

KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON CAMPURAN *CRUMB RUBBER* DAN ABU SEKAM UNTUK MATERIAL PERKERASAN KAKU DI TANAH GAMBUT

Mia Qoryati¹⁾, Monita Olivia²⁾, Gunawan Wibisono²⁾

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 28293

Email: mia.qoryati@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This study aims to study the compressive strength and porosity of PCC concrete and PCC-CR-RHA concrete. PCC concrete as a control and PCC-CR-RHA concrete that contains 5% of crumb rubber and 10% of rice husk ash. These concretes exposed to peat water with flexural strength according to Bina Marga 2018 standard regarding rigid pavement of 4.5 MPa and 35 MPa compressive strength. The tests were carried out after specimens were cured on peat water for 0, 7, and 28 days. The test results showed that the compressive strength of PCC concrete was 32.065 MPa, higher than the compressive strength of PCC-CR-RHA at 28 days. While the porosity of PCC concrete was 7.204%, lower than the porosity of PCC-CR-RHA at 28 days. The test results of PCC concrete compressive strength at the age of 28 days for peat water curing increased by 10.01% as well as PCC-CR-RHA concrete, which increased by 6.79%. PCC concrete porosity values at the age of 28 days for peat water curing decreased by 36.90% as well as PCC-CR-RHA concrete, which decreased by 43.15%. Based on the results of tests conducted, both types of concrete have good compressive strength and porosity when exposed to peat water.

Keywords: Compressive strength, porosity, crumb rubber, rice husk ash, rigid pavement, peat soil.

A. PENDAHULUAN

Data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2015 mencatat bahwa Provinsi Riau memiliki luas wilayah sebesar 8.915.062 Ha yang didominasi oleh tanah lunak dengan jenis tanah gambut (histosol) seluas 3,8 juta Ha atau sekitar 43,35%. Kondisi tersebut menyebabkan konstruksi beton di Provinsi Riau harus memiliki durabilitas tinggi agar tetap kuat saat terpapar air gambut. Durabilitas beton merupakan ketahanan beton terhadap cuaca, serangan kimia, abrasi, dan proses perusakan lainnya (ACI Committee 201, 2016).

Gambut dengan daya dukung tanah yang rendah dapat menyebabkan retak halus pada beton yang berada di atasnya.

Selain itu pH air gambut yang rendah (asam) juga dapat merusak beton. Pandiangan (2014) menyatakan bahwa beton yang direndam dengan air gambut mengalami penurunan kuat tekan dan peningkatan porositas. Contoh konstruksi beton yang sering dihadapkan dengan permasalahan gambut adalah perkerasan kaku.

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) merupakan jenis perkerasan yang terdiri atas tanah dasar, lapis pondasi bawah, dan lapis beton semen baik dengan tulangan ataupun tidak (Pd T-14, 2003). Beton sebagai perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi sehingga dapat mendistribusikan beban pada bidang tanah yang cukup luas. Karena bagian

terbesar dari struktur perkerasan kaku merupakan beton maka faktor yang paling diperhatikan adalah kekuatan beton itu sendiri (Suryawan, 2006) yang dinyatakan dalam nilai kuat lentur.

Ban karet bekas dapat digunakan untuk meningkatkan kuat lentur beton (Nastain & Maryoto, 2010). *Crumb rubber* merupakan salah satu bentuk hasil pemotongan ban karet yang digunakan dalam campuran beton. Ilham (2016) menyatakan bahwa beton dengan penambahan *crumb rubber* 10% memiliki absorpsi energi 2,5% lebih besar, tapi penggunaan dengan kadar lebih dari 10% dapat menurunkan *workability* dan kuat tekan beton (Nastain & Maryoto, 2010).

Abu sekam padi merupakan sisa pembakaran sekam padi dengan kandungan silika yang tinggi yakni sekitar 86%. Hal tersebut menyebabkan abu sekam padi dapat dijadikan bahan tambah pada beton karena mampu menghasilkan gel C-S-H dari reaksi silika dengan kapur bebas hasil hidrasi semen yang dapat mengisi pori beton. Penelitian Alfadh (2017) menyatakan bahwa beton abu sekam padi memiliki nilai porositas lebih kecil dan nilai kuat tekan lebih tinggi dari pada beton OPC saat terpapar air gambut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton di Lingkungan Gambut

Beton di lingkungan gambut dapat rusak saat terpapar langsung dengan air gambut yang bersifat asam. Reaksi serangan asam pada beton terjadi antara senyawa hasil hidrasi semen yakni $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (kalsium aluminat hidrat) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsium hidroksida) dengan ion asam. Monteny, et al., (2000) menyatakan bahwa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bereaksi dengan asam sulfat (H_2SO_4) akan menghasilkan gypsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Selanjutnya gypsum akan bereaksi dengan kalsium aluminat hidrat dan menghasilkan kalsium sulfoaluminat (*ettringite*). *Ettringite* dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan penetrasi ke dalam beton, hal ini akan menyebabkan terjadi

pengembangan pada beton dan beton dapat hancur.

