

# PENGARUH PEMAKAIAN SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) PADA CAMPURAN ASPAL TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN KETAHANAN RENDAMAN AIR

Muhammad Nawi<sup>1</sup>, Alfian Hamsi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Jalan Almamater, Medan 20155

Email: [muhammadnawi46@yahoo.co.id](mailto:muhammadnawi46@yahoo.co.id)

## Abstrak

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan pabrik/industri pengolahan minyak kelapa sawit yang tersedia dalam jumlah banyak dan belum dimanfaatkan secara serius atau dengan kata lain kebanyakan hanya dibuang sebagai sampah. Padahal tandan kelapa sawit ini mempunyai kandungan serat yang cukup tinggi yaitu mengandung komposisi kimia selulosa dan holoselulosa yang tinggi. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki nilai untuk direkayasa menjadi material alternatif yang dapat dimanfaatkan dengan alasan masih berlimpahnya bahan baku, dapat didaur ulang, bebas korosi, umur pakai dapat lebih lama, mudah di desain, serta ekonomis. Sehingga diharapkan juga pencampuran Tandan kosong kelapa sawit dengan aspal dapat meningkatkan kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan dan menganalisis kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air pada aspal campuran dengan pemakaian serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) 3 %, 5 % dan 10 %. Bentuk fisik dari spesimen adalah silinder berdiameter 100 mm dan tinggi rata-rata 65,60 mm dengan berat rata-rata 1171,2 gr. Spesimen diuji dengan metode uji tekan statik menggunakan alat uji tekan Marshall standar untuk aspal. Parameter yang diteliti adalah kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air atau indeks penurunan kekuatan tekan setelah proses perendaman. Hasilnya diperoleh kekuatan tekan rata-rata spesimen aspal murni (0 % serat TKKS) adalah 1,108 MPa, 3 % serat TKKS sebesar 1,440 MPa, 5 % serat TKKS sebesar 1,613 MPa, 10 % serat TKKS sebesar 1,010 MPa. Indeks kekuatan tekan sisa setelah perendaman untuk spesimen aspal murni (0 % serat TKKS) adalah 91 %, aspal campur 3 % serat TKKS sebesar 90 %, aspal campur 5 % serat TKKS sebesar 89 %, aspal campur 10 % serat TKKS sebesar 75 %..

*Kata kunci : Serat TKKS, Aspal campur serat TKKS, Uji kekuatan tekan, Uji ketahanan rendaman air.*

## 1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang menghubungkan kawasan antar kawasan. Fungsinya dapat meningkatkan kegiatan ekonomi di suatu tempat karena menolong orang untuk pergi atau mengirim barang lebih cepat ke suatu tujuan. Dengan adanya jalan, komoditi dapat mengalir ke pasar setempat juga mengembangkan ekonomi lalu lintas di sepanjang lintasannya. Disisi lain, mengingat beban-beban yang ditanggung dari aktifitas pengangkutan barang dan manusia dapat menyebabkan kerusakan pada jalan. Penyebab lain yaitu kondisi iklim di Indonesia beriklim tropis, dimana suhu dan curah hujan umumnya tinggi,

Penyebab dan akibat kerusakan jalan perlu dievaluasi terlebih dulu agar penanganan konstruksi apakah itu bersifat pemeliharaan, penunjang, peningkatan ataupun rehabilitasi dapat dilakukan dengan baik. Salah satu perbaikan kerusakan konstruksi jalan dapat dilakukan dengan melakukan pengujian campuran aspal dengan menggunakan aspal yang dicampur dengan bahan komposit berjenis serat kelapa sawit. Adapun pengujian yang akan dilakukan adalah uji kekuatan tekan yaitu kemampuan suatu bahan/material dalam menerima dan menahan pembebanan atau loading yang diberikan. Pengujian kedua yaitu uji ketahanan rendaman air dengan menguji ketahanan daya ikat/adhesi campuran

beraspal terhadap pengaruh air dan suhu.

