

SIFAT-SIFAT MEKANIS ASPAL YANG DITAMBAHKAN SERBUK ARANG TEMPURUNG KELAPA

Mashuri* dan M. Husni Maricar*

Abstract

The objective of this research is to know mechanical properties of bitumen mixtures coconut charcoal powder. This research was done in Highway and transportation laboratory of Civil Department, Tadulako University. Percentage of coconut charcoal powder content based on weight of bitumen. The percentage of coconut charcoal powder in bitumen are 2%, 4%, 6% and 8% respectively and comparison with properties of bitumen without additive material. The properties of bitumen include the following: the penetration value of bitumen, the Ductility value, the softening point value, density of bitumen value, loss on heating of bitumen, flash and fire point of bitumen values.

The result of this research indicates that the coconut charcoal powder in bitumen between 2% to 8% still enough for spesification except on ductility properties of bitumen values. This implies that, increment the coconut charcoal in bitumen potential influence on asphalt pavement include stiffness and brittle of mixtures.

Keyword: *changing effects of the land function*

1. Pendahuluan

Perkembangan di bidang ekonomi dewasa ini telah berdampak kepada semakin tingginya permintaan akan jasa transportasi jalan raya. Tingginya permintaan akan jasa transportasi jalan raya tidak hanya ditandai dengan meningkatnya volume lalu-lintas kendaraan tetapi juga ditandai dengan peningkatan beban gandar kendaraan dengan tekanan ban yang juga tinggi sehingga struktur lapis perkerasan jalan beraspal dituntut untuk dapat melayani dengan baik perubahan-perubahan kondisi tersebut. Sementara di sisi lain faktor cuaca dan suhu juga sangat mempengaruhi keawetan lapis perkerasan aspal. Berdasarkan hal tersebut, dewasa ini telah banyak diteliti tentang pengembangan perubahan aspal (modifikasi aspal) dengan memanfaatkan bahan tambah dari limbah disamping dapat memperbaiki sifat-sifat perilaku aspal juga diharapkan ramah terhadap lingkungan.

Serbuk arang tempurung kelapa telah pernah dicoba ditambahkan dalam campuran beton aspal (Berry, dalam Sulaksono W,2001). Hasilnya menyimpulkan bahwa nilai stabilitas dan kelelahan campuran tersebut cukup baik untuk digunakan sebagai bahan perkerasan untuk lalu lintas tinggi. Akan tetapi campuran yang menggunakan arang tempurung kelapa sebagai filler memiliki nilai

durabilitas yang sangat rendah jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen sebagai filler.

Meskipun serbuk arang memiliki unsur-unsur yang sama seperti pada unsur pada aspal yaitu Carbon non Polar, pengujian sifat-sifat aspal baik yang ditambahkan maupun yang tidak ditambahkan dengan serbuk arang tempurung kelapa perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat mekanis aspal akibat penambahan material-material tambahan tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sejauh mana perubahan sifat-sifat fisik aspal yang ditambahkan serbuk arang tempurung kelapa. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberi informasi awal tentang kemungkinan tidaknya serbuk arang tempurung kelapa dapat memperbaiki sifat-sifat fisik aspal.

2. Tinjauan Pustaka

2. 1. Aspal

Aspal adalah suatu cairan kental ataupun padat yang merupakan senyawa hidrokarbon dan turunannya, yang terlarut dalam Trichloroethylene dan tidak mudah berubah dan melunak secara perlahan apabila dipanaskan, memiliki warna hitam atau coklat, memiliki sifat kedap air dan sifat

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

adhesi. Aspal diperoleh melalui proses destilasi dari minyak mentah dan bisa ditemukan dalam bentuk deposit alami yang tercampur dengan mineral lain.

Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat dalam campuran beton aspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks yang membentuknya seperti *Asphaltenes*, Resins dan *Oils*.

- *Asphaltenes*

Adalah suatu bagian yang menyerupai lapisan tipis datar yang secara efektif membuat suatu bentuk tak beraturan padat. Lapisan tipis tersebut memiliki muatan yang kuat untuk bekerja sama dengan yang lainnya sehingga bagian ini disebut bagian yang bersifat **polar**, disamping memiliki ketahanan terhadap geser. Ketika diekstraksi, bagian ini terlihat dan dirasakan seperti partikel yang padat dan sangat halus. *Oils* dan *Asphaltenes* tidak dapat dicampurkan.

