

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT AREN DENGAN *ALKALI TREATMENT* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON

Roger¹, Yoga² dan Handoko³

ABSTRAK : Beton serat adalah beton yang pada dasarnya terbuat dari semen, agregat, dan serat yang dicampurkan secara merata pada campuran beton. Penambahan serat ke dalam campuran beton mampu meningkatkan beberapa karakteristik beton yaitu meningkatkan kuat tarik, kuat tekan, ketahanan terhadap retak. Serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat ampas aren yang diambil dari Dusun Bendo, Kabupaten Klaten, dengan kadar 1.1%, 1.6%, 2.2% dari berat semen untuk sampel kuat tekan dan 1.1%, 1.7%, 2.2% dari berat semen untuk sampel kuat tarik. Dalam penelitian ini akan diuji kuat tekan dan kuat tarik beton di mana untuk uji kuat tekan, dibuat sampel dalam bentuk kubus 15x15x15 cm³ dan untuk kuat tarik, dibuat sampel dalam bentuk silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm. Kelemahan utama penggunaan serat alami dalam beton adalah kurang baiknya adhesi antara matriks polimer dengan serat alami, sehingga untuk mengatasi masalah ini, dilakukanlah *alkali treatment* dengan molaritas larutan NaOH 0.25M dan 0.5M. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton serat ampas aren dengan *alkali treatment* jika dibandingkan dengan beton normal maupun dengan beton serat ampas aren tanpa *alkali treatment*. *Alkali treatment* mampu meningkatkan kuat tekan beton serat hingga 50% jika dibandingkan dengan beton serat tanpa *alkali treatment*.

KATA KUNCI: beton serat, serat ampas aren, *alkali treatment*, NaOH.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini serat sintetis lebih banyak digunakan jika dibandingkan dengan serat alami, akan tetapi, dalam rangka mengurangi bahaya pemanasan global, muncul banyak penelitian yang menggunakan serat alami dalam campuran beton. Selain pemanasan global, serat alami juga semakin banyak digunakan karena serat alami mudah diperoleh, murah, dapat meningkatkan karakteristik dari beton serta tidak membutuhkan banyak energi dalam proses pengolahannya. Serat alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat ampas aren yang di ambil dari dusun Bendo, Kelurahan Daleman, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah, di mana setiap harinya, dusun ini mampu memproduksi 50 ton tepung aren dengan limbah serat ampas aren 17.5 ton.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa kelemahan utama serat alami dalam campuran beton adalah lemahnya adhesi antara matriks polimer dengan serat alami itu sendiri. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan sifat alami antara serat tersebut yaitu hidrofilia (menyerap air) dengan matriks polimer yang bersifat hidrophobia (menjauhi air).

Untuk mengatasi masalah ini, akan dilakukan *alkali treatment* sehingga dapat terjadi ikatan yang baik antara serat dan polimer.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21409029@john.petra.ac.id.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21409041@john.petra.ac.id.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hands@peter.petra.ac.id