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

**Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit**

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah yang tersedia dalam jumlah banyak dan belum dimanfaatkan. Selama ini limbah TKKS tersebut belum dimanfaatkan secara serius atau dengan kata lain kebanyakan hanya dibuang sebagai sampah. Padahal TKKS ini mempunyai kandungan serat yang tinggi yaitu mengandung selulosa dan holoselulosa yang tinggi [1].

Secara fisik TKKS terdiri dari berbagai macam serat. Berdasarkan struktur tersebut dapat dibayangkan bahwa sebenarnya TKKS adalah kumpulan jutaan serat organik yang memiliki kemampuan dalam menahan air yang ada di sekitarnya. Secara fisik struktur tersebut akan mengalami proses dekomposisi dan degradasi bahan organik sehingga akan mengalami perubahan struktur menjadi seresah. Secara umum sifat fisik dan morfologi serat TKKS diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Sifat Fisik dan Morfologi Tandan Kosong Kelapa Sawit[2]

Parameter	Tandan Kosong Kelapa Sawit	
	Bagian Pangkal	Bagian Ujung
Panjang Serat (mm)	1,20	0,76
Diameter Serat (µm)	15,00	114,34
Tebal dinding (µm)	3,49	3,68
Kadar serat (%)	72,67	62,47
Kadar non serat (%)	27,33	37,53

**Aspal**

Aspal merupakan suatu cairan kental yang terdiri dari senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh dan tak jenuh, alifatik dan aromatik yang mempunyai atom karbon sampai

150 per molekul. Atom selain hidrogen dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hydrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen dan nitrogen, serta sejumlah renik besi, nikel, dan vanadium[3].

Campuran beraspal merupakan campuran yang terdiri dari kombinasi agregat kasar, agregat halus dan filler yang dicampur dengan aspal. Pencampuran dilakukan sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam. Campuran beraspal terdiri dari dua keadaan : panas (*hotmix*) dan dingin (*coldmix*).

Agregat adalah 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. Agregat merupakan komponen utama dalam struktur perkerasan jalan, dimana agregat mempunyai komposisi terbesar dalam campuran, umumnya berkisar antara 90 - 95 % dari berat total campuran, atau 75 -85 % dari volume campuran. Kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

**Metode Pengujian Marshall**

Konsep dasar Metode pengujian Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flowmeter.

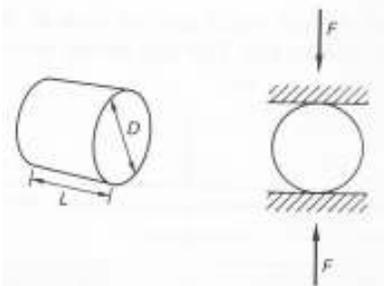
Nilai dari *Marshall stability* diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

### *Pembacaan arloji tekan × Angka korelasi beban × Faktor kalibrasi*

Dimana pembacaan arloji tekan didapat dari pembacaan dial atau arloji flow, angka korelasi beban dapat dilihat pada lampiran II sedangkan faktor kalibrasi senilai 27,65736 kgf diperoleh dari standarisasi marshall[4].

### Uji Tekan

Tegangan tekan berlawanan dengan tegangan tarik. Jika pada tegangan tarik, arah kedua gaya menjauhi ujung benda (kedua gaya saling berjauhan), maka pada tegangan tekan, arah kedua gaya saling mendekati. Dengan kata lain benda tidak ditarik tetapi ditekan (gaya-gaya bekerja di dalam benda). Kekuatan tekan material adalah nilai tegangan tekan uniaksial yang mempunyai modulus kegagalan ketika saat pengujian. Perubahan bentuk benda yang disebabkan oleh tegangan tekan dinamakan mampatan. Misalnya pada tiang-tiang yang menopang beban, seperti tiang bangunan mengalami tegangan tekan. Kekuatan tekan biasanya diperoleh dari percobaan dengan alat pengujian tekan. Ketika dalam pengujian nantinya, diameter spesimen akan menjadi lebih mengecil seperti menyebar lateral. Prinsip pengujian tekan dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Prinsip *Brazilian Test* [5]

