunakan bahan tambah *natrium tripolyphosphate* untuk lingkungan pengecoran air berlumpur.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Pengecoran Beton Bawah Air

Pengecoran beton di bawah air dikenal dengan istilah lain yaitu *under water concrete*. Beton bawah air adalah salah satu jenis beton berkinerja tinggi. Beton berkinerja tinggi mengacu pada beton yang memiliki kekuatan, kemudahan adukan dan kemampuan layan yang baik. Keberhasilan pengecoran beton di dalam air dapat dicapai apabila perhatian yang cukup diberikan pada teknik desain dan penempatan (Heniegal dkk, 2015).

Beton yang dicor ke dalam air dicampur terlebih dahulu di permukaan dan kemudian ditempatkan di bawah air dengan metode yang telah disepakati. Metode yang digunakan ketika proses penuangan cor adalah dengan menggunakan alat bantu guna mempermudah pengaplikasiannya. Mengingat pemadatan beton di bawah air tidak dapat dilakukan. Dengan demikian, beton tersebut dapat memadat dengan memanfaatkan berat sendirinya.

B.2 Beton

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*).

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (Mulyono, 2003).

B.3 Material Penyusun Beton

Bahan penyusun beton meliputi air, semen *portland*, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang

penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton (Tjokrodimuljo, 2007).

B.3.1 Semen *portland*

Portland Cement (PC) atau semen adalah bahan yang bertindak sebagai bahan pengikat agregat, jika dicampur dengan air semen menjadi pasta. Dengan proses waktu dan panas, reaksi kimia akibat campuran air dan semen menghasilkan sifat perkerasan pasta semen. Penemu semen (*Portland Cement*) adalah Joseph Aspdin pada tahun 1824, seorang tukang batu kebangsaan Inggris. Dinamakan semen *Portland*, karena awalnya semen dihasilkan mempunyai warna serupa dengan tanah liat alam di Pulau *Portland*.

Portland Composite Cement (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan antara terak semen *portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen *portland* komposit (SNI 15-7064-2004).

B.3.2 Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran

agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan. Dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*), agar dapat dicapai suatu kececekan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton yang sudah mengeras, sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*).

B.3.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Pemilihan agregat merupakan bagian yang sangat penting karena karakteristik agregat akan sangat mempengaruhi sifat-sifat mortar atau beton (Tjokrodimuljo, 2007). Agregat juga adalah suatu bahan yang berasal dari butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen.

B.4 *Natrium Tripolyphosphate*

Natrium tripolyphosphate disingkat menjadi STPP umumnya digunakan dalam pembuatan semen tahan api (Babkina et al., 2000; Goberis dan Stonis, 2004; Goberis et al., 2005) dan dalam pemrosesan keramik tingkat lanjut (Papoet al., 2002; Slyusar et al., 2008).

STPP diperjual belikan dalam kemasan gram-graman atau dalam kemasan besar 20-25 kilogram. Dalam peraturan menteri perdagangan tentang ketentuan impor *natrium tripolyphosphate* disebutkan bahwa, *natrium tripolyphosphate* (STPP) adalah senyawa anorganik dengan rumus kimia $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, berwujud serbuk kristal putih, tidak berbau dan larut dalam air, digunakan sebagai pelunak, pengawet makanan dan *texturizer*.

Ditinjau dari fungsinya STPP terbagi menjadi dua yaitu STPP *technical grade* dan STPP *food grade*. STPP *technical grade* digunakan dalam industri sabun dan pembersih keramik, detergen serta pengkilat produk besi. STPP *food grade* digunakan khusus untuk industri makanan. STPP *food grade* ini biasa digunakan untuk bahan pengental bakso dan mie, bahan penjaga kesegaran ikan, udang dan cumi selama proses pendistribusian, bahan pengental dan penjaga struktur *nugget*, serta untuk industri kerupuk.

B.5 Air Berlumpur

Air yang mengandung lumpur tidak baik untuk digunakan pada pekerjaan konstruksi-konstruksi beton, karena lumpur dapat mengakibatkan berkurangnya daya lekat beton tersebut. Akibatnya, kekuatan beton akan menurun dan pada akhirnya akan mengakibatkan kegagalan dari konstruksi tersebut.

Air yang berwarna kecoklatan dan berada di tempat yang tidak mengalir biasanya mengandung lumpur. Selain itu lumpur dapat diketahui keberadaannya apabila daerah pinggiran tempat tergenangnya air memiliki tanah lembab dan lunak.

