

M4-001 PENGARUH PERLAKUAN PANAS PADA BINDER TAR-RESIN DAN PEMBENTUKAN MESOFASA

Hady Efendy¹, Syamsul Bahri²

¹Program Studi Teknik Mesin FT-Unhas; ²Program Studi Teknik Industri FT-Unhas
Kampus Universitas Hasanuddin Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Tamalanrea, Makassar,
90245

e-mail. efendy_hady@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sifat grafit sangat dipengaruhi oleh sifat viscoelastis dari bahan precursor mesofasanya. Ini terlihat dari proses pembentukan mesofasa pada binder tar-resin. Proses perlakuan panas binder tar-resin pada temperatur 200°C, 400°C, 600°C dan 800°C memberikan dampak yang berbeda pada struktur mesofasa yang terbentuk. Pada makalah ini akan dijelaskan pengaruh dari perlakuan panas binder tar-resin dan sifat dari mesofasa yang terbentuk selama proses pemanasan. Telah dilakukan analisis terhadap struktur mikro dan makro dengan menggunakan beberapa instrument laboratorium, seperti mikroskop optik, XRD, dan FT-IR untuk mengkarakterisasi bahan baku dan sampel dan pengujian sifat termal yang meliputi pengujian DTA dan TGA. Pengamatan mikroskop optik terhadap binder tar-resin hasil pemanasan kondisi atmosfer N₂ tampak suatu fenomena pembentukan mesofasa (kristal cair). Karakteristik dari binder tar-resin arah dari ikatan karbon yang terbentuk yang di sebut "Soft and Glassy Carbon".

Kata Kunci: Binder, Kristal Cair, Tar-Resin

1. PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan bahan terus berkembang dari masa ke masa. Penelitian dan pengembangan bahan yang semakin maju baik dari segi fungsional maupun struktural merupakan hal yang ingin dicapai. Adanya penemuan-penemuan bahan-bahan mutakhir seperti keramik, komposit, polimer, refraktori dan sebagainya menunjukkan adanya keinginan manusia untuk memenuhi tuntutan bahan yang digunakan pada kondisi lingkungan operasi tertentu seperti suhu yang tinggi, tegangan tinggi, lingkungan yang korosif, dan sebagainya.

Seiring dengan perkembangan teknologi industri pengolahan bijih besi dan logam kebutuhan akan penggunaan bahan refraktori pun meningkat. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut dalam perkembangannya. Beberapa aspek pengembangan yang harus dilakukan terhadap refraktori, antara lain pengembangan penggunaan bahan pengikat atau binder yang tepat^[1].

Binder merupakan bahan aditif yang ditambahkan pada bahan refraktori untuk meningkatkan daya rekat dan kinerja dari bahan refraktori. Penggunaan binder harus diatur sedemikian rupa sehingga binder tersebut dapat aktif dalam penggunaannya. Salah satu hal yang perlu diperhatikan, yaitu proses pengaktifan dari binder pada bahan refraktori.

Binder tar-resin merupakan binder baru yang dalam pengembangan. Binder ini diharapkan memberikan peningkatan sifat fisik, mekanik dan termal terhadap bahan refraktori. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap pengaruh perlakuan panas pada

binder tar-resin.

2. PENGEMBANGAN BINDER TAR-RESIN

Batubara merupakan zat padat yang *amorf*, dan merupakan campuran molekul yang sangat kompleks, dengan ciri khas adalah hidrokarbon benzenoid cincin terpadu dengan gugus $-OH$ dan CO_2H . Batubara merupakan sumber tak langsung dari banyak senyawa aromatik. Dalam destilasi destruktif untuk menghasilkan kokas, akan menghasilkan gas, amoniak, naftalen, minyak antrasena, ammonium sulfat, fenol, benzena, minyak kresol, toluena, minyak tar (*Coal Tar Oil*), dan kokas sebagai residu.