### Metode Perendaman

Uji perendaman Marshall merupakan uji lanjutan dari Marshall sebelumnya dengan maksud mengukur ketahanan daya ikat/adhesi campuran beraspal terhadap pengaruh air dan suhu. Pada sebagian besar agregat,

daya ikat terhadap air jauh lebih besar jika dibandingkan terhadap aspal, karena air memiliki wetting power yang jauh lebih besar dari aspal. Ada beberapa cara yang digunakan untuk menilai tingkat durabilitas campuran beraspal yaitu dengan mencari indeks kekuatan sisa atau indeks penurunan stabilitas. Perbedaan keduanya adalah dasar perbandingan dari variasi lamanya perendaman dalam alat water bath<sup>[6]</sup>. Indeks penurunan kuat tekan campuran beraspal akibat pengaruh perendaman dapat dicari menggunakan rumus berikut :

$$\text{Indeks kuat tekan sisa (\%)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \%$$

Dimana :

S1 = Kuat tekan dari benda uji dengan perendaman 30 menit

S2 = Kuat tekan dari benda uji dengan perendaman 24 jam.

### 3. METODOLOGI

#### Persiapan Bahan

1. Aspal yang disiapkan untuk membuat specimen adalah aspal dengan angka penetrasi 60/70. Aspal penetrasi 60/70 adalah bagian dari aspal keras yang memiliki densitas (berat jenis) sebesar 1,0 gr/cm<sup>3</sup>. Aspal penetrasi 60/70 memiliki titik lembek 48-58 °C, titik leleh 160 °C dan titik nyala 200 °C.
2. Serat dalam bentuk serbuk digunakan agar serat mudah menyatu dengan bahan aspal.
3. Agregat yang digunakan terdiri dari tiga jenis yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler*(mineral pengisi).

#### Persiapan Alat

1. Mesin penghalus serat digunakan untuk menghaluskan serat TKKS menjadi berukuran 0,1 – 0,8 mm.
2. Mesin pengayak digunakan untuk menyaring hasil penggilingan serat TKKS
3. Cetakan spesimen digunakan sebagai alat cetakan tempat material-material spesimen dipadatkan.

4. Landasan Pemasak Digunakan sebagai tempat pemadatan dari proses pencetakan spesimen. Landasan pematat terbuat dari bahan plat baja berukuran 30,48 cm × 30,48 cm × 2,54 cm.
5. Alat pematat manual mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm, berat 4.536 gr dan tinggi jatuh bebas 457,2 mm ± 15,24 mm (18 inchi ± 0,6 inchi).
6. Alat pengeluar benda uji (*ekstruder*) berdiameter 100 mm (3,95 in) bertempat diatas batang hidrolik.
7. Oven digunakan untuk memanaskan agregat yang terdiri dari agregat kasar (kerikil besar dan kerikil medium/sedang), agregat halus (abu batu dan pasir), dan *filler* (semen)
8. *Water bath* digunakan sebagai alat pengujian ketahanan rendaman air dengan cara spesimen direndam selama 24 jam dengan temperatur air perendaman 60°C. *Water bath* memiliki kedalaman 152,4 mm (6 in) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang dapat memelihara temperatur penangas air pada 60°C ± 1°C
9. Pengujian tekan alat yang pakai yaitu alat uji Marshall yaitu alat uji tekan standar untuk aspal.

#### Persiapan Bahan Baku

1. Agregat disaring dengan mesin penyaring dengan ketentuan sebagai berikut:
2. Agregat yang terdiri dari agregat kasar (kerikil besar dan kerikil medium/sedang), agregat halus (abu batu dan pasir), dan *filler* (semen) dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C-110°C selama 24 jam.
3. Agregat dikeluarkan dari oven dan ditunggu sampai beratnya tetap
4. Agregat dan *filler* dipisah-pisahkan dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan dengan berat 1 spesimen 1134 gr. Agregat dan *filler* disatukan dan dimasukkan dalam kantong plastik berkapasitas 2000 gr.
5. Aspal dimasukkan kedalam teko dan timbang dengan neraca analitik ketelitian 0,10 gr seberat 66 gr (5,5 % dari jumlah spesimen)
6. Serat tandan kosong kelapa sawit yang sudah berbentuk serbuk ditimbang dengan menggunakan nerca analitik ketelitian 0,01 gr dengan berat sesuai yang telah ditentukan.