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah, bagaimana *mix design* yang tepat untuk menghasilkan beton *fiber* dengan kuat tekan yang memadai untuk komponen struktural? Bagaimana pengaruh penambahan serat aren dengan *alkali treatment* terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton? Berapakah kadar optimal serat aren dan molaritas optimal larutan NaOH yang digunakan dalam *alkali treatment* agar dapat dihasilkan beton *fiber* dengan kekuatan optimal?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan awal penelitian ini adalah memperoleh *mix design* yang tepat agar dapat menghasilkan beton *fiber* dengan kuat tekan ≥ 25 MPa. Dari tujuan awal tersebut, peneliti kemudian mengevaluasi pengaruh penambahan serat aren dengan *alkali treatment* terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton sehingga dapat diketahui kadar optimal serat aren dan molaritas optimal larutan NaOH yang digunakan dalam *alkali treatment* agar dapat dihasilkan beton *fiber* dengan kekuatan optimal.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup material-material yang digunakan dalam proses pembuatan sampel seperti, semen *Portland* tipe 1, *fly ash*, pasir Lumajang, agregat kasar, serat aren yang diambil dari limbah padat ampas aren di dusun Bendo, kelurahan Daleman, kabupaten Klaten, Jawa Tengah, larutan NaOH 0.25 M dan 0.5 M, air PDAM dari Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra, dan bekisting kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm serta bekisting silinder ukuran 15 cm x 30 cm.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini bagi masyarakat ke depannya adalah, dapat memberikan informasi berupa suatu komposisi campuran beton *fiber* yang dapat diterapkan di lapangan terutama untuk komponen struktural. Dari penelitian ini pula, diharapkan penggunaan serat ampas aren kan semakin meningkat sehingga dapat membantu mengurangi limbah padat ampas aren di Dusun Bendo dan menjadi batu loncatan dalam perkembangan teknologi beton ke arah pembangunan yang berkelanjutan.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Beton Serat

Beton serat adalah beton yang pada dasarnya terbuat dari semen, agregat, dan serat yang dicampurkan secara merata pada campuran beton. Penambahan *fiber* ke dalam campuran beton mampu meningkatkan beberapa karakteristik beton yaitu meningkatkan kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitas, ketahanan terhadap retak, pengendalian retak, durabilitas, *fatigue life*, ketahanan terhadap beban kejut, ketahanan terhadap abrasi, susut, karakteristik thermal, dan daya tahan terhadap kebakaran. Dalam penelitian ini, *fiber* digunakan dengan panjang 4 cm untuk menghindari kemungkinan terjadinya *balling* yang biasanya muncul seiring dengan bertambahnya panjang serat yang digunakan (Daniel et al., 2002). Proses pencampuran *fiber* ke dalam matriks semen memerlukan tenaga kerja yang intensif sehingga tentunya akan lebih memakan biaya jika dibandingkan dengan pembuatan beton konvensional (Brown, Shukla, & Natarajan, 2002).

2.2. Fiber Alami

Fiber alami adalah komposit alami yang tersusun dari struktur selular. Beragam proporsi selulosa, hemiselulosa, dan lignin menyusun struktur *fiber* tersebut dengan berbagai macam lapisan. Selulosa adalah sebuah polimer yang mengandung glukosa. Hemiselulosa adalah sebuah polimer yang terbentuk dari bermacam-macam polisakarida, sedangkan lignin adalah sebuah amorf dan campuran heterogen dari polimer beraroma dan monomer phenylpropana (Torgal & Jalali, 2009). Salah satu kelemahan serat alami dalam campuran beton adalah adhesi antar matriks polimer dengan serat itu sendiri. Hal ini dapat terjadi karena buruknya lekatan antara polimer yang bersifat hidrofobia dengan *fiber* yang justru bersifat hidrofilia yang nantinya dapat memperlemah beton (Bachtiar, Sapuan, & Hamdan, 2010).

Untuk mengatasi lemahnya adhesi antara matriks polimer dan *fiber* tersebut, pernah diadakan suatu penelitian di mana diberikan *alkali treatment* pada *fiber* alami yaitu jerami. Penelitian tersebut menunjukkan suatu hasil yang positif, di mana jerami yang telah direndam selama 2 jam dalam larutan NaOH 1% pada suhu 150°C mengalami peningkatan adhesi dengan matriks polimer. Hal tersebut pada akhirnya dapat membantu meningkatkan kuat tarik dan kuat lentur beton *fiber* (Fahim, Elhaggar, & Elayat, 2012). Peningkatan adhesi tersebut dapat terjadi karena NaOH dapat bereaksi dengan gugus hidroksida pada permukaan *fiber* yang bersifat hidrofilia dan meningkatkan karakteristik hidrophobia *fiber* tersebut sehingga akhirnya dapat melekat lebih kuat dengan matriks polimer yang juga bersifat hidrophobia (Ishak et al., 2013).