- *Resins*

Adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa layan.

- *Oils*

Adalah Cairan yang berwarna lebih mudah yang merupakan media dari *Asphaltenes* dan Resin. *Oils* tidak bermuatan listrik sepanjang rangkaian (**Non Polar**). Kekentalan sangat bergantung kepada tingkat kekomplekan rangkaian-rangkaiannya.

2. 2. Kualitas aspal

Meskipun aspal merupakan bagian yang volumenya kecil dibanding dengan komponen-komponen penyusun campuran beton aspal, ia merupakan bagian yang krusial dalam menyediakan ikatan yang awet/ tahan lama dan menjaga campuran agar tetap dalam kondisi elastis. Terdapat beberapa kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin kinerja campuran yang memuaskan yaitu *rheologi* aspal, sifat kohesif, sifat adhesi dan sifat *durability*.

- *Rheology*

Rheology merupakan ilmu yang mempelajari deformasi perubahan bentuk dan aliran massa. Aspal memiliki dua sifat *rheology* penting yaitu *thermoplastic* dan *visco-elastic*. *Thermoplastic* berarti kekentalan aspal turun bersamaan dengan meningkatnya panas dan sebaliknya meningkat seiring dengan menurunnya suhu. *Visco-elastic* berarti ketika gaya bekerja/diaplikasikan struktur aspal mengalami distorsi sebagai mana aliran. Distorsi adalah pergerakan yang dapat

kembali/membaik lagi dan dijelaskan sebagai tingkah laku elastis.

- Kohesi

Adalah kemampuan untuk mempertahankan ikatan antara sesama bentuk/senyawa (aspal). Kemampuan daya kohesi suatu aspal dengan tingkat penetrasi tertentu diukur dengan alat uji daktilitas pada temperatur rendah (suhu ruang).

- Adhesi

Adalah kemampuan untuk mempertahankan ikatan antar bentuk /senyawa dengan senyawa lainnya (aspal dengan agregat). Kemampuan daya adhesi aspal didekati dengan *Marshall Retained Strength Index*.

- Durabilitas

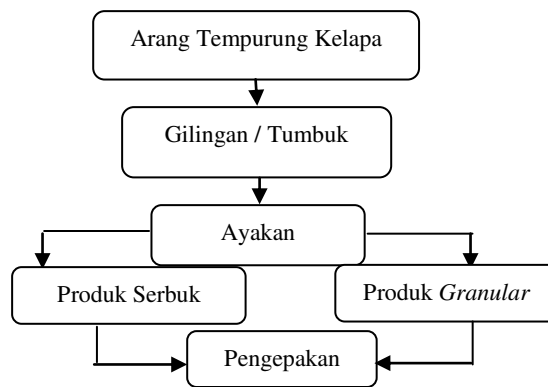
Adalah kemampuan untuk mempertahankan secara baik kualitas *rheology*, kohesi dan adhesi dari aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat durabilitas aspal adalah *Oxidative hardening*, *Evaporative hardening* dan *Exudative hardening* (*Shell Bitumen Handbook*, 1990).

Dalam penggunaan aspal yang didasarkan kepada kondisi temperatur, terdapat prinsip dasar yang diterangkan oleh *Krebs* dan *Walker*, 1971 dalam hal pemilihan jenis aspal yaitu, aspal dengan penetrasi rendah sebaiknya digunakan untuk daerah yang beriklim panas demi menghindari pelunakan (*softening*) ataupun *bleeding* pada musim panas dan aspal dengan penetrasi tinggi dapat digunakan pada daerah beriklim dingin demi mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*) pada musim dingin.

2. 3. Serbuk arang tempurung kelapa

Kandungan arang tempurung kelapa terdiri dari Karbon non polar yang besarnya 91% (Berry, 1991) seperti yang terdapat pada aspal.

Alur pembuatan serbuk arang tempurung kelapa dapat digambarkan pada Gambar 1.

