

KARAKTERISTIK LIMBAH TAR PEMURNIAN ASAP CAIR DARI TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI ALTERNATIF PENGIKAT AGREGAT DALAM PEMBUATAN JALAN ASPAL

Kusnadi¹; Ahmad Rajani; Dalmasius Ganjar Subagio; Hendri Maja Saputra; Ridwan Arief Subekti

¹ Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Komplek LIPI, Jl. Cisit 21/54D, Gedung 20, Bandung, 40135, Indonesia

Email: kusn010@lipi.go.id

Kata kunci:

Tar tempurung kelapa, destilasi, variasi temperatur, variasi waktu tinggal.

Email penulis:

kusnadi.stmeng1@gmail.com

kusn010@lipi.go.id

Abstract

Tar adalah limbah yang dihasilkan oleh proses pemurnian asap cair tempurung kelapa, dapat digunakan sebagai pengganti aspal. Salah satu cara untuk memperoleh tar dari tempurung kelapa adalah melalui proses pirolisis dan untuk perlakuan pengujian menggunakan proses destilasi. Makalah ini membahas tentang karakteristik tar dari asap cair tempurung kelapa yang telah diuji dengan menekankan pada uji penetrasi dan titik lembek. Proses produksi tar dilakukan dengan metode destilasi dengan memvariasi temperatur, yaitu pada 125, 175, dan 225°C dan waktu tinggal masing-masing selama 10, 15 dan 20 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh temperatur perlakuan lebih dominan bila dibandingkan dengan pengaruh waktu tinggal dimana penetrasi cenderung turun dan titik lembek cenderung meningkat. Uji penetrasi tar sebesar 32,22 mm masih terlalu rendah bila dibandingkan dengan standar kualitas aspal spesifikasi AC 60/70 yaitu sebesar 60-70 mm. Titik lembek pada tar sebesar 46,25° C menyebabkan tar yang dihasilkan dari asap cair tempurung kelapa belum memenuhi standar kualitas aspal sehingga perlu ditambahkan bahan perekat lain untuk memperbaiki sifat tar agar mendekati spesifikasi aspal AC 60/70.

1. Pendahuluan

Jalan merupakan infrastruktur dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah. Kerusakan jalan di Indonesia umumnya disebabkan oleh pembebanan yang terjadi berlebih (*overload*) atau disebabkan oleh *physical Damage Factor (PDF)* berlebih, meningkatnya arus kendaraan yang lewat (repetisi beban) sebagai akibat pertumbuhan jumlah kendaraan yang cepat terutama kendaraan komersial dan fungsi drainase jalan yang kurang baik (Fatmawati 2013). Untuk itu perlu dilakukan inovasi pengikat aspal dari berbagai macam tar.

Indonesia memiliki 31,4% luas areal kebun kelapa dunia dengan produksi sebanyak 24,4% produksi kelapa dunia. Produksi kelapa Indonesia per tahun menempati urutan kedua, yakni sebanyak 12,915 milyar butir (24,4%) (APPC 1997). Terdapat 12% tempurung kelapa pada setiap buah kelapa yang berarti setara dengan 1,5 milyar butir kelapa dari produksi kelapa nasional. Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air yang tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Tar yang terdapat pada tempurung kelapa sebanyak 20% yang berarti sama dengan 309,9 juta butir kelapa dari produksi kelapa nasional merupakan sebuah potensi yang cukup besar, akan tetapi potensi ini belum dimanfaatkan secara maksimal.

Aspal minyak dan aspal buatan Indonesia sudah banyak digunakan sebagai bahan pengikat material perkerasan jalan. Ada beberapa aspal buatan yang berpotensi sebagai bahan pengikat, antara lain tar batubara dan tar dari cangkang kelapa sawit (Ledo 2015).