B.2 Perkerasan Kaku di Tanah Gambut

Perkerasan kaku menggunakan semen sebagai bahan pengikat sehingga lebih kaku dari pada perkerasan lentur. Kelebihan perkerasan kaku diantaranya biaya pemeliharaan yang ekonomis, pekerjaan konstruksi yang mudah, efisien untuk jalan dengan volume lalu lintas tinggi, dan struktur lapisan perkerasan yang tipis kecuali untuk area tanah lunak yang membutuhkan struktur pondasi jalan lebih besar (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).

Tanah lunak seperti gambut tidak dapat menyebarkan beban dengan baik, sehingga perkerasan kaku sangat cocok digunakan pada jenis tanah ini (Suryaman, 2016). Perkerasan kaku disarankan karena dapat menyebarkan beban secara merata sehingga dapat meminimalisir penurunan dan kerusakan yang terjadi.

B.3 Bahan Penyusun Beton Campuran *Crumb Rubber* dan Abu Sekam

Bahan penyusun beton campuran *crumb rubber* dan abu sekam adalah agregat kasar, agregat halus, semen PCC, air, *crumb rubber*, dan abu sekam padi.

B.4.1 *Crumb Rubber*

Ban karet memiliki modulus elastisitas diantara 0,77 sampai dengan 1,13 MPa dan nilai density ban karet antara 1,08-1,27 t/m^3 (Yang, Lohnes, & Kjartanso, 2002). Menurut Nastain & Maryoto (2010), ban karet dapat digunakan sebagai campuran beton untuk meningkatkan kelenturan dan mencegah keretakan pada beton karena dapat memperbaiki kemampuan beton dalam menahan gaya tarik.

Crumb rubber diperoleh dari pemotongan ban bekas dengan ukuran 0,075-4,75 mm atau setara dengan lolos saringan No. 4 dan tertahan di saringan No. 200. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

substitusi agregat halus dengan 10% *crumb rubber* dapat meningkatkan kuat lentur beton sebesar 45%. Namun, kuat lentur beton akan terus menurun jika kadar *crumb rubber* yang digunakan di dalam beton semakin banyak (Sofi, 2017). Penggunaan *crumb rubber* dengan kadar yang tinggi dapat menyebabkan turunnya kuat tekan beton. Selain itu, penambahan *crumb rubber* dapat meningkatkan absorpsi air dan meningkatkan porositas beton karena memiliki adhesi yang lemah dengan pasta semen.

B.4.2 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan sisa dari pembakaran sekam padi baik pembakaran di lapangan terbuka maupun di bawah kondisi pembakaran dengan suhu dan waktu yang dikontrol. Abu sekam padi mengandung silika reaktif apabila dibakar dengan temperatur tungku dan suhu yang terkontrol (Bui, 2001). Karena mengandung komponen aktif yakni silika, maka abu sekam padi disebut juga material pozzolan.

Material pozzolan merupakan material yang bersifat tidak mengikat seperti semen, namun dengan bentuknya yang halus dan dengan adanya air dapat membuat material tersebut bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar dan membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (SNI 15-0302, 2004). Penggunaan abu sekam padi pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton dan menurunkan porositas beton. Hal ini dikarenakan silika pada abu sekam padi dapat meningkatkan produksi gel C-S-H yang dapat mengisi pori beton sehingga beton menjadi lebih kedap.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material yang dilakukan ialah pengujian agregat kasar yang berasal dari daerah Air Hitam, Pekanbaru dan agregat halus yang berasal

dari Sungai Pagar, Teratak Buluh, Kampar.