B.6 Abu Batu

Abu batu adalah bahan bangunan yang merupakan hasil dari proses penghancuran bongkahan batu yang difungsikan untuk kombinasi beton. Penggunaan serbuk abu batu diharapkan dapat meningkatkan viskositas beton segar sekaligus mengurangi kecenderungan terjadinya segregasi dan *bleeding* pada beton segar. Selanjutnya setelah beton mengeras diharapkan serbuk abu batu dapat mengisi rongga-rongga yang ada pada beton, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton yang dihasilkan. Abu batu merupakan hasil sampingan dalam produksi batu pecah. Abu batu yang dapat digolongkan sebagai *filler* adalah abu batu yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,125 mm.

B.7 Penuangan/Pengecoran Beton dalam Air

Sebelum pelaksanaan penuangan/ pengecoran beton dalam air terlebih dahulu dapat ditambahkan semen sebesar 10% untuk menghindari kehilangan pada saat penuangan (Mulyono, 2003). Metode pengecoran yang digunakan harus mampu melindungi beton segar tersebut dari arus yang dapat menyebabkan kehilangan semen dan menambah faktor air semen (McLeish, 1994). Metode penuangan beton di dalam air diantaranya adalah dengan menggunakan karung, bak khusus, tremi, katup hidro, beton prasusun dan pemompaan.

B.8 Pemeriksaan *Properties* Agregat

Pemeriksaan *properties* terhadap agregat yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat.
2. Pemeriksaan kadar air agregat.

3. Pemeriksaan berat volume agregat.
4. Pemeriksaan keausan agregat.
5. Pemeriksaan kadar lumpur agregat.
6. Pemeriksaan kadar organik agregat.
7. Pemeriksaan analisa saringan.

B.9 Sifat Fisik Beton

1. Pengujian *workability* beton

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan beton untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Sifat kemudahan dikerjakan pada beton segar dipengaruhi oleh: (1) Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang dipakai, semakin mudah beton segar dikerjakan tetapi jumlah air yang banyak dapat menurunkan kuat tekan beton. (2) Penambahan semen ke dalam adukan. Makin banyak jumlah semen, maka beton segar makin mudah dikerjakan. (3) Gradasi agregat halus dan kasar. Apabila agregat yang digunakan mempunyai gradasi sesuai dengan persyaratan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan. (4) Bentuk butiran agregat. Bentuk butiran agregat bulat akan lebih mempermudah pengerjaan beton. (5) Penggunaan *admixture* dan bahan tambah mineral.

2. Pengujian porositas beton

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori (volume yang ditempati oleh fluida) terhadap volume total beton (volume benda uji). *Range* pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti faktor air semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai slump, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar kuat tekan atau mutu

beton, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil.

Pada umumnya material beton mutu tinggi adalah sama dengan beton normal, dengan nilai porositas beton yang terjadi adalah cukup kecil sehingga didapatkan tingkat kepadatan yang cukup tinggi. Nilai porositas beton ditentukan oleh faktor air semen (fas) dari pasta. Semakin kecil fas, maka semakin kecil porositasnya.

$$\text{Porositas} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

W_1 = Berat sampel setelah dioven (kg)

W_2 = Berat sampel setelah direndam/jenuh ditimbang di udara (kg)

W_3 = Berat sampel setelah jenuh direndam/ditimbang di dalam air (kg)

3. Pengujian permeabilitas beton

Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton ringan dilalui oleh air. Pasta semen yang telah mengeras tersusun atas banyak partikel, dihubungkan antar permukaan yang jumlahnya relatif lebih kecil dari total permukaan partikel yang ada. Air memiliki viskositas yang tinggi namun demikian dapat bergerak dan merupakan bagian dari aliran yang terjadi (Neville, 1995). Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Kata *permeable* berarti dapat dilalui air, sedangkan *impermeable* berarti sebaliknya.

Koefisien permeabilitas untuk uji aliran dihitung dengan rumus Darcy:

$$\frac{1}{A} \frac{dq}{dt} = k \cdot \frac{dH}{L} \quad (2)$$

Dimana :

- $\frac{dq}{dt}$: kecepatan aliran air (m^3/s)
K : koefisien permeabilitas (m/s)
A : luas penampang sampel (m^2)
L : kedalaman penetrasi (m)
dH : tinggi jatuh air (m)