#### Pembuatan Spesimen

1. Agregat dan filler yang sudah dicampur dipanaskan dalam wadah wajan sampai mencapai suhu 120°C.
2. Untuk sampel 1 serat TKKS dicampur saat aspal mencapai temperatur 50°C, sampel 2 dicampur saat aspal mencapai temperatur 70°C dan sampel 3 mencapai temperatur 90°C lalu dimixer kemudian dipanaskan sampai mencair dan mencapai suhu 165°C.
3. Aspal dan serat TKKS yang telah mencair dituangkan kedalam wajan yang berisi agregat dan filler yang telah dipanaskan sampai mencapai suhu 150°C, lalu diaduk secara cepat sampai agregat tercampur dan tertutupi dengan aspal secara merata.
4. Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama.
5. Letakkan cetakan di atas landasan pematat dan ditahan dengan pemegang cetakan;
6. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dalam cetakan diatas landasan cetakan.
7. Kunci cetakan pematat yang telah diletakkan pada landasan pematat agar tidak terjadi pergeseran.
8. Campuran aspal yang telah tercampur secara merata dimasukkan ke dalam cetakan lalu dilakukan tusukan sebanyak 15 kali disekeliling bagian pinggir dan 10 kali dibagian tengah campuran aspal, kemudian letakkan kembali kertas saring di bagian atas campuran.
9. Letakkan kertas saring di atas permukaan benda uji.
10. Alat pematat manual diletakkan diatas permukaan benda uji yang akan ditumbuk dan pegangan alat

pemadat manual dipasang pada pengunci landasan pemadat.

11. Dilakukan proses pemadatan dengan alat pemadat sebanyak 75 kali tumbukan.
12. Pelat alas dan leher sambung dikeluarkan dari landasan pemadat lalu dilepas dari cetakan yang masih berisi aspal, kemudian cetakan dibalik dan dipasang kembali pada landasan pemadat.
13. Dilakukan pemadatan kembali pada permukaan spesimen yang telah dibalik dengan tumbukan sebanyak 75 kali.
14. Cetakan yang berisi spesimen dilepas dari landasan pemadat, lalu cetakan berikut spesimen diletakkan pada alat pengeluaran spesimen atau ejektor.
15. Spesimen dikeluarkan dari cetakan dan diletakkan pada permukaan yang rata, kemudian dibiarkan selama 24 jam pada suhu ruang.

Berikut merupakan gambar spesimen yang sudah selesai dilakukan pemadatan :



Gambar 3.1 Spesimen aspal murni



Gambar 3.2 Spesimen Kadar Serat TKKS 3 %



Gambar 3.3 Spesimen kadar Serat TKKS 5 %



Gambar 3.4 Spesimen kadar Serat TKKS 10%

### Pengujian Kekuatan Tekan

1. Spesimen direndam dalam *water bath* selama 30 menit dengan temperatur tetap 60 °C.
2. Spesimen dikeluarkan dari *water bath* dan spesimen diletakkan dalam bagian bawah alat penekan uji Marshall.
3. Bagian atas cincin penguji alat penekan uji Marshall dipasang di atas benda uji dan diletakkan seluruhnya dalam mesin uji Marshall.
4. Arloji pengukur kekuatan tekan diatur kedudukan jarum penunjuk pada angka 0.
5. Kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
6. Spesimen diberikan pembebanan dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm (2 in) per menit sampai jarum pengukur pembebanan maksimum tercapai dan apabila jarum pengukur mulai berbalik arah maka mesin dimatikan.



Gambar 3.5 Prinsip pengujian tekan

**Pengujian Ketahanan Rendaman Air**

Perbedaan nilai kekuatan tekan antara uji kekuatan tekan dan uji ketahanan rendaman air adalah dasar perbandingan dari variasi lamanya perendaman dalam alat *water bath*. Berikut merupakan gambar dari spesimen saat dilakukan perendaman selama 24 jam.