2.3.Tanaman dan Serat Aren

Tanaman aren yang memiliki nama latin *arenga pinnata*, adalah salah satu tanaman yang berasal dari famili *Palmae* yang tumbuh subur di daerah lembab di sekitar khatulistiwa, terutama di daerah Asia Tenggara. Di Jawa Tengah tepatnya di dusun Bendo, kelurahan Daleman, kecamatan Tulung, Klaten terdapat industri pengolahan aren berjumlah sekitar 240 unit industri yang setiap harinya memproduksi tepung aren sebanyak 50 ton dengan limbah padatnya sebanyak 17.5 ton.

2.4.Air

Air adalah salah satu material penyusun beton yang penting yang berfungsi untuk memicu proses kimiawi beton, membasahi agregat, dan meningkatkan *workability* beton. Dalam penggunaannya, air yang dapat di minum dan tidak mengandung senyawa-senyawa kimia seperti minyak, garam, dan gula dapat dipakai untuk membuat beton yang baik. Penggunaan air dalam penelitian ini menggunakan aturan dari SK SNI 03-2847-2002.

2.5.Agregat

Modulus kehalusan dari agregat kasar menurut SII berkisar antara 6,0 - 7,1. *British Standard* memberikan syarat bahwa gradasi agregat kasar yang baik adalah 10, 20, dan 40 mm. Untuk agregat halus, ukuran yang digunakan sebaiknya berkisar antara 150 μ m - 600 μ m. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi efek dari rongga yang ada di dalam agregat kasar yang menyebabkan berkurangnya kekuatan beton. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lumajang dengan *fineness modulus* 2.79. Pasir dengan FM dibawah 2.5 akan membuat campuran beton sulit mengeras, sedangkan pasir dengan FM 3.0 akan memberikan *workability* yang baik dan dapat meningkatkan kuat tekan pada beton (Russell et al., 1997).

2.6.Sodium Hidroksida

Sodium hidroksida (NaOH), atau yang dikenal dengan natrium hidroksida atau soda kaustik, adalah basa kuat yang terbentuk dari oksida basa natrium oksida (Na₂O) yang direaksikan dengan air. Penggunaan Sodium Hidroksida dalam penelitian kali ini bertujuan untuk mengubah permukaan *fiber* menjadi kasar, sehingga meningkatkan kelekanan mekanis dan juga menyebabkan semakin banyaknya jumlah selulosa yang terekspos. Hal ini dapat meningkatkan jumlah tempat yang memungkinkan untuk terjadinya reaksi adhesi yang berguna untuk meningkatkan kelekanan antara *fiber* dan matriks (Hashim, Roslan, Amin, Mujahid, & Zaidi, 2012).

2.7.Fly Ash

Fly ash merupakan bahan sisa buangan yang memiliki bentuk butiran yang bulat yang berasal dari pembakaran batu bara yang biasanya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. Penggunaan *fly ash* dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengurangi jumlah semen, karena selain lebih ekonomis, di dalam semen terkandung unsur CaO yang jauh lebih banyak dibandingkan yang terkandung di dalam *fly ash*. Kandungan CaO yang banyak dapat mengakibatkan *fiber* alami menjadi lebih cepat rusak (Torgal & Jalali, 2009) sehingga dalam jangka waktu lama pengaruh dari *fiber* tersebut akan menghilang atau justru dapat mengurangi kekuatan beton itu sendiri.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Persiapan Material yang Digunakan