B.10 Metode Regresi

Metode dengan analisis regresi adalah metode yang digunakan untuk mengukur pengaruh variabel bebas terhadap variabel tergantung. Koefisien determinasi pada regresi linear sering diartikan sebagai seberapa besar kemampuan semua variabel bebas dalam menjelaskan *varians* dari variabel terikatnya. Secara sederhana koefisien determinasi dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi (R). Sebagai contoh, jika nilai R adalah sebesar 0,80 maka koefisien determinasi (R^2) adalah sebesar $0,80 \times 0,80 = 0,64$. Berarti kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan *varians* dari variabel terikatnya adalah sebesar 64,0%. Terdapat 36% ($100\% - 64\%$) *varians* variabel terikat yang dijelaskan oleh faktor lain. Berdasarkan interpretasi tersebut, maka tampak bahwa nilai R^2 adalah antara 0 sampai dengan 1. Semakin dekat nilai R^2 dengan 1 menandakan kedua variabel memiliki hubungan yang semakin baik atau semakin kuat.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pemeriksaan *Properties* Agregat

Pemeriksaan agregat yang dilakukan adalah pemeriksaan agregat kasar dan halus. Sampel yang diuji diambil secara acak dari bahan baku. Pemeriksaan agregat tersebut berdasarkan Standar Nasional Indonesia, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Standar Pengujian *Properties*

| No | Pengujian | Acuan |
|----|--|------------------|
| 1 | Berat jenis dan penyerapan agregat halus | SNI 03-1970-1990 |
| 2 | Berat jenis dan penyerapan agregat kasar | SNI 03-1969-1990 |
| 3 | Kadar air agregat | SNI 03-1971-1990 |
| 4 | Berat volume agregat | SNI 03-4804-1998 |
| 5 | Kandungan lumpur | SNI 03-2461-2002 |
| 6 | Kandungan organik | SNI 03-2816-1992 |
| 7 | Keausan agregat | SNI 03-2417-1991 |

C.2 Pemeriksaan Air Berlumpur

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur yang terkandung pada air lingkungan pengecoran. Pemeriksaan air berlumpur ini menggunakan dua cara yaitu dengan menggunakan alat *centrifuge* dan diukur menggunakan mistar. Bahan yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah air berlumpur.

C.3 Pelaksanaan dan Pembuatan Benda Uji

C.3.1 Perencanaan pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji untuk penelitian ini adalah pembuatan benda uji berupa beton normal yang ditambahkan dengan STPP. Pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampur bahan berupa semen dan agregat serta bahan tambah. Bahan-bahan kering dicampur lebih dahulu kemudian ditambahkan air dan dicampur terus menerus sampai

campuran homogen dan siap untuk dicetak.

Pembuatan sampel benda uji pada penelitian ini adalah sebanyak 12 buah sampel untuk dua variasi air. Variasi pertama adalah air normal dan variasi kedua adalah air berlumpur. Sampel akan diuji jika telah mencapai umur 28 hari. Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik, Universitas Riau. Rincian benda uji yang akan dibuat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah Benda Uji

| No. | Jenis air | Jumlah Sampel | |
|-----|-----------|---------------|---------------|
| | | Porositas | Permeabilitas |
| 1 | Normal | 3 | 3 |
| 2 | Berlumpur | 3 | 3 |
| | Jumlah | 6 | 6 |

C.3.2 Trial mix

Sebelum pengujian dilaksanakan dilakukan *trial mix* terlebih dahulu pada air normal. *Trial mix* pada pengujian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Nilai fas rencana pada *trial mix* ini adalah 0,37. *Trial mix* ini berguna untuk mendapatkan komposisi campuran beton yang terbaik (memenuhi syarat) jika dilakukan pengecoran bawah air. Syarat yang harus dipenuhi oleh campuran adalah menghasilkan beton yang mampu memadat sendiri. Berat STPP diperoleh dari mengalikan persentase STPP yang digunakan dengan berat semen. Dari hasil *trial mix* ini diperoleh komposisi campuran terbaik adalah dengan 10% STPP dan 15% *filler*. Selanjutnya komposisi ini digunakan untuk pengecoran beton bawah air pada lingkungan berlumpur.

C.3.3 Perencanaan *mix design*

Desain campuran (*mix design*) beton menggunakan metode ACI dengan nilai fas rencana 0,37. *Mix design* benda uji adalah *mix design* untuk campuran beton normal. Benda uji beton berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm digunakan untuk pengujian porositas beton. Benda uji kubus dimensi 15x15x15 cm digunakan untuk pengujian permeabilitas beton. Pengujian material beton dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam perencanaan beton.

C.3.4 Pengadukan campuran dan pencetakan sampel

Pengadukan material dilakukan untuk memperoleh komposisi campuran yang homogen. Pengadukan campuran dimulai dengan mencampur agregat kasar, agregat halus dan abu batu terlebih dahulu. Kemudian setelah homogen ditambahkan semen, air dan terakhir STPP yang sudah dilarutkan.