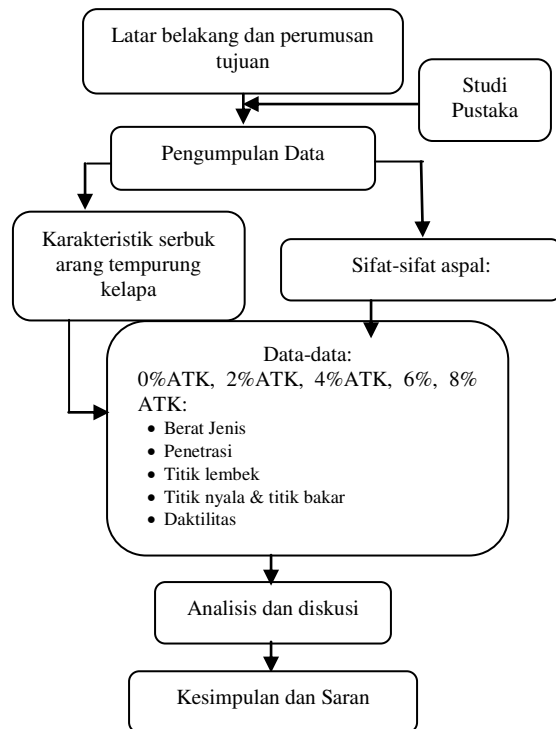


Gambar 1. Bagan alir pembuatan serbuk arang tempurung kelapa

3. Metode Penelitian

3.1 Bagan alir penelitian

Bagan alir pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.2 Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Aspal penetrasi 60/70 yang terdapat di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya dan arang tempurung kelapa didapatkan dari pasar tradisional di Kota Palu yang selanjutnya dijadikan ukuran serbuk (lolos saringan no. 200) di Laboratorium Transportasi dan Jalan Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako.

Sementara peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set peralatan pengujian aspal rutin dan alat daktilitas yang terdapat pada Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako.

3.3 Standar pengujian

Estándar pengujian pada penelitian ini adalah:

- Penetrasi aspal : SNI 06-2546-1991
- Titik lembek : SNI 06-2434-1991
- Daktilitas : SNI 06-2432-1991
- Titik nyala : SNI 06-2433-1991
- Berat jenis : SNI 06-2488-1991

- Penurunan berat (RTFOT) : AASHTO T 240
- Penetrasi setelah RTFOT : SNI 06-2546-1991

3.3. Proses pencampuran

Proses pencampuran serbuk arang tempurung kelapa (ATK) dalam aspal Pen 60/70 adalah sebagai berikut:

- Panaskan aspal pen 60/70 pada temperatur 130°C .
- Setelah aspal mencair dengan baik, tambahkan 1% ATK sampai 6% ATK terhadap berat aspal.
- Lakukan pengujian aspal sesuai dengan jenis-jenis pengujian aspal yang telah direncanakan.

Kemudian hal yang perlu diperhatikan dalam proses pencampuran ATK dengan aspal adalah:

- Komposisi dan temperatur pencampuran
- Waktu dan kecepatan pengadukan untuk mencapai homogenitas campuran.

4. Hasil dan diskusi

4.1. Hasil pengujian serbuk arang tempurung kelapa

Karakteristik serbuk arang tempurung kelapa didapat dari hasil pengujian yang ditabelkan dalam tabel 1. Ini memperlihatkan bahwa unsur penyusun dominan dari serbuk arang tempurung kelapa adalah unsur Carbon, dengan Berat jenis yang lebih ringan dari berat jenis aspal pada umumnya.

Tabel 1. Hasil uji komposisi dan Berat Jenis Serbuk Arang tempurung kelapa

Parameter uji	Satuan	Hasil Uji
Kadar air	%	3,83
Kadar Karbon	%	91,38
Kadar abu	%	4,79
Berat Jenis	gr/cm ³	0,5722

Sumber: Hasil uji laboratorium, 2005

4.2. Hasil pemeriksaan aspal

Hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Jurusan Sipil Untad dirangkum dalam tabel 2. Dari hasil pemeriksaan awal tersebut diketahui bahwa semua data-data yang didapatkan memenuhi persyaratan/spesifikasi aspal yang dipersyaratkan untuk dipergunakan dalam campuran beraspal.