Untuk melakukan penelitian ini diperlukan beberapa tahapan awal seperti mengayak pasir Lumajang dengan ayakan 5 mm, kemudian mencuci limbah padat ampas aren dengan air hingga bersih untuk menghilangkan kotoran yang melekat pada serat ampas aren. Setelah dicuci, serat aren dikeringkan pada suhu ruangan. Serat aren yang sudah kering akan dipotong sepanjang \pm 4 cm. Timbangan yang digunakan dapat dipersiapkan sebagai alat untuk menakar massa dari setiap material sesuai dengan *mix design* yang telah dibuat. Bekisting yang digunakan adalah bekisting kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dan bekisting silinder ukuran 15 cm x 30 cm. Dalam pelaksanaannya, bekisting harus diberi lapisan pelumas sebelum campuran beton segar dituangkan ke dalam bekisting. Satu hal yang harus diperhatikan, lapisan pelumas yang diberikan hendaknya jangan sampai terlalu tipis untuk mencegah adanya beton yang menempel pada cetakan pada saat proses pelepasan bekisting yang dapat menyebabkan sampel yang dibuat tidak utuh sempurna setelah dilepas dari cetakan.

Beberapa hal lain yang harus dipersiapkan dalam tahap ini adalah *mixer* untuk mencampur seluruh campuran beton, cetok untuk mengambil material seperti pasir, semen dan *fly ash*, wadah yang terbuat dari bahan plastik sebagai wadah material-material sebelum proses pencampuran berlangsung, dan besi rojokan yang digunakan untuk memadatkan campuran semen setelah dituang ke dalam bekisting. *Compression test machine* yang digunakan sebagai alat uji kuat tekan dan *splitting test* dari setiap sampel yang diuji yang terdapat di Laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra, Surabaya.

3.2. Penelitian Tahap Pertama (Pencarian *Mix Design* untuk Menghasilkan Beton Normal dengan Kuat Tekan \geq 25 MPa)

Tujuan penelitian tahap pertama adalah menentukan metode *mixing* yang dapat menghasilkan beton normal dengan kekuatan \geq 25 MPa. Metode mixing yang digunakan mencakup material-material yang digunakan pada konstruksi pada umumnya seperti air, agregat kasar, pasir, semen ditambah dengan *fly ash*. Benda uji akan dibuat dengan bekisting kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk uji kuat tekan dan bekisting silinder ukuran 15 cm x 30 cm untuk uji kuat tarik. Pada tahap ini akan dibuat 6 benda uji, 3 benda uji akan di uji kuat tekannya pada 7, 14, dan 28 hari dan 3 benda uji lainnya akan diuji kuat tariknya pada 7, 14 dan 28 hari.

3.3. Penelitian Tahap Kedua (Menganalisa Pengaruh Penambahan Serat Ampas Aren pada Beton)

Dalam penelitian ini digunakan 3 variabel jumlah serat aren yang akan dicampurkan pada beton, yaitu 1.1%, 1.6%, dan 2.2% dari berat semen untuk sampel kubus dan 1.1%, 1.7%, dan 2.2% dari berat semen untuk sampel silinder. Selanjutnya, mulai dilakukan proses pengecoran yang diawali dengan pencampuran material-material kering, yaitu semen, *fly ash*, pasir, agregat kasar, dan serat aren. Jumlah benda uji yang akan dibuat adalah 18 buah dengan bekisting kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk uji kuat tekan dan bekisting silinder ukuran 15 cm x 30 cm untuk uji kuat tarik. 9 benda uji akan diuji kuat tekannya pada umur 7, 14, dan 28 hari sedangkan 9 benda uji lainnya akan diuji kuat tariknya pada umur 7, 14, dan 28 hari.