Pengujian *slump* beton dilakukan setelah pencampuran beton selesai untuk mengetahui kemudahan pekerjaan (*workability*) dari campuran beton tersebut. Campuran tersebut dituangkan kedalam cetakan silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm yang telah tergenang air berkadar lumpur. Pengisian cetakan dilakukan tanpa melakukan pemadatan secara konvensional.

C.3.5 Perawatan benda uji

Perawatan benda uji (*curing*) dilakukan dengan cara merendam benda uji yang telah dibuat di dalam air berlumpur dan air normal, dimana benda uji tersebut telah berumur satu hari (24 jam). Perendaman benda uji dilakukan di dalam bak perendaman selama umur pengujian dan dikeluarkan satu hari (24

jam) sebelum pengujian dilakukan. Perawatan benda uji bertujuan untuk menjaga kelembaban agar proses hidrasi berlangsung sempurna. Penelitian ini menggunakan cara merendam beton di dalam air untuk merawat beton. Perawatan benda uji direndam di bak perendam Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik, Universitas Riau untuk beton cor di dalam air normal dan direndam pada kontainer untuk beton cor dalam air berlumpur.

C.4 Pelaksanaan Pengujian Beton

Untuk mengetahui salah satu karakteristik sifat fisik beton, maka dilakukan pengujian terhadap sampel beton yang telah mengeras. Benda uji harus dikeluarkan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian, agar benda uji tidak dalam keadaan basah.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi agregat halus. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

| No. | Jenis pengujian | Hasil pengujian | Standar Spesifikasi |
|-----|--|-----------------|---------------------|
| 1 | Modulus kehalusan | 1,9 | 1,5-3,8 |
| 2 | Kadar air (%) | 0,4 | 3-5 |
| 3 | Berat jenis (gr/cm^3) | | |
| | a. <i>Apparent specific gravity</i> | 2,69 | 2,58-2,83 |
| | b. <i>Bulk specific gravity on dry</i> | 2,64 | 2,58-2,83 |

Tabel 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus (Lanjutan)

| | | |
|--|------|-------------|
| c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i> | 2,66 | 2,58-2,83 |
| d. <i>Absorption (%)</i> | 0,6 | 2-7 |
| Berat volume | | |
| a. Kondisi padat | 1,64 | 1,4-1,9 |
| b. Kondisi gembur | 1,45 | 1,4-1,9 |
| Kadar organik | No.2 | \leq No.3 |
| Kadar Lumpur (%) | 3,65 | <5 |

D.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan spesifikasi agregat kasar. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

| No. | Jenis pengujian | Hasil pengujian | Standar Spesifikasi |
|-----|--|-----------------|---------------------|
| 1 | Modulus kehalusan | 5,96 | 5-8 |
| 2 | Kadar air (%) | 0,4 | 3-5 |
| 3 | Berat jenis (gr/cm^3) | | |
| | a. <i>Apparent specific gravity</i> | 2,68 | 2,58-2,83 |
| | b. <i>Bulk specific gravity on dry</i> | 2,60 | 2,58-2,83 |
| | c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i> | 2,63 | 2,58-2,83 |
| | d. <i>Absorption (%)</i> | 1,16 | 2-7 |
| 4 | Berat volume | | |
| | a. Kondisi padat | 1,42 | 1,4-1,9 |
| | b. Kondisi gembur | 1,29 | 1,4-1,9 |
| 5 | Ketahanan aus (%) | 26,22 | <40 |

D.3 Hasil Trial Mix Benda Uji

Trial mix pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan:

1. *Trial mix* I

Trial mix ini dilaksanakan dengan mencampurkan semen, pasir, filler dan *natrium tripolyphosphate*. *Trial mix* ini dilakukan untuk mencari komposisi *filler* terbaik pada campuran. Banyaknya filler diperoleh dari mengalikan persentase rencana filler dengan berat agregat halus, sedangkan banyaknya *natrium tripolyphosphate* diperoleh dari mengalikan persentase rencana *natrium tripolyphosphate* dengan berat semen.