Tar asap cair tempurung kelapa telah dimodifikasi dengan *fly ash* dan lem *fox* terbukti mampu meningkatkan titik lembek dan menurunkan penetrasi tar (Ledo 2015). Modifikasi tar dengan penambahan lem *fox* dan *fly ash* menambahkan *crumb rubber* pada tar tempurung kelapa sebagai bahan pengikat pernah diteliti dengan hasil penetrasi yang masih tinggi sehingga belum layak dijadikan bahan pengikat aspal (Hasibuan et al. 2015).

Potensi bahan baku industri pengolahan tar tempurung kelapa yang dimiliki Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Sejalan dengan upaya pemberdayaan kekuatan ekonomi rakyat yang sedang digalakkan pemerintah sejak reformasi bergulir, maka industri pengolahan tar tempurung kelapa

memiliki posisi strategis untuk dikembangkan. Posisi strategis tersebut didukung oleh fakta bahwa perkebunan kelapa di Indonesia yang tersebar diberbagai provinsi sebagian besar merupakan perkebunan rakyat (Intan et al. 2003).

Dalam makala ini akan dibahas tar dari limbah asap cair tempurung kelapa, digunakan untuk bahan alternatif pengikat agregat pengerasan jalan aspal. Hasil uji karakteristik akan dibandingkan dengan aspal pertamina.

Tar Tempurung Kelapa. Pembahasan tar tempurung kelapa akan berkaitan dengan asap cair, hal ini dikarenakan tar adalah turunan dari asap cair. Biasanya para prodesen asap cair akan melakukan pemurnian dengan menggunakan proses destilasi. Tar merupakan fraksi berat pada sisa hasil destilasi yang mencair saat dilewatkan pada pipa pendingin (kondensat). Tar yang dihasilkan pada proses destilasi adalah tar yang sudah berbentuk cairan mengental dan lengket. Secara fisik tar berbentuk cairan yang berwarna hitam pekat dan mempunyai aroma menyengat (Ledo 2015).

Tar tempurung kelapa dihasilkan pada proses pemurnian asap cair, melalui proses destilasi. Asap cair tempurung kelapa terlebih dahulu dimasukan kedalam unit destilasi yang akan menghasilkan asap, selanjutnya asap hasil dari proses tersebut dialirkan melalui pipa pendingin untuk membentuk cairan yang selanjutnya dikenal dengan asap cair (*liquid smoke*) dan fraksi yang tertinggal didalam unit destilasi adalah tar. Asap cair adalah cairan kondensat dari asap yang telah mengalami pengembunan akibat proses kondensasi, untuk kepentingan komersial asap cair perlu dimurnikan melalui proses destilasi sehingga hasil akhirnya adalah tar dan bahan – bahan partikular sebagai limbah. Selama proses destilasi akan terbentuk berbagai macam senyawa. Senyawa-senyawa yang terdapat di dalam tar dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu, fenol, karbonil (terutama keton dan aldehyd), asam furan, alcohol dan ester, lakton, hidrokarbon alifatik, dan hidrokarbon poliiklis (Yunus 2011).

Senyawa-senyawa penyusun tar meliputi (Yunus 2011); Senyawa-senyawa fenol merupakan senyawa yang berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada temperatur pirolisis tempurung kelapa. Kuantitas fenol pada tempurung kelapa sangat bervariasi yaitu antara 10-200 mg/kg. beberapa jenis fenol yang biasanya terdapat dalam produk asapan adalah guaiakol, dan siringol. Senyawa-senyawa karbonil merupakan senyawa yang berperan pada pewarnaan dan citarasa produk asapan. Golongan senyawa ini mempunyai aroma seperti aroma caramel yang unik. Jenis senyawa karbonil yang terdapat dalam asap cair antara lain adalah vanillin dan siringaldehida. Senyawa-senyawa asam merupakan senyawa yang berperan sebagai antibakteri dan membentuk cita rasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butiran dan valerat. Senyawa hidrokarbon polisiklis aromatis merupakan senyawa yang dapat terbentuk pada proses pirolisis tempurung kelapa. Senyawa hidrokarbon aromatik seperti benzo pirena merupakan senyawa yang memiliki pengaruh buruk karena bersifat karsinogen. Senyawa benzo pirena merupakan senyawa yang mempunyai titik didih 310⁰C dan dapat menyebabkan kanker kulit jika dioleskan langsung pada permukaan kulit. Akan tetapi proses yang terjadi memerlukan waktu yang lama.