3.4. Penelitian Tahap Ketiga (Menganalisa Pengaruh Penambahan Serat Ampas Aren dengan *Alkali Treatment* pada Beton)

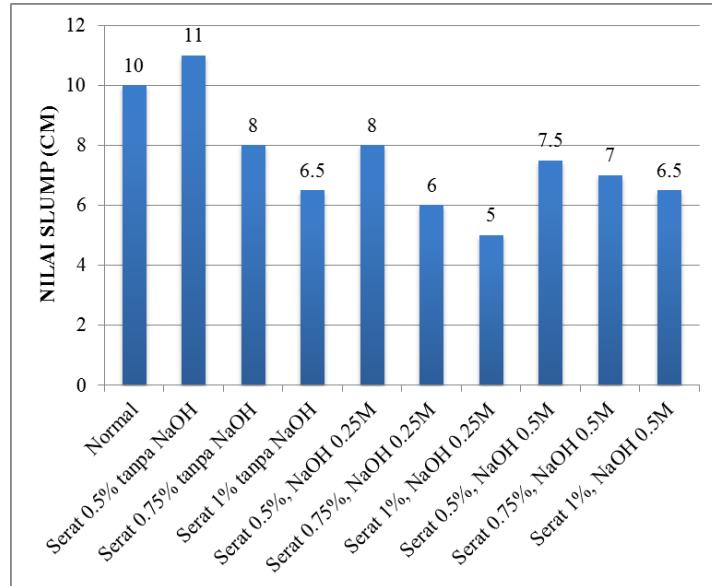
Pada tahap ketiga ini, ada 3 variabel jumlah serat aren yang akan dicampurkan pada beton, yaitu 1.1%, 1.6%, dan 2.2% dari berat semen untuk sampel kubus dan 1.1%, 1.7%, dan 2.2% dari berat semen untuk sampel silinder dan 2 variabel molaritas larutan NaOH yang akan digunakan untuk proses *alkali treatment* yaitu 0.25M dan 0.5M. Awalnya serat aren akan direndam dalam larutan NaOH selama 1 jam, kemudian serat aren dicuci dengan air hingga benar-benar bersih dari NaOH, dengan cara pengujian, kertas laksus dicelupkan kedalam air sisa bilasan dan diperhatikan perubahan warna yang terjadi.

Jumlah benda uji yang akan dibuat adalah 36 buah dengan bekisting kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm untuk uji kuat tekan dan bekisting silinder ukuran 15 cm x 30 cm untuk uji kuat tarik. Delapan belas

benda uji akan diuji kuat tekannya pada umur 7, 14, dan 28 hari sedangkan delapan benda uji lainnya akan diuji kuat tariknya pada umur 7, 14, dan 28 hari.

4. HASIL DAN ANALISA

Berikut *workability* beton kubus (**Gambar 1**) dan *workability* beton silinder (**Gambar 2**). Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa, nilai rata-rata *slump* beton normal masih lebih baik dibandingkan dengan beton-beton yang mengandung serat. Selain itu penurunan nilai *slump* yang terjadi berbanding lurus dengan penambahan kadar serat ampas aren dalam beton.



Gambar 1 Nilai Slump Beton Kubus

Pada **Tabel 1**, dapat dilihat bahwa kuat tarik beton normal merupakan kuat tarik terbesar diantara beton jenis lainnya. Beton serat ampas aren memiliki kuat tarik yang lebih rendah karena adanya ketidakseragaman *water-to-binder ratio*. Berubahnya nilai *water-to-binder ratio* ini disebabkan karena sifat hidrofilia dari serat alami sehingga sangat memungkinkan jika sebagian air yang dicampurkan ke dalam campuran beton diserap oleh serat ampas aren. Karena sebagian dari air diserap oleh serat ampas aren, maka dalam penelitian tahap kedua dan ketiga, jumlah air yang ditambahkan ke dalam campuran beton sedikit ditingkatkan ($\pm 250\text{ml}$) sehingga cukup masuk akal jika kuat tekan dan kuat tarik beton yang menggunakan serat lebih rendah dari beton normal. Ketidakseragaman nilai *water-to-binder ratio* inilah yang menyebabkan kuat tekan dan kuat tarik beton normal sebenarnya tidak bisa diperbandingkan secara langsung dengan kuat tekan dan tarik beton serat ampas aren.