Slamet Widodo dkk (2014) telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah abu batu sebagai bahan pengisi dalam produksi *Self Compacting Concrete* (SCC). Penelitian ini membahas mengenai hubungan variasi persentase abu batu terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton apabila dilakukan penambahan atau substitusi terhadap berat semen. Persentase abu batu yang digunakan adalah 0,00%, 12,5%, 25,0% dan 37,5%. Hasil yang didapat adalah penggunaan abu batu sebagai *filler* dalam produksi SCC dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 3,5%, pada penambahan abu batu dengan takaran 25% berat semen. Sedangkan penggunaan abu batu sebagai *filler* dengan cara substitusi (*partial replacement*) cenderung mengurangi kekuatan tekan SCC.

Berdasarkan penelitian tersebut maka persentase *filler* yang digunakan pada *trial mix* ini lebih kecil dari 25% dengan metode penambahan. Persentase rencana *filler* yang digunakan pada *trial mix* ini adalah 10%, 15% dan 20%. Sedangkan persentase *natrium tripolyphosphate* yang ditambahkan dengan cara coba-coba. Pada tahap *trial mix* ini, jumlah *natrium tripolyphosphate* yang digunakan adalah 7%, 14% dan 21% dari berat semen. *Natrium tripolyphosphate* juga bersifat

sebagai bahan tambah pada campuran ini. Benda uji pada *trial mix* pertama ini dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Kombinasi Persentase *Filler* dan *Natrium Tripolyphosphate* per Masing-masing Benda Uji.

| Filler | 10% | 15% | 20% |
|--------------------------------------|------|------|------|
| $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ | | | |
| 7% | BU 1 | BU 4 | BU 7 |
| 14% | BU 2 | BU 5 | BU 8 |
| 21% | BU 3 | BU 6 | BU 9 |

*Ket: BU = Benda uji

Semen, pasir, *filler* dan *natrium tripolyphosphate* dicampurkan terlebih dahulu, kemudian ditambahkan air dan diaduk sampai homogen. Setelah homogen, campuran dituang ke dalam gelas plastik berisi air kemudian didiamkan selama 24 jam. Langkah ini dilakukan sama pada setiap benda uji. Setelah 24 jam dilakukan pengamatan yaitu segregasi dan pengerasan benda uji.

Hasil yang diperoleh dari *trial mix* ini adalah (1) Semua benda uji tidak mengalami segregasi, (2) Hanya benda uji 4 dan 5 yang mengeras (3) Benda uji dengan persentase *natrium tripolyphosphate* 21% tidak ada yang mengeras. Berdasarkan hasil *trial mix* ini dapat disimpulkan bahwa *natrium tripolyphosphate* dapat membantu proses pengerasan campuran dalam air, serta persentase *filler* yang terbaik diperoleh sebesar 15%. Hasil yang diperoleh pada *trial mix* pertama ini dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Hasil *Trial Mix* I

| Benda Uji | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mengeras | x | x | x | √ | √ | x | x | x | x |
| Tidak Mengeras | √ | √ | √ | x | x | √ | √ | √ | √ |

*Ket: (√) = ya, (x) = tidak

2. Trial mix II

Trial mix ini dilaksanakan dengan mencampurkan semen, pasir, kerikil, dan bahan tambah (*filler* dan *natrium tripolyphosphate*). Benda uji rencana pada *trial mix* ini sebanyak 5 buah. Persentase *filler* yang digunakan adalah 15% dari berat agregat halus berdasarkan hasil *trial mix* pertama. Berdasarkan hasil dari *trial mix* pertama dimana penambahan *natrium tripolyphosphate* sebesar 7% dan 14% dari berat semen menyebabkan benda uji dapat mengeras. Maka dirumuskan persentase *natrium tripolyphosphate* pada *trial* ini kecil sama 14% dengan interval penurunan sebesar 2% per masing-masing benda uji. Adapun persentase *natrium tripolyphosphate* tersebut adalah 6%, 8%, 10%, 12% dan 14%. *Natrium tripolyphosphate* berupa serbuk pada *trial mix* ini langsung dicampurkan dengan semen, pasir, kerikil, abu batu dan air. Hasil yang didapat dari *trial mix* ini adalah semua beton mengalami segregasi, beton dengan persentase *natrium tripolyphosphate* sebesar 10% memiliki segregasi yang paling sedikit. Hasil yang diperoleh pada *trial mix* kedua ini dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Hasil *Trial Mix* II

| No | Persentase STPP (%) | M | TM | S | TS |
|----|---------------------|---|----|---|----|
| 1 | 6 | √ | x | √ | x |
| 2 | 8 | √ | x | √ | x |
| 3 | 10 | √ | x | √ | x |
| 4 | 12 | √ | x | √ | x |
| 5 | 14 | √ | x | √ | x |