4.3. Hasil pemeriksaan aspal yang ditambahkan serbuk arang tempurung kelapa

Hasil pengujian karakteristik aspal pen 60/70 yang telah ditambahkan dengan serbuk arang tempurung kelapa (ATK) yang didasarkan pada prosentase terhadap berat aspal dirangkum dalam tabel 3.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan kualitas aspal pen 60/70

No.	Pengujian	Hasil pengujian	Spesifikasi	Satuan
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat (25°C, 5 detik)	69,5	60 - 79	0.1 mm
2	Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	0,17	Maksimum 0,8	% Berat
3	Penetrasi setelah kehilangan berat (25°C, 5 detik)	71,5	Minimum 4	% semula
4	Berat jenis (25°C)	1,028	Minimum 1,0	-
5	Titik lembek	48,21	48 - 58	° C
6	Titik nyala dan Titik bakar	335/338	Minimum 200	° C
7	Daktilitas (25°C , 5 cm/mnt)	141,00	Minimum 100	Cm

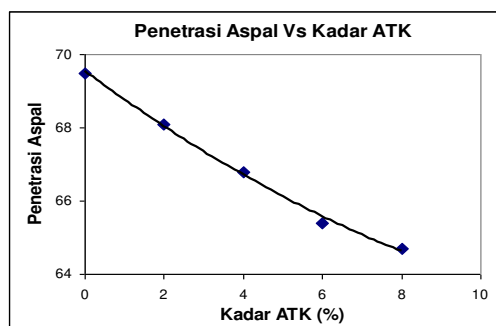
Tabel 3. Hasil pemeriksaan aspal pen 60/70 yang ditambahkan serbuk arang tempurung kelapa (ATK)

Pengujian	Variasi kadar ATK dalam aspal				
	0%	2%	4%	6%	8%
Penetrasi sebelum kehilangan berat (25°C, 5 detik)	69,5	67,3	65,7	62,7	60,7
Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	0,170	0,155	0,150	0,150	0,145
Penetrasi setelah kehilangan berat (25°C, 5 detik)	71,5	65,39	64,73	60,00	58,60
Berat jenis (25°C)	1,028	1,027	1,025	1,024	1,023
Titik lembek	48,21	49,20	49,47	50,75	51,50
Titik nyala dan Titik bakar	335/338	336/339	337/340	338/341	339/343
Daktilitas (25°C , 5 cm/mnt)	141,00	96,95	86,50	76,30	62,45

4.4 Pembahasan

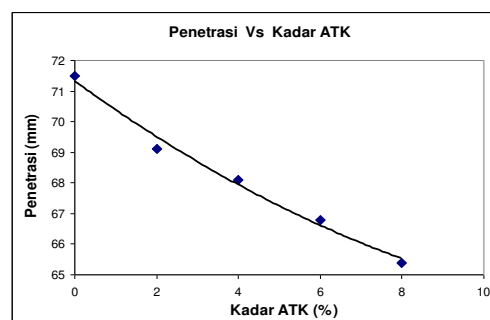
- Pengaruh serbuk arang tempurung kelapa pada nilai penetrasi aspal

Semakin besar serbuk arang tempurung kelapa yang ditambahkan pada aspal akan menyebabkan semakin berkurangnya nilai penetrasi, yang mengindikasikan bahwa aspal akan semakin keras (gambar 3). Penurunan yang terjadi disebabkan karena arang tempurung kelapa terdispersi membentuk koloid yang bersifat sebagai *asphaltenes*. Peningkatan *asphaltenes* inilah yang menyebabkan aspal menjadi semakin keras atau penetrasinya menurun.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kadar ATK dan Penetrasi Aspal sebelum kehilangan berat

Pada penetrasi setelah kehilangan berat, bertambahnya kadar serbuk arang tempurung kelapa (ATK) di dalam aspal menyebabkan penurunan penetrasi (gambar 4). Penyebab berkurangnya nilai penetrasi ini identik dengan penurunan penetrasi sebelum kehilangan berat, yaitu sifat arang tempurung kelapa dalam aspal cenderung tidak berubah akibat pemanasan. Malahan aspal cenderung menjadi lebih keras atau getas, kemungkinan karena *asphaltenes* yang lebih solid dengan komposisi yang lebih banyak dibanding dengan *maltenes* cenderung konstan dan mudah menguap karena pengaruh suhu dan reaksi kimia.