Studi tentang pemisahan senyawa fenolik dari tar telah banyak dilakukan. Umumnya, teknik pemisahan yang dilakukan berupa teknik ekstraksi biasa. Dengan menggunakan metode destilasi diharapkan akan didapatkan karakteristik yang komperhensif sebagai material baru. Pemanfaatan tar ini perlu didorong sebagai upaya dari efisiensi pemanfaatan limbah hasil pirolisis yang tidak digunakan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan memanfaatkan tar hasil pemurnian asap cair tempurung kelapa.

Aspal. Aspal ialah material berwarna hitam atau cokelat tua dan pada temperatur ruang akan berbentuk padat, jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat secara kompak dan sebagai pelindung dari air. Selain itu jika temperatur turun aspal akan mengeras dan mengikatkan agregat pada tempatnya (Ledo 2015).

Aspal juga dapat diartikan sebagai bahan hidrokarbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air dan viskoelastis. Aspal juga sering disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal diperoleh dari aspal minyak (aspal berasal dari minyak bumi) dan ada juga dari aspal alam (*asbuton*). Berdasarkan konsistensinya, aspal dapat menjadi aspal padat dan aspal cair (Sarwono, 2015).

Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan dalam kandungan alam sebagian dari komponen alam yang ditemukan bersama material lain. Aspal dapat juga diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *asphaltenses*, *resin*, *oios*. Aspal mempunyai sifat *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan (Ledo 2015).

Dalam aspal terdapat campuran *hydrocarbon*, *paraffin*, dan aromatik. Komponen heterosiklis terkadang juga ada pada aspal terdiri dari unsure belerang, nitrogen, dan oksigen. Fungsi aspal pada konstruksi jalan adalah sebagai pengikat butiran batu, melindungi masuknya air ke dalam batu dan memberikan bantalan pada batu (Ledo 2015).

Aspal umumnya berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi (aspal minyak bumi) dan bahan alami (aspal alam). Aspal minyak bumi bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air (Sukirman, 2009). Berdasarkan bentuknya, aspal minyak dibedakan lagi menjadi tiga jenis, antara lain; Aspal keras atau *Asphalt Cement (AC)*. Aspal ini digunakan dalam bentuk panas dan cair, dan mengeras pada suhu ruangan. Aspal keras dibedakan lagi menurut nilai penetrasinya, yaitu; AC Pen 40/50, yaitu aspal keras dengan penetrasi antara 40-50, AC Pen 60/70 yaitu aspal keras dengan penetrasi antara 60-70, AC Pen 80/90 yaitu aspal keras dengan penetrasi antara 80-100 dan AC Pen 200/300 yaitu aspal keras dengan penetrasi antara 200-300. Aspal Cair merupakan campuran aspal keras dengan bahan pengencer dari hasil penyulingan minyak bumi. Aspal Emulsi adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi dan digunakan dalam kondisi dingin dan cair. Berdasarkan kecepatan pengerasan.

Hasil penelitian akan dibandingkan dengan karakteristik aspal RSNI S-01-2013, yang memiliki standard sesuai jenis aspal menurut penetrasinya, tabel 1 menunjukkan penetrasi aspal.

Tabel 1. Persyaratan aspal keras berdasarkan penetrasi

No	Jenis Pengujian	Satuan	Metode	Persyaratan				
				Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
1	Penetrasi 25°C	Mm	SNI 06-2456-1991	40-59	60-79	80-99	120-150	200-300
2	Titik Lembek	°C	SNI 06-2434-1991	51-63	(50-58)	(46 - 54)	-	-

Sumber : Spesifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi (RSNI S-01-2013).