Tar merupakan cairan kental berwarna hitam pekat yang menjadi bagian terbesar dari destilat hasil karbonisasi dan gasifikasi batubara. Karbonisasi terhadap batubara akan menghasilkan produk berupa suatu padatan yang porous, kokas yang tertinggal, tar yang merupakan destilat kental, minyak ringan, cairan amoniak, dan gas berupa CO , CO_2 dan H_2O ^[3]. Pemanasan tar pada temperatur $800^\circ C$ memperlihatkan terbentuknya kristal cair (*mesofasa*) yang *anisotropic*^[3].

Resin fenolik biasa digunakan sebagai bahan perekat dalam industri keramik dan dalam industri refraktori biasa digunakan sebagai binder pengganti tar atau *pitch*. Resin fenolik dibuat dari campuran *phenol* (C_6H_5OH) dan *formalin* (formaldehida, $HCHO$). Sebagai produk industri resin fenolik dibuat dengan metode yang telah dikembangkan dan dipatenkan oleh *L. H. Baekelan*. Nama lain dari resin fenolik adalah *bakelite*. Resin fenolik terdekomposisi pada temperatur di atas $300^\circ C$ dan memiliki ketahanan panas yang baik selain tingkat karbonisasi yang tinggi^[1].

Beberapa permasalahan yang dihadapi industri pengolahan baja dan logam seperti yang diuraikan di atas diselesaikan dengan menggunakan binder campuran tar batubara dan *phenolic resin* (**Tar-Resin**). Penggunaan campuran tar batubara dan resin fenolik (*Tar-Resin*) sebagai binder diharapkan dapat mengurangi kegetasan yang ditimbulkan akibat penambahan antioksidan, dan juga sebagai sumber karbon tambahan pada bahan refraktori yang akan berpengaruh terhadap sistem ikatan antar partikel penyusun dan mengisi rongga yang ada pada bahan refraktori. Telah dilakukan penelitian awal dari pengaruh dan sifat penggunaan binder tar-resin terhadap refraktori Monolitik $MgO-C$ dengan harapan akan menambah konsep baru dalam perkembangan ilmu tentang refraktori. Adapun pengaruh dan sifat yang akan dikaji dalam tulisan ini, adalah pengaruh perlakuan panas pada binder Tar-Resin dan pembentukan mesofasa.

3. BAHAN BAKU DAN ALUR PENELITIAN

Resin fenolik yang dipakai dalam penelitian ini merupakan resin fenolik komersial berbentuk cair dengan tipe SSA 1065 produksi *Schenectady South Africa* yang ada di pasaran dan umum dipakai dalam industri pembuatan refraktori. Adapun bahan tar batubara yang dipakai merupakan bahan komersial yang dijual di pasaran dan diproduksi oleh *Valetimegroup*. Semua bahan baku yang diperlukan ditimbang dan ditempatkan dalam wadah yang berbeda. Penyiapan bahan baku berupa resin fenolik dan minyak tar batubara dengan Ratio 1 : 1. Binder dimasukkan ke dalam wadah dan aduk sekitar 6 menit, hingga bahan tercampur. Sesudah campuran telah merata, campuran dikeluarkan dari wadah dan dipanaskan dalam tungku hingga temperatur $800^\circ C$ pada kondisi atmosfer N_2 . Dilakukan karakterisasi terhadap bahan baku, seperti: FTIR, DTA/TGA dan XRD. Pengamatan terhadap tampilan binder

akibat proses pemanasan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Terhadap hasil dilakukan kajian secara teoritis terhadap struktur, dan mekanisme kerja sampel yang disesuaikan dengan kondisi operasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian diperoleh data hasil karakterisasi bahan tar-resin yang meliputi FT-IR, XRD, DTA, TGA, dan pengamatan mikroskop optik. Binder campuran minyak tar batubara dan resin fenolik atau tar-resin merupakan suatu bahan binder yang baru dikenalkan dan dikembangkan dalam industri refraktori. Bahan ini diharapkan dapat meningkatkan sifat fisik, kimia, termal, dan mekanik refraktori, sehingga diperoleh suatu produk refraktori yang memiliki keunggulan dari bahan refraktori yang telah ada, lebih ekonomis, dan tentunya akan menghemat biaya operasi.