C.2 Perencanaan dan Pembuatan

Benda Uji

Komposisi benda uji direncanakan dengan kuat tekan rencana 35 MPa dan kuat lentur 4,5 MPa. Benda uji dibuat menjadi dua variasi campuran yakni beton PCC yang merupakan beton kontrol tanpa tambahan *crumb rubber* dan abu sekam padi. Sedangkan Beton PCC-CR-RHA yang merupakan beton dengan semen PCC dan penambahan 5% *crumb rubber* dan 10% abu sekam padi. Kedua jenis beton menggunakan *superplasticizer* sebanyak 1% dari jumlah semen yang digunakan.

Benda uji yang dibuat pada penelitian ini adalah silinder berukuran 100x210 mm sebanyak 18 buah untuk pengujian kuat tekan dan silinder berukuran 100x105 mm sebanyak 18 buah untuk pengujian porositas.

C.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji (*curing*) dilakukan pada air biasa dan air gambut. Perawatan diawali dengan perendaman benda uji pada air biasa hingga umur beton 28 hari. Setelah berusia 28 hari, benda uji direndam di air gambut. Perendaman di air gambut dilakukan selama 28 hari.

C.4 Pengujian Benda Uji

C.4.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas yang dibebankan pada beton sebagai benda uji dengan gaya tekan tertentu oleh mesin uji tekan hingga mengalami kehancuran (SNI 03-1974, 2011). Kuat tekan beton (f'_c) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dengan:

f'_c : Kuat tekan beton (MPa)

P : Beban aksial (N)

A : Luas permukaan benda uji (mm²)

Penggunaan *crumb rubber* sebagai campuran pada beton dapat menurunkan

kuat tekan (Batayneh, Marie, & Asi, 2008), namun pada penelitian ini penambahan abu sekam padi diharapkan dapat mempertahankan kuat tekan beton. Berdasarkan penelitian Alfadh (2017) penggunaan abu sekam padi pada beton dapat meningkatkan kuat tekan dari pada beton normal.

C.4.2 Porositas

Uji porositas bertujuan untuk mengetahui persentase pori atau ruang kosong yang berada di dalam beton terhadap volume beton. Semakin tinggi nilai porositas beton maka semakin banyak volume pori yang terdapat di dalam beton tersebut. Hal ini menyebabkan ketahanan beton berkurang. Persamaan yang digunakan untuk menghitung porositas adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan:

W_1 : Berat sampel setelah dioven (kg)

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

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

Penambahan *crumb rubber* dapat meningkatkan porositas beton (Onuaguluchi & Panesar, 2014), namun penambahan abu sekam padi yang merupakan pozzolan dapat menurunkan porositas beton.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa agregat kasar pada penelitian ini memiliki gradasi dengan ukuran butiran maksimum 20 mm. Berat jenis agregat kasar yang digunakan adalah berat jenis kondisi SSD atau kering permukaan yaitu 2,60 dengan absorpsi sebesar 2,30%. Modulus kehalusan agregat kasar yang digunakan sebesar 7,65. Berat volume agregat kasar yang diuji pada kondisi padat dan gembur masing

masing mempunyai nilai 1,42 gr/cm³ dan 1,30 gr/cm³.

Tabel 1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis pemeriksaan	Hasil uji	Standar spesifikasi
	Berat jenis (gr/cm ³)		
	a. <i>Apparent Specific gravity</i>	2,70	
1	b. <i>Bulk Specific gravity</i>	2,54	2,58-2,83
	c. <i>Bulk Specific gravity (ssd)</i>	2,60	
	d. <i>Absorption (%)</i>	2,30	2,00-7,00
2	Kearifan (%)	40,70	<40
3	Kadar Air (%)	0,22	<5%
4	Modulus Kehalusan	7,65	5,00-8,00
	Berat Volume (gr/cm ³)		
5	a. Kondisi Gembur	1,30	1,40-1,90
	b. Kondisi Padat	1,42	1,40-1,90

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis pemeriksaan	Hasil uji	Standar spesifikasi
1	Kadar Lumpur	0,85	<5
2	Berat jenis (gr/cm ³)		
	a. <i>Apparent Specific gravity</i>	2,65	2,58-2,83
	b. <i>Bulk Specific gravity</i>	2,64	2,58-2,83
	c. <i>Bulk Specific gravity (ssd)</i>	2,65	2,58-2,83
	d. <i>Absorption (%)</i>	0,20	2,00-7,00
3	Kadar Air (%)	0,15	3,00-5,00
4	Modulus Kehalusan	2,94	1,50-3,80
	Berat Volume (gr/cm ³)		
5	a. Kondisi Gembur	1,63	1,40-1,90
	b. Kondisi Padat	1,72	1,40-1,90

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai kadar lumpur sebesar 0,85. Nilai berat jenis SSD atau kering permukaan agregat halus yang digunakan yakni 2,65. Modulus kehalusan sebesar 2,94. Nilai berat volume yang diuji pada

kondisi padat sebesar 1,72 dan gembur sebesar 1,63.