Tabel 1 Kuat Tarik Beton

TYPE	KUAT TARIK RATA-RATA (MPa)		
	7	14	28
Normal	1.90	2.30	3.01
KUAT TARIK RATA-RATA (MPa)			
	7	14	28
Serat 1.1% tanpa NaOH	1.80	1.94	2.01
Serat 1.7% tanpa NaOH	1.59	1.75	2.09
Serat 2.2% tanpa NaOH	1.71	1.99	1.97
KUAT TARIK RATA-RATA (MPa)			
	7	14	28
Serat 1.1%, NaOH 0.25M	1.51	1.90	1.96
Serat 1.7%, NaOH 0.25M	2.02	1.95	2.34
Serat 2.2%, NaOH 0.25M	1.71	2.23	2.29
KUAT TARIK RATA-RATA (MPa)			
	7	14	28
Serat 1.1%, NaOH 0.5M	1.97	2.19	2.31
Serat 1.7%, NaOH 0.5M	1.95	2.09	2.49
Serat 2.2%, NaOH 0.5M	1.86	2.07	2.24

Pada **Tabel 2** dapat dilihat bahwa serat ampas aren dengan kadar 1.6% dari berat semen, yang telah melalui *alkali treatment* 0.25 M memiliki kuat tekan yang besar dibandingkan beton jenis lainnya.

Tabel 2 Kuat Tekan Beton

TYPE	KUAT TEKAN RATA-RATA (MPa)		
	7	14	28
Normal	17.89	21.11	30.44
KUAT TEKAN RATA-RATA (MPa)			
	7	14	28
Serat 1.1% tanpa NaOH	11.00	13.89	18.22
Serat 1.6% tanpa NaOH	14.44	17.44	22.56
Serat 2.2% tanpa NaOH	17.56	20.33	28.67
KUAT TEKAN RATA-RATA (MPa)			
	7	14	28
Serat 1.1%, NaOH 0.25M	15.00	18.44	24.33
Serat 1.6%, NaOH 0.25M	18.22	21.56	31.00
Serat 2.2%, NaOH 0.25M	16.89	21.11	25.56
KUAT TEKAN RATA-RATA (MPa)			
	7	14	28
Serat 1.1%, NaOH 0.5M	18.22	23.44	27.44
Serat 1.6%, NaOH 0.5M	16.82	22.78	25.89
Serat 2.2%, NaOH 0.5M	19.89	25.56	29.33

Dari **Tabel 1 dan 2** tampak bahwa penggunaan *alkali treatment* pada serat ampas aren dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton hingga 50% jika dibandingkan dengan beton serat ampas aren tanpa *alkali treatment*. *Alkali treatment* juga terbukti dapat menghilangkan minyak pada serat yang ditandai dengan adanya buih pada air rendaman serat ampas aren. Buih tersebut muncul sebagai akibat dari reaksi antara minyak dan NaOH (**Gambar 3**).



Gambar 2 Buih Serat Ampas Aren

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa yang didapat dengan melakukan pengujian pada benda uji yang dibuat, secara umum dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini menghasilkan beton *fiber* yang memiliki kuat tekan yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal. *Mix design* yang digunakan adalah *mix design* dengan perbandingan berat material 1 : 2 : 3 (semen : pasir : kerikil) dan *water-to-binder ratio* 0.45. Serat ampas aren ditambahkan ke dalam campuran beton dengan presentase 1.1%, 1.6%, dan 2.2%.
2. Penelitian ini menghasilkan beton *fiber* yang memiliki kuat tarik lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. *Mix design* yang digunakan adalah *mix design* dengan perbandingan berat material 1 : 2 : 3 (semen : pasir : kerikil) dan *water-to-binder ratio* 0.45. Serat ampas aren ditambahkan ke dalam campuran beton dengan presentase 1.1%, 1.7%, dan 2.2%.
3. Proses *alkali treatment* pada serat ampas aren menghasilkan beton serat ampas aren yang lebih kuat hingga 50% lebih kuat dari beton serat ampas aren yang tidak melalui proses *alkali treatment*. Molaritas optimal larutan NaOH yang digunakan dalam *alkali treatment* agar mencapai beton *fiber* dengan kekuatan optimal adalah 0.25M.
4. Beton dengan kadar serat aren sebesar 1.6% dari berat semen yang telah melalui *alkali treatment* 0.25M, dapat menghasilkan kuat tekan optimum yaitu 31 MPa yang sudah memenuhi kekuatan minimum untuk digunakan sebagai komponen struktural.
5. Penurunan nilai *slump* pada beton berbanding lurus dengan penambahan kadar serat ampas aren yang dicampurkan ke dalam campuran beton sehingga menurunkan *workability*.