Gambar 3.6 Perendaman selama 24 jam

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Pengujian Uji Kekuatan Tekan**

Tabel 4.1 Data hasil uji kekuatan tekan RSNI M-01-2003

Kadar Serat	No	Diameter (d) (mm)	Panjang (l) (mm)	Gaya max. (kg.f)
0 % (aspal murni)	1	100	65,8	1107,99
	2	100	66,2	1120,03
	3	100	65,5	1288,64
3 %	1	100	65,4	1384,99
	2	100	66,2	1493,37
	3	100	65,5	1661,97
5 %	1	100	65,6	1565,64
	2	100	65,9	1758,32
	3	100	64,0	1881,78
10 %	1	100	65,9	951,42
	2	100	65,7	999,60
	3	100	65,0	1228,44

Berdasarkan tabel 4.1 maka nilai kekuatan tekan spesimen dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{2F}{\pi LD}$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

F = Gaya maksimum (N)

L = Panjang specimen (mm)

D = Diameter (mm)

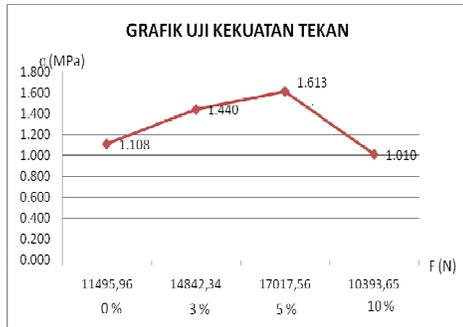
Nilai pembebanan mempunyai satuan dalam Kg.f yang kemudian dikonversikan ke satuan N yang mana 1kg.f = 9,807 N.

Dari hasil perhitungan uji kekuatan tekan menggunakan rumus di atas langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai rata-rata sebagai berikut

$$- \text{Fmax rata-rata} = \frac{F1+F2+F3}{3}$$

$$- \text{orata-rata} = \frac{\sigma1 + \sigma2 + \sigma3}{3}$$

Berikut ini merupakan grafik hasil perhitungan nilai Gaya max. rata-rata dan Kekuatan tekan rata-rata.



Gambar 4.1 Grafik  $\sigma$  dan F hasil uji kekuatan tekan SNI RSNI M-01-2003

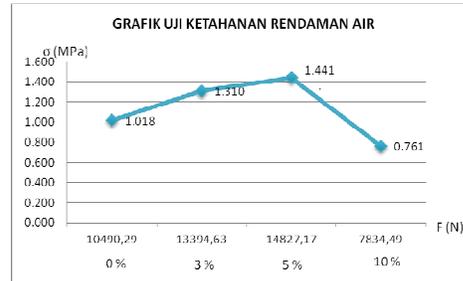
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa grafik hasil uji kekuatan tekan dengan serat TKKS 3% dan 5% mengalami kenaikan kekuatan tekan dibandingkan dengan aspal murni (0% serat TKKS) dan mengalami penurunan kekuatan tekan pada spesimen serat TKKS 10%

### Hasil Pengujian Uji Ketahanan Rendaman Air

Tabel 4.2 Data hasil uji ketahanan rendaman air SNI 03-6753-2002

Kadar Serat TKKS	No	Diameter (d) (mm)	Panjang (l) (mm)	Gaya max. (kg.f)
0 % (aspal murni)	1	100	64,9	1041,24
	2	100	66,0	1023,67
	3	100	65,9	1144,11
3 %	1	100	65,3	1192,30
	2	100	65,6	1324,49
	3	100	64,5	1580,67
5 %	1	100	64,8	1392,39
	2	100	66,0	1541,54
	3	100	65,8	1601,76
10 %	1	100	65,8	674,42
	2	100	65,6	746,68
	3	100	65,2	975,50

Dari hasil perhitungan uji ketahanan rendaman air dapat disajikan nilai gaya maksimum rata-rata dan data kekuatan tekan rata-rata yang dalam bentuk grafik seperti berikut ini :

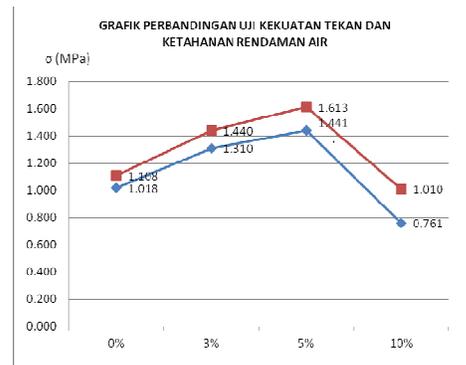


Gambar 4.2 Grafik  $\sigma$  dan F hasil uji ketahanan rendaman air SNI 06-2489-1991

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hasil uji ketahanan rendaman air bahwa semua spesimen mengalami penurunan kekuatan tekan dibandingkan dengan pengujian perendaman 30 menit.