Binder Tar-resin dapat digunakan dalam produksi refraktori karbon yang dicetak, seperti bata MgO-C, dan juga produk refraktori monolitik. Karakteristik dari binder terlihat dalam arah dari ikatan baru dari karbon yang dinamakan dengan "*Soft Bonding*". Tar-resin dalam kondisi operasinya dapat menghasilkan sistem *Soft Bonding*. *Soft Bonding* merupakan suatu sistem ikatan antara partikel yang memiliki fleksibilitas yang tinggi, sehingga produk yang dihasilkan dalam ikatan ini tidak kaku. Sifat ini disebabkan adanya unsur karbon yang terbentuk dari bahan Tar-resin. Sifat ini sangat berperan dalam mengatasi kejutan termal pada bahan saat mengalami fluktuasi temperatur operasi.

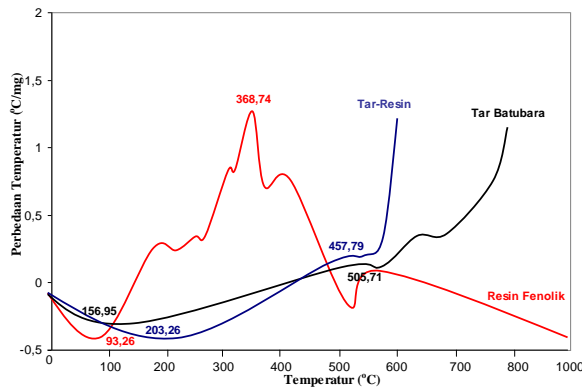
Selama proses pencampuran, pengepresan, dan penuangan, tar-resin tidak mengalami perubahan sifat dan bentuk. Tar-resin dapat digunakan sebagai pengganti serbuk *phenolic resin*, tetapi dapat juga digunakan sebagai kombinasi dengan resin cair dan serbuk. Selama proses karbonisasi tar membentuk struktur karbon *anisotropis* bersamaan struktur *isotropis* dari resin cair.

Karakterisasi Termal Terhadap Bahan Pengikat Tar-Resin

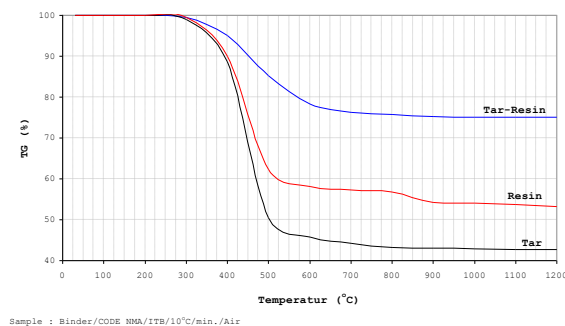
Sifat termal bahan pengikat berkaitan erat dengan struktur, morfologi, dan berat molekul dari bahan pengikat tersebut. Hasil pengujian DTA terhadap ketiga bahan pengikat (tar, resin fenolik dan tar-resin) ditunjukkan pada Gambar 1. Kurva hasil pengujian DTA terhadap ke tiga bahan pengikat tersebut menunjukkan bahwa temperatur dekomposisi dan karbonisasi untuk ke tiga bahan pengikat terdapat perbedaan, walaupun ketiganya memiliki pola kurva yang hampir sama, kecuali pada resin fenolik. Secara umum bahan pengikat tar batubara dan campuran tarbatubara-resin fenolik memiliki lembah endotermik yang landai dengan rentang temperatur yang panjang. Hal ini disebabkan karena rantai molekul berupa senyawa-senyawa ringan yang terkandung pada bahan pengikat tar batubara dan campuran tar batubara-resin fenolik relatif banyak dan berupa rantai tertutup yang relatif lebih stabil, sehingga diperlukan energi yang lebih besar untuk memutuskan rantai ikatannya.

Gambar 1 menunjukkan adanya puncak kurva endotermik pada temperatur 93,26°C, 156,95°C dan 203,26°C ini menandakan adanya energi panas yang diserap oleh ketiga bahan pengikat dan digunakan untuk melelehkan secara sempurna komponen-komponen yang terkandung dalam bahan pengikat. Lebarnya lembah kurva endotermik menandakan banyaknya kandungan senyawa di dalam bahan pengikat. Dari hasil pengujian DTA tampak bahwa tar memiliki lembah endotermik yang lebih lebar dibandingkan tar-resin dan resin fenolik. Berdasarkan perbedaan temperatur ini pula menggambarkan bahwa berat molekul resin fenolik lebih ringan dari tar-resin dan tar batubara.