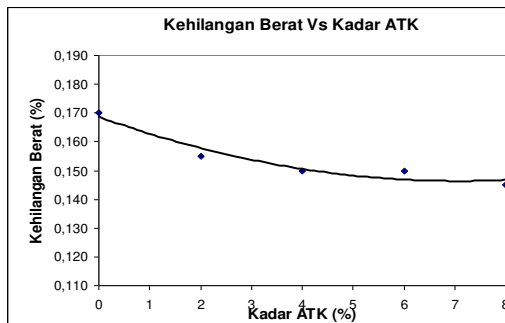


Gambar 4. Grafik Hubungan Kadar ATK dan Penetrasi Aspal Setelah Kehilangan Berat

Akan tetapi secara umum penetrasi aspal yang ditambahkan dengan serbuk arang tempurung kelapa hingga kadar 8% baik sebelum maupun setelah kehilangan berat masih memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan untuk aspal PEN 60/70 yaitu 62 sampai 79.

- Pengaruh serbuk arang tempurung kelapa pada kehilangan berat aspal

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa presentase kehilangan berat aspal cenderung turun seiring bertambahnya kadar arang tempurung kelapa. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena unsur serbuk arang tempurung kelapa yang ditambahkan ke dalam aspal dan dipanaskan secara bersama-sama didominasi oleh Karbon non-polar yang mengikat/ menyerap unsur-unsur yang mudah menguap di dalam aspal menjadi gumpalan-gumpalan yang keras tetapi cenderung getas dengan berat lebih ringan.



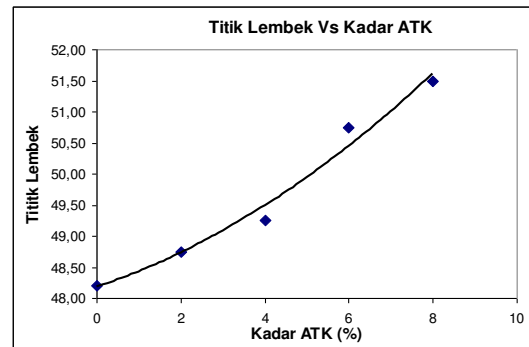
Gambar 5. Grafik Hubungan Kadar ATK dengan Kehilangan Berat

Pemeriksaan kehilangan berat aspal dengan penambahan arang tempurung kelapa sampai kadar 8% ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70

- Pengaruh Serbuk arang tempurung kelapa pada Titik lembek aspal

Pada gambar 6 diperlihatkan bahwa semakin besar serbuk arang tempurung kelapa yang ditambahkan pada aspal akan menyebabkan titik lembek meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa kecenderungan penambahan prosentase kadar serbuk ATK akan menyebabkan aspal menjadi tidak peka dengan temperatur. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya ikatan hidrokarbon di dalam aspal akibat penambahan serbuk ATK dimana hidrokarbon mempunyai sifat yang tahan terhadap temperatur yang tinggi. Sifat tersebut diakibatkan oleh jumlah hidrokarbon pada aspal

dalam *asphaltenes* sebagai akibat penambahan serbuk arang tempurung kelapa tidak diimbangi dengan penambahan media atau larutan dimana *asphaltenes* terikat atau larut, sehingga aspal menjadi lebih keras dan sulit untuk menjadi lunak atau menjadi lembek pada temperatur aspal normal.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kadar ATK dan Titik Lembek

Pemeriksaan titik lembek aspal dengan penambahan serbuk arang tempurung kelapa sampai kadar 8%, masih memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70.

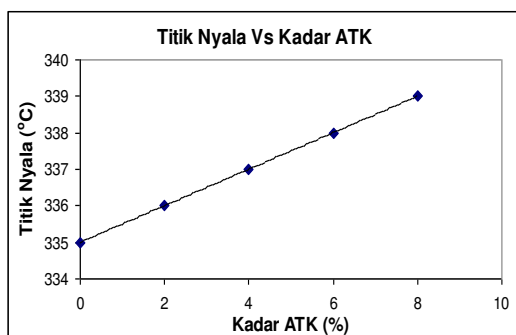
- Pengaruh Serbuk arang tempurung kelapa pada nilai titik nyala dan titik bakar aspal

Pada gambar 7 terlihat bahwa semakin besar kadar serbuk arang tempurung kelapa yang dicampurkan ke dalam aspal, akan menaikkan titik nyala aspal. Kemungkinan penyebab hal ini adalah, kandungan minyak (*oil*) dalam aspal larut atau komposisinya menjadi terbatas karena sebagai media dari *asphaltenes* yang mengandung banyak hidrokarbon harus mengikat atau menampung hidrokarbon tambahan dari arang tempurung kelapa, yang kemudian merubah molekul pada aspal menjadi lebih solit atau keras. Akibatnya dibutuhkan temperatur pemanasan yang lebih besar untuk melepaskan ikatan tersebut.