*Ket: M = Mengeras
 TM= Tidak Mengeras
 S = Segregasi
 TS = Tidak Segregasi
 (√) = ya, (x) = tidak

3. Trial mix III

Trial mix ini dilaksanakan dengan mencampurkan semen, pasir, kerikil, dan

bahan tambah (*filler* dan *natrium tripolyphosphate*). Benda uji rencana pada *trial mix* ini adalah sebanyak 3 buah benda uji. Persentase *filler* yang digunakan adalah 15% berdasarkan hasil *trial mix* pertama. Sedangkan untuk persentase *natrium tripolyphosphate* dibuat beberapa persentase dimulai dari 5%, 10% dan 15%. Persentase *natrium tripolyphosphate* yang digunakan berdasarkan hasil *trial mix* kedua, dimana beton dengan persentase *natrium tripolyphosphate* sebesar 10% menghasilkan beton yang paling baik. Interval penurunan untuk persentase *natrium tripolyphosphate* direncanakan sebesar 5%. Perbedaan lainnya dengan *trial mix* kedua adalah *natrium tripolyphosphate* dilarutkan terlebih dahulu dan kemudian dicampurkan dengan semen, pasir, kerikil, abu batu dan air. Hasil yang didapat dari *trial mix* ini adalah (1) semua benda uji tidak mengalami segregasi (2) *Natrium tripolyphosphate* setelah dilarutkan dapat mengencerkan campuran beton sekaligus dapat membantu proses pengerasan beton dalam air. Setelah dilakukan pengujian kuat tekan beton umur 28 hari, beton dengan persentase *natrium tripolyphosphate* 10% adalah beton yang memiliki kuat tekan maksimum.

Hasil yang diperoleh pada *trial mix* ketiga ini dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Hasil *Trial Mix* III

| No | Persentase STPP (%) | M | TM | S | TS |
|----|---------------------|---|----|---|----|
| 1 | 5 | √ | x | x | √ |
| 2 | 10 | √ | x | x | √ |
| 3 | 15 | √ | x | x | √ |

*Ket: M = Mengeras
 TM= Tidak Mengeras
 S = Segregasi
 TS = Tidak Segregasi
 (√) = ya, (x) = tidak

D.4 Hasil Pengujian Air Berlumpur

Secara visual air di muara Sungai Duku ini bewarna cokelat. Hal ini menandakan adanya lumpur di dalam air tersebut. Lumpur yang ada dapat mengurangi lekatan antara agregat dan pasta semen. Nilai kadar lumpur menandakan kandungan lempung atau kotoran yang terdapat pada air. Kandungan lumpur dalam air lingkungan pengecoran yang telah diuji dengan menggunakan alat *centrifuge* adalah sebesar 27,18%. Sedangkan pengukuran dengan menggunakan mistar didapatkan persentase lumpur dalam air lingkungan pengecoran sebesar 26,87%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menggunakan alat *centrifuge* dan mistar, maka dapat disimpulkan bahwa air yang digunakan untuk pengecoran ini memiliki kadar lumpur yang cukup tinggi.

D.5 Hasil Pengujian Sifat Fisik Beton

D.5.1 Hasil pengujian *workability* beton

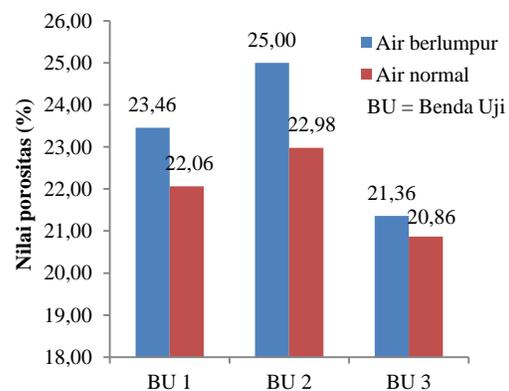
Nilai *slump* digunakan untuk menentukan *workability* beton cor di dalam air baik dicor di dalam air berlumpur maupun dicor di dalam air normal. *Workability* adalah kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan beton segar. Semakin besar nilai *slump* berarti adukan beton encer dan ini berarti beton semakin mudah dikerjakan. Penelitian ini merencanakan nilai *slump* untuk campuran beton normal sebesar 75 – 100 mm. Kemudian dengan nilai *slump* ini didapat *mix design* untuk campuran beton normal. Jika *mix design* ini digunakan sebagai *mix design* untuk pengecoran di dalam air maka tentu beton tidak memenuhi syarat. Beton dengan *slump* rencana 75 – 100 mm tidak akan bisa mengalir dan memadat dengan sendirinya. Pengecoran di dalam air membutuhkan nilai *slump flow* agar

diketahui beton tersebut dapat memenuhi syarat pengecoran dalam air.