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi penelitian dan Metode

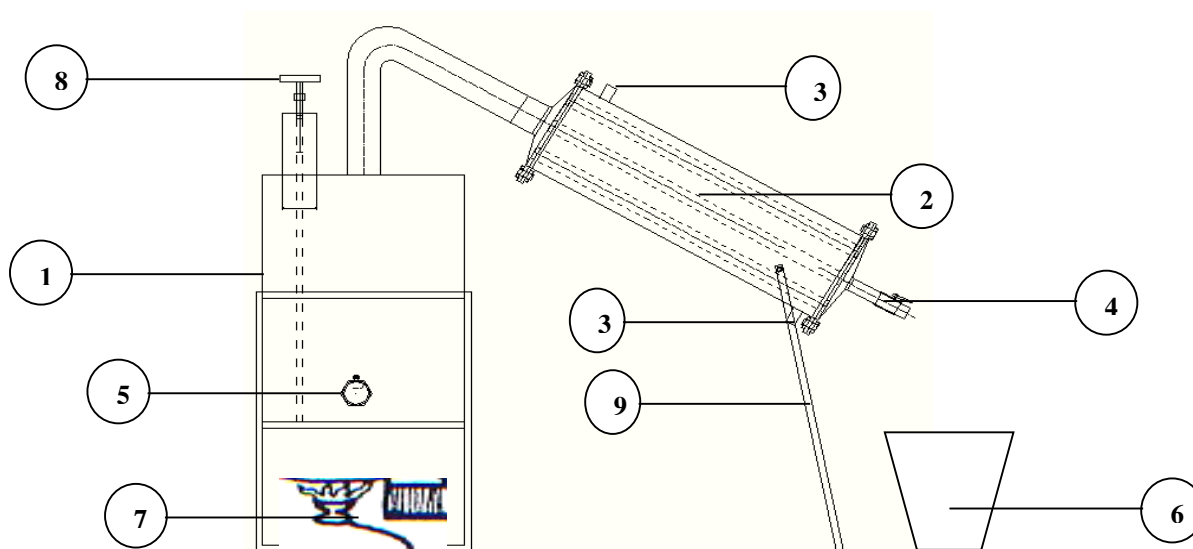
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan pada bulan Februari 2013 di daerah Kebon Kolot di Garut, yang terletak di Gurun Pasundan. Sampel diletakkan pada 70 km selatan Galuh Pakuan. Identifikasi bahan ini dikonfirmasi dengan kontribusi anggota laboratorium Teknik Proses, Universitas Sodanten. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tar dari limbah asap cair yang disebut sebagai bioaspal dari PT. Tropica Nucifera Industri Ngentak, Bangunjiwo, Kasihan, Bantul, Yogyakarta.

Metode yang digunakan dalam memproduksi tar adalah destilasi. Proses destilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat di dalam suatu larutan atau cairan, yang tergantung dengan distribusi komponen-komponen yang ada di dalam suatu larutan atau cairan, yang tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fase uap dan fase cair (Geankoplis, 1983). Gambar 1 menunjukkan alat destilasi yang digunakan untuk membuat sampel tar dari limbah asap cair. Tar dari limbah asap cair dimasukkan ke dalam drum destilasi kemudian dipanaskan dengan kompor gas. Di dalam drum destilasi temperatur divariasi pada 125, 175, dan 225°C yang dikendalikan menggunakan *thermocouple*, kemudian waktu tinggal juga divariasi pada 10, 15, dan

20 menit menggunakan *stopwatch*. Proses ini akan menghasilkan sampel yang akan diuji penetrasi dan titik lelehnya.