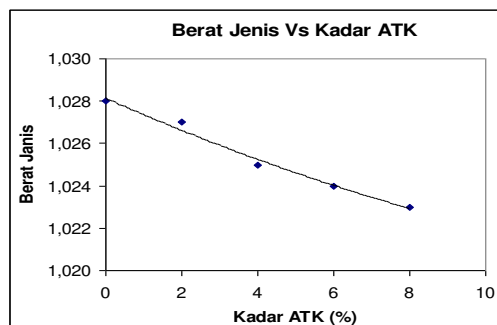
Naiknya suhu titik nyala ini juga mungkin terjadi karena minyak yang mudah menguap dan tersulut atau menyala komposisinya mengalami pengurangan dalam aspal sebagai akibat adanya unsur lain dari arang tempurung kelapa.

Ini menunjukkan bahwa penambahan arang tempurung kelapa ke dalam aspal berpotensi untuk meningkatkan temperatur maksimum pemanasan.

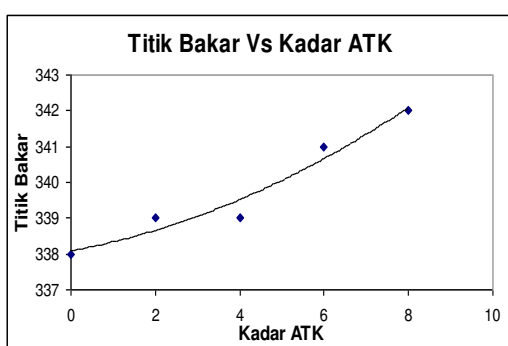
Hasil pemeriksaan titik nyala aspal dengan penambahan kadar arang tempurung kelapa sampai dengan 8% masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu minimum 200 °C.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kadar ATK dan Titik Nyala Aspal



Gambar 9. Grafik Hubungan Kadar ATK dengan Berat jenis Aspal



Gambar 8. Grafik Hubungan Kadar ATK dan Titik Bakar Aspal

Untuk titik bakar aspal, semakin besar kadar arang tempurung kelapa yang ditambahkan ke dalam aspal akan menaikkan titik bakar aspal tersebut. Naiknya titik bakar pada aspal akibat adanya penambahan arang tempurung kelapa, kemungkinan besar diakibatkan oleh adanya reaksi yang sama persis yang pada kenaikan titik nyala aspal.

- Pengaruh Serbuk arang tempurung kelapa pada Nilai Berat jenis aspal

Pada gambar 9 memperlihatkan bahwa adanya penambahan serbuk arang tempurung kelapa ke dalam aspal, mengakibatkan berat jenis aspal semakin mengecil. Dengan masuknya serbuk arang tempurung kelapa ke dalam aspal menyebabkan unsur atau senyawa pembentuknya semakin didominasi oleh unsur karbon dimana berat jenis karbon termasuk ringan. Hal ini akan berdampak kepada semakin ringannya berat aspal.

Sifat karbon yang ringan tetapi keras, merupakan salah satu penyebab banyaknya Baja/besi konstruksi dimana unsur logamnya dikurangi tetapi unsur karbonnya yang ditambah untuk mendapatkan berat struktur yang lebih ringan.

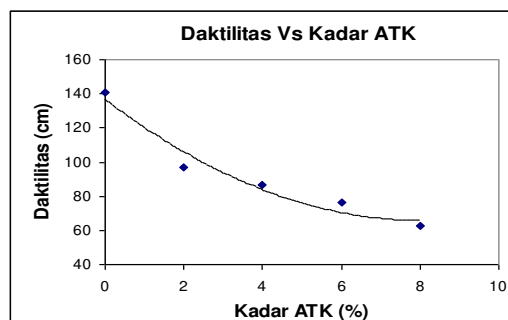
Hasil pemeriksaan berat jenis aspal dilihat secara keseluruhan, masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu 1,00 .