D.2 Hasil Pengujian Abu Sekam Padi

Tabel 3 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

No.	Parameter uji	Hasil analisa
1	K ₂ O	0,98 %
2	SiO ₂	86,92 %
3	Al ₂ O ₃	1,41 %
4	Fe ₂ O ₃	0,48 %
5	CaO	1,77 %
6	MgO	1,01 %
7	Na ₂ O	0,05 %
8	SO ₃	0,46 %
9	P ₂ O ₅	0,05 %
10	LOI	7,63 %

Sumber: (Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang, 2019)

Tabel 3 menunjukkan hasil uji kandungan kimiawi abu sekam padi. Dapat diketahui bahwa abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini mengandung SiO₂ sebanyak 86,92%, Al₂O₃ sebanyak 1,41%, dan Fe₂O₃ sebanyak 0,48% yang jika ditotal berjumlah 88,81%. Kandungan SO₃ sebesar 0,46% dan LOI (*loss on ignition*) sebesar 7,63%. Sesuai dengan hasil uji maka abu sekam padi yang digunakan dapat digolongkan sebagai pozzolan kelas N yakni pozzolan alami atau hasil pembakaran. Persyaratan pozzolan kelas N (ASTM C618, 2005) ialah kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ minimal 70%, kandungan SO₃ maksimal 3%, dan kandungan LOI maksimal 10%.

D.3 Hasil Pengujian Air Gambut

Tabel 4 menunjukkan hasil uji kandungan kimiawi air gambut. Dapat diketahui bahwa air gambut yang digunakan sebagai air perendaman pada penelitian ini memiliki pH 5,01 sehingga bersifat asam.

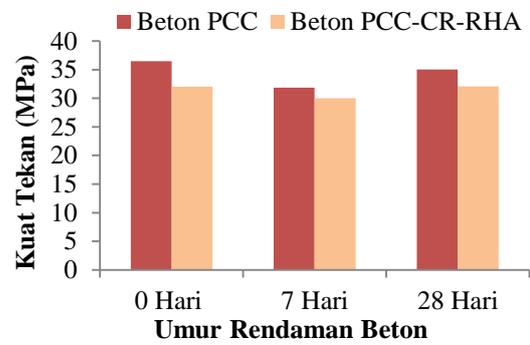
Tabel 4 Kandungan Air Gambut

No	Parameter uji	Satuan	Hasil analisa
1	Warna	TCU	34,60

No	Parameter uji	Satuan	Hasil analisa
2	Kekeruhan	NTU	15,90
3	Besi	mg/l	0,8845
4	Kesadahan	mg/l	4,59
5	Khlorida	mg/l	2,34
6	Mangan	mg/l	0,2321
7	Ph	-	5,01
8	Sulfat	mg/l	68,20
9	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/l	28,38
10	DHL	µs/cm	7,46

Sumber: (Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang, 2019)

D.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar 1 Hasil Uji Kuat Tekan

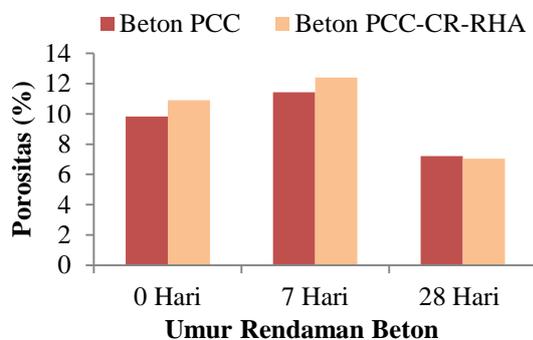
Gambar 1 menunjukkan bahwa beton PCC dan beton PCC-CR-RHA pada umur rendaman 7 hari gambut mengalami penurunan kuat tekan sebesar 12,68% dan 6,31%. Hal ini dikarenakan serangan asam air gambut. Kemudian kedua jenis beton dari umur rendaman 7 hari gambut mengalami peningkatan kuat tekan pada umur rendaman 28 hari gambut sebesar 10,01% dan 6,79%. Selain karena pH air gambut yang digunakan sebagai air perendaman mengalami perubahan menjadi lebih basa, hal ini juga dikarenakan kandungan silika pada semen PCC dan abu sekam padi bereaksi dengan kalsium hidroksida dan menghasilkan gel C-S-H yang mengisi pori-pori pada beton sehingga beton menjadi kepad dan kuat tekannya meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian Olivia, et al., (2015) yang menunjukkan bahwa penggunaan semen PCC pada beton yang terpapar air gambut memiliki kuat tekan yang lebih baik dan