Pengujian penetrasi dimaksudkan untuk menentukan tar keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran diameter 1 mm panjang 58,8 mm, beban 100 gr dan waktu 5 detik kedalam bitumen pada suhu 25° C.

Pengujian titik leleh dimaksudkan untuk menentukan titik leleh tar yang berkisar antara 30° C sampai 200° C. Yang dimaksud dengan titik leleh adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat 3,45 sampai 3,55 gr, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cincin, sehingga aspal atau ter tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak dibawah cincin pada tinggi 12 cm, sebagai akibat kecepatan pemanasan. Hasil pengujian sampel akan dibandingkan dengan karakteristik aspal RSNI S-01-2013.



- | | |
|-----------------------------------------|------------------------|
| 1. Drum Destilasi | 6. Drum plastik |
| 2. Drum pendingin | 7. Kompor gas Elpiji |
| 3. Pipainputdanoutp
ut air kondensor | 8. <i>Thermocouple</i> |
| 4. Pipakondensor | 9. Tiang penyangga |
| 5. Stop ran 1 inch | |

Gambar 1. Skema alat destilasi produksi tar dari asap cair tempurung kelapa.

3. Hasil dan Pembahasan

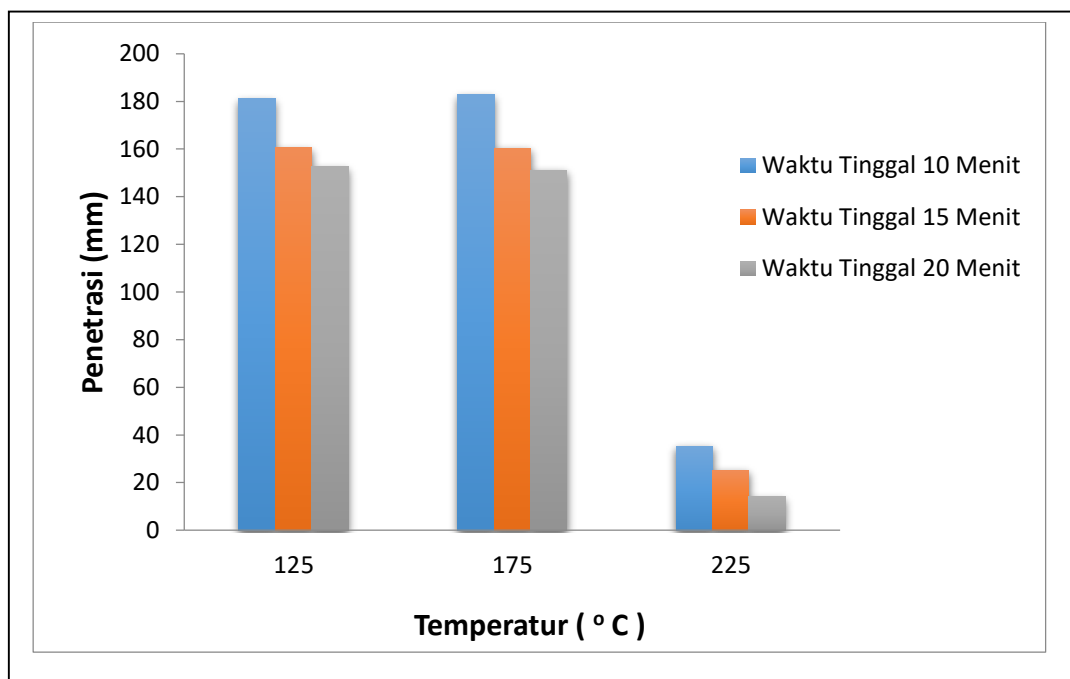
Produksi tar dari limbah asap cair dengan menggunakan metode destilasi berhasil dilakukan dan telah diujikan. Pada proses destilasi yang telah dilakukan untuk menghasilkan tar yang menyerupai aspal ternyata masih menghasilkan asap cair. Kualitas asap cair yang dihasilkan secara fisik terlihat berwarna. Jika melihat rentang temperatur perlakuan pada proses destilasi pada rentang temperatur 125-225 °C maka asap cair yang terbentuk grade 1 sampai dengan grade 3 dan sedikit grade 4 (Erliza, 2006). Dari hasil uji kemurnian dengan larutan kimia *Trychlorothylen* (TCE) yang bertujuan untuk mengetahui kemurnian bahan uji atau untuk mengetahui kadar prosentase bahan yang terlarut dan tidak terlarut. Pengujian ini dilakukan pada bahan-bahan yang mengandung aspal, dalam penelitian ini tar yang akan dijadikan bahan *hydrocarbon*. Hasil pengujian kemurnian yang sudah dilakukan diperoleh 99,69% dan 99,53%. Sebagai persyaratan aspal pengujian kelarutan minimal 99%, sehingga dari hasil pengujian bahan uji memenuhi persyaratan sebagai senyawa *hydrocarbon* (Sarwono, 2015). Hasil uji karakteristik