5.2.Saran

Saran untuk penelitian berikutnya mengenai pengaruh penambahan serat ampas aren dengan *alkali treatment* terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton adalah:

1. Penelitian ini sudah menunjukkan suatu keberhasilan penggunaan serat ampas aren dalam campuran beton. Keberhasilan ini akan meningkat jika ke depannya, *water-to-binder ratio* diperhatikan sebagai variabel kontrol sehingga seluruh benda uji benar-benar dapat diperbandingkan.
2. Dalam pembuatan beton serat ampas aren ini, digunakan metode pemanjatan manual sehingga kekuatan pada proses pemanjatan pada setiap benda uji tidaklah sama. Untuk penelitian selanjutnya, lebih baik digunakan *vibrator* untuk meminimalisir kemungkinan adanya *microvoids* dalam beton.
3. Durabilitas serat ampas aren masih belum diteliti dalam penelitian ini. Untuk ke depannya, durabilitas serat ampas aren bisa diperhatikan sebagai fokus utama dalam penelitian selanjutnya.
4. Ruang lingkup penelitian ini masih bisa dikembangkan, yaitu dengan persentase dan panjang serat yang lebih bervariasi.

6. DAFTAR REFERENSI

Bachtiar, D., Sapuan, S. M., & Hamdan, M. M. (2010). Flexural Properties of Alkaline Treated Sugar Palm Fibre Reinforced Epoxy Composites. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 1(January-June), 79–90.

Brown, R., Shukla, A., & Natarajan, K. R. (2002). *Fiber Reinforcement of Concrete Structures* (pp. 1–51).

Daniel, J. I., Ahmad, S. H., Arockiasamy, M., Ball, H. P., Batson, G. B., Criswell, M. E., Dorfmueler, D. P., et al. (2002). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported by ACI Committee 544* (Vol. 96).

Fahim, I. S., Elhaggar, S. M., & Elayat, H. (2012). Experimental Investigation of Natural Fiber Reinforced Polymers. *Materials Sciences and Applications*, 3(February), 59–66. doi:10.4236/msa.2012.32009

Hashim, M. Y., Roslan, M. N., Amin, A. M., Mujahid, A., & Zaidi, A. (2012). Mercerization Treatment Parameter Effect on Natural Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite : A Brief Review. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 1638–1644.

Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Leman, Z., Rahman, M. Z. A., Anwar, U. M. K., & Siregar, J. P. (2013). Sugar Palm (Arenga pinnata) : Its Fibres , Polymers and Composites. *Carbohydrate Polymers*, 91, 699–710. doi:10.1016/j.carbpol.2012.07.073

Russell, H. G., Anderson, A. R., Banning, J. O., Cook, J. E., Frantz, G. C., Hester, W. T., Moreno, J., et al. (1997). *State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete Reported by ACI Committee 363* (Vol. 92).

Torgal, F. P., & Jalali, S. (2009). Vegetable Fibre Reinforced Concrete Composites : A Review. *International Materials Symposium, 5, Lisboa, Portugal, 2009 – “Materials 2009 : Recent Advances in Characterization, Processing, Design and Modelling of Structural and Functional Materials : Proceedings”*. [S.l : s.n., 2009].