### Perbandingan kekuatan tekan

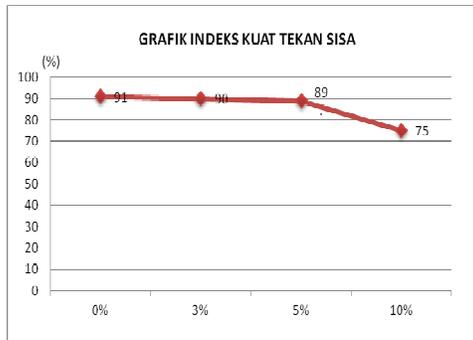
Jika nilai kekuatan tekan antara uji kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air dibandingkan, maka didapat grafik seperti yang terlihat pada gambar berikut



Gambar 4.3 Grafik perbandingan uji kekuatan tekan dan uji ketahanan rendaman air

Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan uji kekuatan tekan dan uji ketahanan rendaman air bahwa semua spesimen uji kekuatan tekan atau perendaman 30 menit memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan spesimen uji ketahanan rendaman air atau perendaman 24 jam.

### Indeks Kuat Tekan Sisa



Gambar 4.4 Grafik indeks kekuatan sisa

Gambar 4.4 menunjukkan grafik indeks kekuatan sisa diatas bahwa spesimen campuran aspal 0% serat TKKS memiliki indeks kekuatan sisa yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap air dibandingkan dengan spesimen yang ditambah serat TKKS.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh beberapa hasil yang merupakan jawaban dari tujuan yang dijadikan kesimpulan penelitian ini di antaranya:

1. Dilihat dari penelitian dapat disimpulkan bahwa spesimen berbahan campuran serat tandan kosong kelapa sawit dengan kadar tertentu mempunyai ketangguhan yang lebih baik dibandingkan aspal murni sampai batas pencampuran tertentu..
2. Kekuatan ketahanan rendaman air aspal murni dibandingkan aspal campuran serat tandan kosong kelapa sawit 3 % dengan persentase penurunan indeks kekuatan sisa 1%. Aspal campur serta tandan kosong kelapa sawit 5 % dengan persentase penurunan indeks kekuatan sisa 2 %. Aspal campur serta tandan kosong kelapa sawit 10 % dengan persentase penurunan indeks kekuatan sisa 16 %.
3. Dapat disimpulkan bahwa campuran serat tandan kosong kelapa sawit 3 % sampai 5 % dapat meningkatkan kekuatan tekan yang lebih baik dari pada aspal murni sampai pada batas tertentu, sedangkan pencampuran

serat TKKS 10 % dapat mengakibatkan penurunan kekuatan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subianto, Bambang, dkk. *Utilization of Fruit Bunch Waste from Oil and Palm Industry for Particleboard Using Phenol Formaldehyde Adhesive*, Wasta PPKS: 1-4
- [2] Darnoko, dkk. 1995. Sifat Fisik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Puslitbang*. Bandung
- [3] Affandi, Furqan. 2010. Pengaruh Asbuton Semi Ekstraksi Pada Campuran *Stone Mastic Asphalt*. *Jurnal Puslitbang Jalan dan Jembatan*: Bandung
- [4] RSNi M-01-2003. Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshall.
- [5] Anam, Irsyadul. 2011. Pemanfaatan Polipropilena Daur Ulang Sebagai Bahan Aditif Dalam Pembuatan Aspal Polimer Menggunakan Proses Ekstruksi. Universitas Sumatera Utara: Medan
- [6] SNI 03-6753-2002. Metode Pengujian Pengaruh Air Terhadap Kuat Tekan Campuran Beraspal yang Dipadatkan.