dari tar tempurung kelapa di tampilkan dalam bentuk grafik selanjutnya akan dilakukan analisis dan dibandingkan dengan karakteristik aspal RSNI S-01-2013.

Semakin tinggi Temperatur destilasi, hasil uji penetrasi dimasing-masing perlakuan yang dihasilkan akan semakin rendah, sehingga kualitas tar semakin mendekati dari penetrasi aspal RSNI S-01-2013. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan penelitian sebelumnya, bahwa semakin lama pemanasan akan menghasilkan tar yang lebih keras (Sarwono, 2015). Tar setelah melalui proses perlakuan temperatur menghasilkan aroma yang menyengat dan warna yang hitam pekat, hal ini dipengaruhi oleh senyawa-senyawa penyusunnya seperti senyawa asam, fenol dan karbonil. Senyawa asam, fenol dan karbonil memiliki kontribusi dalam memberikan sifat karakteristik aroma, warna, flavor serta antioksidan dan antimikroba (Riko, 2015).

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara temperatur dengan penetrasi yang menunjukkan kecenderungan turun. Pada rentang temperatur 125-175° C penetrasi konstan karena masih berlangsung proses pelepasan senyawa-senyawa yang masih mengandung sedikit asap cair pada temperatur 120-150° C (Maga, 1988; Girrard, 1995). Namun pada kisar temperature 175-225° C terjadi penurunan secara drastis karena terjadi pelepasan hemiselulosa pada temperatur 200-250° C (Noor, 2006). Biasanya akan diikuti peningkatan kadar fenol dan kadar asam, akan tetapi jumlahnya semakin berkurang (Erliza, 2006). Hasil uji penetrasi yang paling mendekati spesifikasi aspal penetrasi 60 mm adalah pada temperatur 225° C dengan variasi waktu tinggal 10 menit, yaitu sebesar 35,3 mm. Perlakuan temperatur dan variasi waktu tinggal pada tar melewati rentang spesifikasi penetrasi pada aspal.