terus meningkat dari pada beton dengan semen OPC karena kandungan pozzolan pada semen PCC. Begitu pula dengan penelitian Alfadh (2017) dan Setyawan (2017) yang menyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai pozzolan pada beton yang terpapar air gambut memiliki kuat tekan yang lebih baik dari pada beton OPC.

Kuat tekan beton PCC-CR-RHA cenderung lebih rendah dari pada beton PCC. Pada umur rendaman 0 hari gambut, beton PCC memiliki kuat tekan sebesar 36,506 MPa sedangkan beton PCC-CR-RHA sebesar 32,050 Mpa. Pada umur rendaman 7 hari gambut, beton PCC memiliki kuat tekan sebesar 31,878 Mpa sedangkan beton PCC-CR-RHA sebesar 30,028 MPa. Begitu juga pada umur rendaman 28 hari gambut, beton PCC memiliki kuat tekan sebesar 35,069 Mpa sedangkan beton PCC-CR-RHA sebesar 32,065 MPa.

Hal tersebut dikarenakan *crumb rubber* pada beton PCC-CR-RHA memiliki permukaan yang lebih licin dan menyebabkan terjadinya adhesi yang tidak baik dengan pasta semen. Penelitian Gupta, Chaudhary, & Sharma (2014) juga menyatakan dari hasil analisa mikrostruktural, ikatan antara *rubber* dan pasta semen lemah. Hal tersebut yang menyebabkan kuat tekan beton PCC-CR-RHA lebih rendah.

D.5 Hasil Pengujian Porositas



Gambar 2 Hasil Uji Porositas

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian porositas beton PCC dan beton PCC-CR-RHA mengalami penurunan.

Porositas beton PCC pada umur rendaman 28 hari mengalami penurunan sebesar 36,90% dan beton PCC-CR-RHA sebesar 43,15% dari umur rendaman 7 hari gambut. Hal ini dikarenakan pozzolan yang terdapat pada semen PCC dan abu sekam padi bereaksi dengan kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan menghasilkan gel C-S-H sehingga kedua beton menjadi kedap. Hal ini sesuai dengan penelitian Ednor (2016) bahwa mortar dengan pozzolan abu sekam padi yang terpapar air gambut memiliki nilai porosititas yang terus turun seiring dengan bertambahnya umur beton. Penelitian Alfadh (2017) pada beton abu sekam padi yang terpapar air gambut juga menyatakan bahwa porositas beton mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya umur beton.

Nilai porositas beton PCC-CR-RHA cenderung lebih tinggi dari pada beton PCC. Pada umur rendaman 0 hari gambut, beton PCC memiliki porositas sebesar 9,831% sedangkan beton PCC-CR-RHA sebesar 10,902%. Begitu juga pada umur rendaman 7 hari gambut, beton PCC memiliki porositas sebesar 11,418% sedangkan beton PCC-CR-RHA sebesar 12,398%.

Hal tersebut dikarenakan beton PCC-CR-RHA mengandung *crumb rubber* yang dapat mengikat udara dibagian permukaannya sehingga jumlah pori pada beton lebih banyak. Selain itu *crumb rubber* yang bersifat elastis juga menyebabkan pemadatan sulit dilakukan dan tidak efektif sehingga kemungkinan meningkatnya jumlah pori beton menjadi besar. Hal ini sesuai dengan penelitian Bisht & Ramana (2017) dan Sofi (2017) yang menyatakan bahwa penambahan *crumb rubber* dapat meningkatkan porositas beton.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan porositas pada beton PCC dan beton PCC-CR-RHA yang direndam di air gambut dengan umur rendaman beton 0, 7,