- Pengaruh Serbuk arang tempurung kelapa pada Daktilitas aspal

Pada gambar 10 terlihat bahwa penambahan serbuk arang tempurung kelapa ke dalam aspal menyebabkan nilai daktilitas aspal menurun. Pengurangan nilai daktilitas yang terjadi pada aspal dengan serbuk arang tempurung kelapa, mengindikasikan bahwa aspal menjadi lebih getas.

Hal tersebut terjadi karena penambahan serbuk arang tempurung kelapa yang mengandung hidrokarbon yang lebih besar, telah menambah kekerasan pada aspal tetapi tidak diimbangi pula dengan kenaikan sifat feleksibilitas.

Hasil pemeriksaan daktilitas bahan aspal yang ditambahkan serbuk arang tempurung kelapa tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimum 100 cm . Ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk arang tempurung kelapa (ATK) ke dalam aspal akan menjadikan campuran beton aspal menjadi lebih kaku dan cenderung hilang kelenturannya. Akibatnya, nilai Mashall Queation (MQ) campuran aspal menjadi sangat besar (diluar batas spesifikasi yang telah ditentukan).



Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar ATK dengan Daktilitas Aspal

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis, dapat ditarik kesimpulan:

- Berdasarkan pengujian penetrasi, pengujian Persen kehilangan berat, pengujian Titik lembek aspal, pengujian Titik nyala dan Titik bakar aspal, pengujian Berat jenis aspal diketahui bahwa penambahan serbuk arang tempurung kelapa hingga 8% masih memenuhi standar/spesifikasi yang ditetapkan.
- Berdasarkan pengujian daktilitas diketahui bahwa penambahan serbuk arang tempurung kelapa ke dalam aspal menyebabkan aspal kehilangan daya kerutnya dan tidak memenuhi nilai batas minimum daktilitas dalam spesifikasi yang berlaku.
- Penambahan serbuk arang tempurung kelapa ke dalam aspal menyebabkan campuran perkerasan beraspal tidak peka dengan suhu tetapi perkerasan campuran beraspal berpotensi untuk menjadi lebih kaku dan getas.

5.2 Saran

- Sebaiknya serbuk arang tempurung kelapa tidak diposisikan sebagai bahan tambah (*additive*) pada campuran beton aspal karena sifat-sifat kelenturan yang kemungkinan menjadi sangat kecil (cenderung sangat kaku).
- Bila tetap dipaksakan sebagai bahan tambah pada campuran perkerasan aspal, sebaiknya tidak membuat benda uji campuran aspal pada kondisi pengujian normal tetapi perlu dilakukan modifikasi pada suhu pemadatan, pencampuran dan jumlah pemadatan benda uji untuk mengupayakan sifat kelenturan campuran bisa terpenuhi.

6. Daftar Pustaka

- Alkas, Jazir, 1999, Efek Penggunaan Abu Terbang pada *Workabilty* dan Sifat-sifat Marshall pada Beberapa Campuran *Hot Rolled Asphalt*, Proposal Tesis Program Pascasarjana Program Magister Rekayasa Transportasi, ITB Bandung
- Anonymous, 1996, *Manual Penelitian Bahan Jalan No. 01/ MN/ BM/1976*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Hunter N., Robert, 1994, *Bituminous Mixtures in Road Construction*, Thomas Telford, London

Leksminingsih, 2002, Perbandingan Sifat Aspal dengan Penambahan Lateks Alam dan Lateks Sintetis, *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 3 No. 2, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung

Shell Bitumen, 1990, *The Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen U.K.

Sukirman, Silvia,(1995, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung

Warintek 9000, (2005), Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa, PDII – LIPI, www_warinte...arang_aktif.ht, Indonesia.

Wibowo, Sony Sulaksono, 2001, Kajian Laboratorium Penggunaan Material Vulkanik (Kasus Pasir Galunggung) Dalam Campuran Beraspal, Makalah disampaikan pada Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT – IV) September 2001, Universitas Udayana ,Bali.