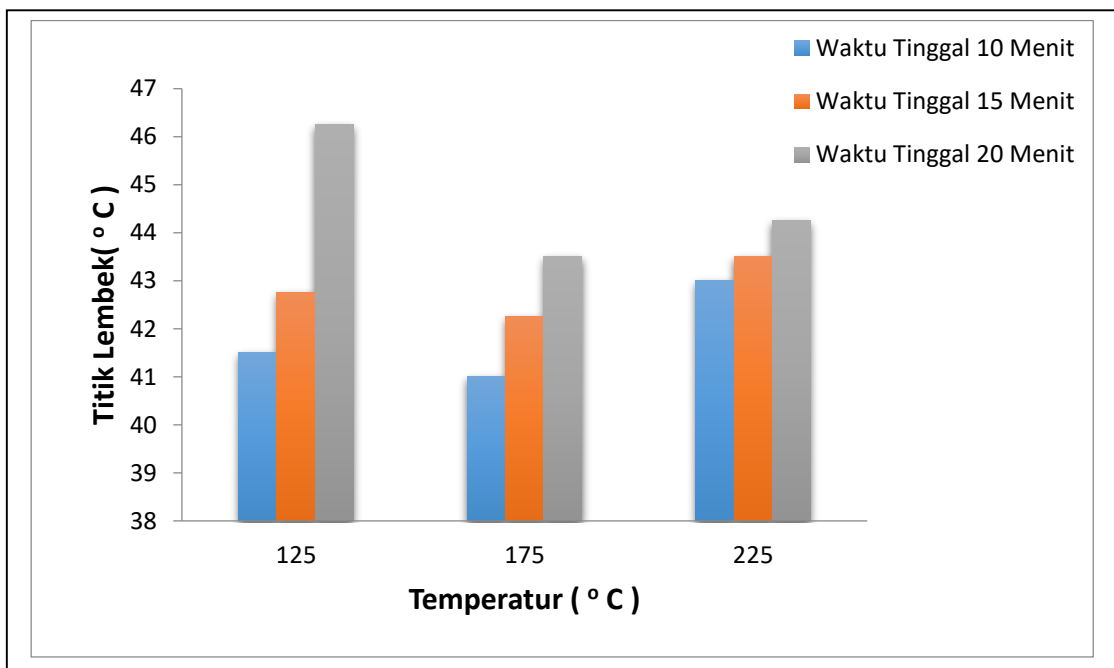
Hasil tar dari proses destilasi juga dilakukan pengujian titik lembek, hal ini dilakukan dengan tujuan tar akan dibandingkan dengan titik lembek Aspal AC 60. Pada uji titik lembek menunjukkan kenaikan titik lembek dengan nilai yang relatif sedikit. Pengujian nilai titik lembek tar tempurung kelapa hasil dari proses destilasi menunjukkan semakin lama temperatur perlakuan mempengaruhi temperatur titik lembek pada bahan uji yang semakin meningkat, apa bila dibandingkan dengan spesifikasi aspal maka tar tempurung kelapa dari proses destilasi memiliki titik lembek rendah sehingga pada temperatur pencampuran dengan agregat tidak butuh waktu yang lama dan mampu menekan kebutuhan bahan bakar yang lebih sedikit. Seperti yang diutarakan penelitian sebelumnya bahwa terjadi hubungan yang sangat kuat antara waktu tinggal pemanasan terhadap nilai titik lembek, sedangkan prosentasi lain dipengaruhi oleh variable lain (Sarwono, 2015).



Gambar 2. Grafik hubungan antara temperatur perlakuan dan penetrasi pada tar tempurung kelapa.

Gambar 3 menunjukkan hubungan temperatur perlakuan dengan titik lembek. Pada rentang temperatur 125-175° C tar mengalami penurunan titik lembek yang diakibatkan masih dominannya molekul air.

Namun titik lembeknya naik kembali pada rentang temperatur 175-225° C akibat penguapan senyawa-senyawa pada tar, seperti lignin dan hemiselulosa. Pada temperatur 225° C variasi waktu tinggal 20 menit menunjukkan kenaikan yang signifikan, hal ini disebabkan tar pada tar sudah mulai terbentuk (Budi 2008).



Gambar 3. Grafik hubungan temperatur perlakuan dan titik lembek pada tar tempurung kelapa.