dan 28 hari gambut, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan beton PCC dan beton PCC-CR-RHA mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton PCC-CR-RHA cenderung lebih rendah dari pada beton PCC yang disebabkan karena permukaan *crumb rubber* yang licin menyebabkan ikatan antara *crumb rubber* dan pasta semen menjadi tidak baik dan menimbulkan pori yang menyebabkan turunnya kuat tekan beton.
2. Nilai porositas beton PCC dan beton PCC-CR-RHA mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya umur beton. Nilai porositas beton PCC-CR-RHA cenderung lebih tinggi dari pada beton PCC karena *crumb rubber* dapat mengikat udara dibagian permukaanya dan sifatnya yang elastis menyebabkan proses pemadatan yang terjadi tidak efisien sehingga dapat meningkatkan jumlah pori pada beton.
3. Pozzolan pada beton PCC dan beton PCC-CR-RHA menyebabkan kedua jenis beton mengalami peningkatan kuat tekan dan cepat rambat seiring bertambahnya umur beton dan juga mengalami penurunan nilai porositas pada kedua jenis beton.
4. Beton dengan kandungan *crumb rubber* dan abu sekam padi dapat diaplikasikan sebagai material perkerasan kaku di tanah gambut.

E.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan *treatment* pada *crumb rubber* terlebih dahulu sebelum digunakan, sehingga memiliki ikatan lebih baik dengan pasta dan meningkatkan kuat tekan beton.
2. Perlu menambahkan umur rendaman beton di air gambut untuk mendapatkan data yang lebih akurat serta dapat

mengetahui batasan peningkatan kuat tekan yang terjadi.

Daftar Pustaka

- ACI Committee 201. (2016). *Guide to Durable Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Alfadh, M. R. (2017). Kuat tekan dan sifat fisik beton OPC dan OPC-RHA untuk aplikasi di lingkungan gambut. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia.
- ASTM C618. (2005). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. West Conshocken: ASTM International.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Riau. (2016). *Provinsi Riau dalam angka 2016*. Pekanbaru: Badan Pusat Statistik Provinsi Riau.
- Batayneh, M. K., Marie, I., & Asi, I. (2008). Promoting the Use of Crumb Rubber Concrete in Developing Countries. *Waste Management* 28, 2171-2176.
- Bisht, K., & Ramana, P. (2017). Evaluation on mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials* 155, 811-817.
- Bui, D. D. (2001). *Rice husk ash as mineral admixture for high performance concrete*. Nghe an: DUP Science.
- Ednor, M. (2016). Durabilitas mortar abu sekam padi di lingkungan asam (air gambut). Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia.
- Gupta, T., Chaudhary, S., & Sharma, R. K. (2014). Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. *Construction and Building Materials* 73, 562-574.
- Ilham, I. N. (2016). Flexural toughness pada beton dengan material substitusi (steel fiber, crumb rubber, dan tire chips).

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017). *Manual desain perkerasan jalan No. 02/M/BM/2017*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Monteny, J., Vincke, E., Beeldens, A., Belie, N. D., Taerwe, L., Gemert, D. V., et al. (2000). Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. *Cement and Concrete Research* 30, 623-634.
- Nastain, & Maryoto, A. (2010). Pemanfaatan Pematangan Ban Bekas untuk Campuran Beton Serat Perkerasan Kaku. 1.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi Beton; Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: ANDI .
- Olivia, M., Darmayanti, L., Kamaldi, A., & Djauhari, Z. (2015). Kuat tekan beton dengan semen campuran limbah agro-industri di lingkungan asam. *2nd Andalas Civil Engineering National Conference*, (pp. 306-312). Padang.
- Onuaguluchi, O., & Panesar, D. K. (2014). Hardened Properties of Concrete Mixtures Containing Pre-coated Crumb Rubber and Silica Fume. *Journal of Cleaner Production*.
- Pandiangan, J. A. (2014). Ketahanan beton mutu tinggi di lingkungan asam. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia.
- Pd T-14. (2003). *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Setyawan, M. F. (2017). Durabilitas beton OPC dan OPC abu sekam padi untuk aplikasi di lingkungan gambut.
- SNI 03-1974. (2011). *Metode pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-0302. (2004). *Semen portland pozzolan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sofi, A. (2017). Effect of Waste Tyre Rubber on Mechanical and Durability Properties of Concrete. *Ain Shams Engineering Journal xxx*.
- Suryaman, D. (2016). Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur Menurut Metode AASHTO pada Jalan Teuku Iskandar Daod Area Kampus Utu Kabupaten Aceh Barat.
- Suryawan, A. (2006). *Perkerasan jalan beton semen portland (rigid pavement)*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yang, S., Kjartanson, B. H., & Lohnes, R. A. (2001). Structural performance of scrap tire culverts. *Can. Journal Civil Engineering* 28, 179-189.