Hasil pengujian DTA ketiga bahan pengikat menunjukkan adanya puncak eksotermik. Kondisi ini menggambarkan bahwa energi yang diterima sebelumnya digunakan untuk menguapkan sebagian komponen dari bahan pengikat. Proses penguapan komponen-komponen dari bahan pengikat yang menguap membawa sebagian energi dan dilepaskan ke lingkungan disekitarnya. Sedangkan untuk puncak eksotermik temperatur karbonisasi resin fenolik 368,74°C, tar batubara 505,71°C, dan tar-resin 457,79°C. Berdasarkan data pengujian DTA proses karbonisasi bahan pengikat tar-resin berlangsung pada temperatur 457,79°C.



Gambar 1. Kurva DTA terhadap Tar Batubara, Resin Fenolik dan Tar-resin



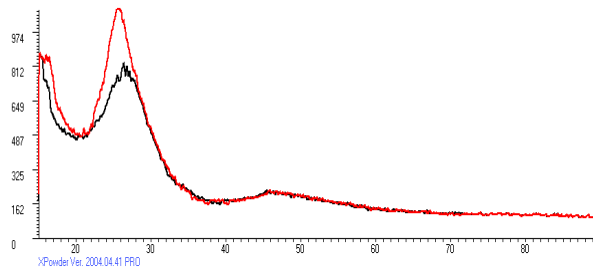
Gambar 2. Kurva TGA terhadap Tar Batubara, Resin Fenolik dan Tar-resin

Karakterisasi XRD Terhadap Bahan Pengikat

Derajat kristalinitas bahan pengikat ditentukan melalui karakterisasi *X-Ray Diffractometer* (XRD). Spektrum hasil pengujian XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4 terhadap binder tar-resin setelah proses pirolisis pada temperatur 300°C dan 800°C, memperlihatkan kecenderungan peningkatan derajat kristalinitas dari bahan pengikat. Hal ini teramati dengan meningkatnya intensitas dan kerampingan puncak difraksi. Spektrum XRD yang diperoleh tidak menunjukkan kediskritan karena struktur padatan yang dihasilkan ketiga bahan pengikat tar, resin fenolik maupun tar-resin yang telah mengalami proses perlakuan panas tidak kristalin melainkan berstruktur semi-kristalin. Walaupun sampel bahan pengikat yang teramati bersifat amorf, tetapi puncak spektrum semakin mendekati puncak karakteristik grafitik (turbostatik) yaitu pada sekitar $2\theta = 26^\circ$ ditandai dengan munculnya puncak grafik pada bidang (002).

Terbentuknya fasa semikristalin ini ditentukan oleh struktur dan keteraturan dari rantai molekul bahan pengikat. Bahan dengan rantai molekul yang lebih teratur memiliki

kemungkinan yang lebih besar untuk membentuk struktur kristalin. Selain itu kristalinitas suatu bahan pengikat terutama polimer dipengaruhi oleh kelurusan rantai molekul, keteraturan ruang rantai molekul, gaya antar molekul yang kuat, dan adanya rantai yang kaku sehingga dapat membatasi rotasi dari rantai molekul. Akibat langsung dari sifat kristalinitas adalah turunnya kelarutan, fleksibilitas, elastisitas, dan elongasi, akan tetapi sifat kristalinitas bahan akan meningkatkan kekuatan dan titik leleh bahan.