Karakteristik dari tar tempurung kelapa yang pada saat pengujian dilakukan terdapat perbedaan dalam hal proses pembersihan alat-alat laboratorium, hal ini dikarenakan perbedaan senyawa-senyawa seperti asam, fenol dan karbonil yang tidak dimiliki aspal, sehingga sulit dibersihkan menggunakan kerosin. Hasil uji titik lembek yang mendekati karakteristik aspal penetrasi 60 mm adalah pada temperatur 225° C dengan variasi waktu 20 menit yaitu sebesar 46,25° C, tetapi jika dibandingkan dengan aspal penetrasi 80 mm, uji titik lembek sudah mencapai batas minimum.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis karakteristik limbah tar hasil pemurnian asap cair dari tempurung kelapa sebagai alternatif pengikat agregat dalam pengerasan jalan aspal. Dari data dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut bahwa Semakin tinggi temperatur di dalam destilasi, penetrasi mengalami pengerasan atau penurunan disebabkan kepekatan pada tar tetapi titik lembeknya justru mengalami peningkatan, hal ini terjadi pada semua perlakuan temperatur. Kemudian semakin lama waktu tinggal pada proses destilasi, penetrasi semakin turun dan titik lembek semakin meningkat, hal ini terjadi pada semua perlakuan waktu tinggal. Data pengujian penetrasi yang didapat sudah mendekati spesifikasi aspal AC 60/70, dimana dari ketiga perlakuan temperatur yang paling mendekati adalah temperatur 225° C dengan waktu tinggal 10 menit dengan penetrasi 35,2 mm. Pada temperatur 125° C dengan waktu tinggal 20 menit menghasilkan nilai titik lembek 46,25 menjadi nilai yang masuk pada karakteristik aspal AC Pen 80/90.

Daftar Pustaka

- Intan, A.H., Said, E.G., Imam, T. S. (2003). "Strategi Pengembangan Industri Pengolahan Sabut Kelapa Nasional," *Jurnal Manajemen Dan Agrobisnis* 1 (1): 42–45. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- APPC. (1997). "Coconut Statistical Year Book."
- Budi, K. (2008). "Biofuels) Dari Tar-Asap Cair Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa." *Perpus UGM*, 74.
- Erliza, N., Luditama, C., Pari, G. (2006). Isolasi Dan Pemurnian Asap Cair Berbahasan Dasar Tempurung Dan Sabut Kelapa Secara Pirolisis Dan Distilasi. *Prosiding Konferensi Nasional Kelapa VIII*: 93–102.

- Fatmawati, L. (2013). “Kinerja Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal BNA Blend 75/25 Pada Campuran Aspal Pana AC-WC.” *Wahana TEKNIK SIPIL* 18 (024).
- Geankoplis, C. J. (1983). *Transport Processes and Unit Operations*, 2nd ed. Allyn and Bacon, Inc., Boston.
- Girard, J.P. (1992). *Technology of Meat and Meat Products*. Ellis horwood. New York.
- Hasibuan, A. W. (2015). “Karakteristik Hasil Destilasi Tar Penambahan Crumb Rubber Ditinjau Dari Spesifikasi Aspal Keras.” *Jurnal Teknik Sipil USM*.
- Ledo, D.I. (2015). “Karakteristik Tar Hasil Destilasi Tempurung Kelapa Dengan Modifikasi Penambahan Fly Ash Dan Lem Dibandingkan Dengan Aspal Minyak Produk Pertamina.” *Jurnal Teknik Sipil Uns*.
- Maga, J.A. (1988). *Smoke in Food Processing*. CRC Press, Florida.
- Pamori, R., Efendi, R., Restuhadi, F. (2015). Karakteristik Asap Cair Dari Proses Pirolisis Limbah Sabut Kelapa Muda. *E-Jurnal UNRI vol. 14 No.2 : 43-50*
- Yunus, M. (2011). Teknologi Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Kelapa Sebagai Pengawet Makanan. *Jurnal Sains Dan Inovasi* 7 (1): 53–61.
- Sarwono, D., Sumarsono, A., Prastya, A. (2015). Karakteristik Tar Hasil Destilasi Tempurung Kelapa Dan Ditambah Lem Fox Ditinjau Dari Spesifikasi Aspal Minyak Produksi Pertamina. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, September 2015, 802