Penambahan *sodium tripolyphosphate* (STPP) yang telah diencerkan membuat campuran beton normal menjadi campuran beton yang bersifat seperti beton SCC (*self compacting concrete*). Nilai rata-rata *slump flow* yang didapat setelah ditambahkan STPP adalah sebesar 67,33 cm. Nilai ini memenuhi standar spesifikasi khusus interim beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete, SCC*) yang mengacu pada ASTM-C-1611, standar nilai *slump flow* dibatasi minimum 550 mm dan maksimum 850 mm.

D.5.2 Hasil pengujian porositas beton

Porositas merupakan salah satu sifat beton yang berpengaruh terhadap kualitas beton di lingkungan berlumpur. Reaksi antara beton dengan air berlumpur dapat menyebabkan perubahan kuat tekan beton yang mengindikasikan terjadinya perubahan persentase porositas beton tersebut. Hal ini disebabkan oleh semakin rapat atau renggangnya angka pori dan ikatan dalam beton. Hasil pengujian porositas pada air normal dan air berlumpur masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hasil Pengujian Porositas Beton

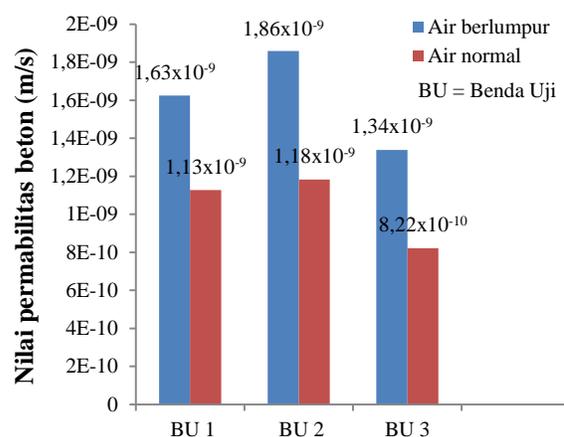
Dari Gambar 1 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai porositas pada masing-masing benda uji yang dicor dalam air berlumpur lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang dicor dalam air normal. Jika dirata-ratakan maka nilai porositas pada beton yang dicor dalam air berlumpur adalah sebesar 23,27%, sedangkan untuk beton yang dicor dalam air normal adalah sebesar 21,97%.

Besarnya nilai porositas menunjukkan banyaknya pori-pori yang terkandung di dalam beton. Semakin besar nilai porositas beton maka kerapatan di dalam beton akan semakin berkurang. Jika kerapatan beton berkurang maka ikatan yang terjadi di dalam beton akan berkurang. Beton yang tidak rapat akan mudah mengalami kehancuran dan penurunan kekuatan. Penurunan kekuatan mengindikasikan bahwa kualitas beton semakin buruk. Beton seperti ini tidak layak diaplikasikan dalam pekerjaan konstruksi karena dapat membahayakan pengguna konstruksi. Selain itu hal ini menunjukkan bahwa lumpur yang terdapat pada daerah pengecoran beton dapat mempengaruhi kualitas dari beton tersebut, ditunjukkan dengan adanya penurunan nilai porositas.

D.5.3 Hasil pengujian permeabilitas beton

Permeabilitas merupakan salah satu sifat fisik beton yang berperan penting pada ketahanan beton di lingkungan berlumpur. Semakin besar angka permeabilitas maka semakin rendah kuat tekan beton dan sebaliknya. Permeabilitas dan porositas memiliki hubungan yaitu dengan semakin meningkatnya nilai porositas maka nilai permeabilitas juga akan semakin meningkat. Nilai permeabilitas beton yang rendah

menunjukkan bahwa beton semakin *impermeable*, sehingga sulit dilewati oleh cairan atau gas. Beton yang padat dan sulit dilewati cairan atau gas membuat durabilitas beton semakin baik. Durabilitas adalah ketahanan beton menghadapi segala kondisi tanpa mengalami kerusakan selama jangka waktu layannya (*service ability*). Hasil koefisien permeabilitas beton dan perubahan nilai koefisien permeabilitas beton terhadap beton pada air normal dan air berlumpur dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil Pengujian Permeabilitas Beton

Dari Gambar 2 di atas dapat disimpulkan bahwa nilai permeabilitas pada masing-masing benda uji yang dicor dalam air berlumpur lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang dicor dalam air normal. Jika dirata-ratakan maka nilai koefisien permeabilitas pada beton yang dicor dalam air berlumpur adalah sebesar $1,61 \times 10^{-9}$ m/s, sedangkan untuk beton yang dicor dalam air normal adalah sebesar $1,04 \times 10^{-9}$ m/s. Sejalan dengan kaidah bahwa semakin besar nilai porositas suatu beton maka nilai permeabilitas dari beton tersebut juga semakin besar.

Hal ini menunjukkan bahwa beton yang dicor di dalam air berlumpur lebih *porous* dibandingkan dengan beton yang dicor di dalam air normal.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan STPP kedalam campuran beton dapat mengeraskan beton di dalam air dan meningkatkan nilai *workability* sehingga beton bersifat *self compacting concrete* (SCC). Hal ini dibuktikan dengan diperolehnya nilai *slump flows* sebesar 673,3 mm dengan komposisi STPP sebesar 10% dan filler sebesar 15%. Nilai ini memenuhi standar spesifikasikhusus interim beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete, SCC*) yang mengacu pada ASTM-C-1611, standar nilai *slump flow* dibatasi minimum 550 mm dan maksimum 850 mm.
2. Kadar lumpur yang diperoleh dari hasil pengujian menggunakan alat *centrifuge* dan pengukuran masing-masing adalah 28,62% dan 26,87%.
3. Nilai porositas dan permeabilitas untuk beton cor dalam air normal umur 28 hari masing-masing sebesar 21,97% dan $1,04 \times 10^{-9}$ m/s.
4. Nilai porositas dan permeabilitas untuk beton cor dalam air berlumpur umur 28 hari masing-masing sebesar 23,27% dan $1,61 \times 10^{-9}$ m/s.

E.2 Saran

Berdasarkan dari pengalaman dari penulis selama menempuh penelitian di laboratorium, maka dapat dikemukakan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran di dalam air berlumpur agar tidak terjadi penurunan kualitas dari beton, sehingga kekuatan yang direncanakan dapat terpenuhi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengecoran beton dalam air berlumpur dengan variasi lumpur yang lebih banyak, agar didapat hasil yang lebih akurat.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat fisik beton lainnya terkait dengan pengecoran beton di dalam air, agar di dapat hasil yang lebih rinci lagi mengenai beton dengan bahan tambah STPP secara fisik. Selain itu dapat menjadi tambahan referensi bagi pelaksana konstruksi apabila melakukan pengecoran beton di dalam air kondisi berlumpur. Mengingat hal penelitian ini adalah penelitian baru sehingga sangat minim dalam referensi.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Babkina LA, Prokopenko MI, Soloshenko N, Zinchenko VL, Stepanyuk NA, Gerashchuk YA et al. (2000). *Development of compositions of highly refractory mortars. Refractories and Industrial Ceramics* 41(3-4): 137–139.
- Goberis S and Stonis R. (2004). *Advantageous features of sodium silicate as the plasticizer for low-cement refractory castables. Refractories and Industrial Ceramics* 45(6): 446–449.
- Goberis S, Pundene I and Antonovich V. (2005). *The effect of sodium tripolyphosphate on the properties of medium-cement refractory castables*

- based on gorkal-40 cement. Refractories and Industrial Ceramics* 46(6): 403–408.
- Heniegal, M. A., Maaty, A. E. S. A., & Agwa, S. I. (2015). *Simulation of the behavior of pressurized underwater concrete*. *Alexandria Engineering Journal*.
- McLeish, A. (1994). *Underwater Concreting and Repair*. London & New York: Spon Press.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Neville, A.M. (1995). *Properties of Concrete*. London: *the English Language Book Society and Pitman Publishing*.
- Papo A, Piani L and Ricceri R. (2002). *Sodium tripolyphosphate and polyphosphate as dispersing agents for kaolin suspensions: rheological characterization*. *Colloids and Surfaces A* 201(1-3): 219–230.
- Slyusar AA, Slyusar OA and Zdorenko NM. (2008). *Rheological properties and critical structure - forming concentration of kaolin suspensions with complex additives*. *Glass and Ceramics* 65(7-8): 285–286.
- SNI 15-7064-2004. (2004). *Semen Portland*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- SNI 2847-2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standar Nasional Indonesia.
- Sugiharto, H., & Kusuma, G. H. *Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete pada Self Compacting Concrete*.
- Tjokrodimulyo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- Widodo, S., Santosa, A., & Prapto, P. (2014). *Pemanfaatan Limbah Abu Batu sebagai Bahan Pengisi dalam Produksi Self-Compacting Concrete*.