Gambar 3. Kurva Hasil X-RD terhadap Tar-resin

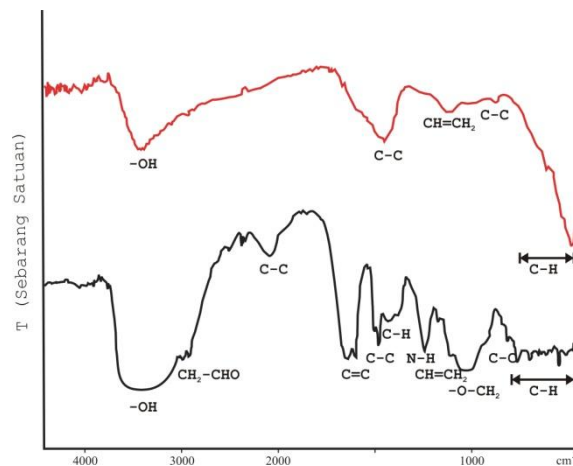
Ketika bahan dipanaskan, maka komponen dari binder hidrokarbon akan terurai, menjadi karbon bebas dan gas seperti H_2 , CH_4 , CO , dan CO_2 . Efek dari terurainya binder hidrokarbon menyebabkan terbentuknya pori-pori pada bahan refraktori, sehingga porositas bahan semakin bertambah. Dengan penggunaan binder karbon resin porositas menjadi berkurang. Adanya fasa kristal cair yang terbentuk sebagaimana yang tampak dari pengamatan mikroskop optik terhadap bahan refraktori yang telah mengalami proses pemanasan pada temperatur $800^\circ C$ merupakan hasil dari proses dekomposisi binder tar-resin.

Penelitian penggunaan binder tar batubara pada refraktori, menghasilkan refraktori yang bersifat plastis mudah dibentuk. Selain itu tar batubara berfungsi juga sebagai sumber karbon pada saat aplikasinya^[3]. Ikatan yang terbentuk merupakan suatu sistem ikatan antara partikel yang memiliki fleksibilitas yang tinggi, sehingga produk yang dihasilkan dalam ikatan ini tidak kaku. Sifat ini disebabkan adanya unsur karbon yang terbentuk dari bahan binder tar batubara. Terbentuknya daerah *anisotropis*^[3]. Ikatan yang terbentuk memberikan nilai yang spesifik untuk fleksibilitas mekanik dan kemampuan struktur bata dalam menyerap tegangan. Selain itu mengurangi kegetasan dari refraktori dan meningkatkan ketahanan terhadap kejutan termal, yang diakibatkan penambahan logam antioksidan^[2]. Keberadaan karbon ini berfungsi mengurangi penetrasi logam cair/slag ke dalam refraktori. Hal ini mengingat sifat karbon yang tidak terbasahi oleh logam cair, memiliki koefisien konduktivitas termal yang tinggi, dan koefisien ekspansi termal yang rendah^[6].

Karakterisasi Struktur Binder Tar-Resin

Analisis struktur terhadap bahan pengikat dilakukan dengan teknik spektroskopi FT-IR. Penentuan struktur molekul bahan pengikat melalui serapan IR dimaksudkan untuk menganalisis gugus fungsi yang terdapat baik dalam bahan baku maupun bahan pengikat tar-resin secara kualitatif, yaitu dengan hanya menentukan jenis gugus fungsi tertentu yang ada dalam molekul bahan pengikat. Adapun untuk keperluan kuantitatif spektrum-IR juga dapat membantu mengidentifikasi perubahan intensitas serapan gugus-gugus tertentu yang diakibatkan proses perlakuan panas. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan intensitas serapan gugus tertentu di mana terjadi perubahan intensitas serapan terhadap gugus yang intensitas serapannya tetap. Untuk keperluan kuantitatif ini, spektrum-IR dapat dianalisis dengan membandingkan intensitas serapan dari gugus-gugus fungsi dari bahan pengikat tar-

resin pada temperatur kamar dan bahan yang telah mengalami proses pemanasan pada temperatur 800°C dalam lingkungan atmosfer N₂ selama 15 menit, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum FT-IR bahan pengikat tar-resin tanpa dan telah melalui proses pemanasan temperatur 800°C kondisi atmosfer N₂ selama 15 menit

Hasil spektroskopi IR terhadap tar-resin tanpa dan telah melalui proses pemanasan pada temperatur 800°C kondisi atmosfer N₂ selama 15 menit. Menunjukkan adanya puncak-puncak dari gugus fungsi bahan yang hilang ataupun berkurang intensitas serapannya, seperti gugus-gugus fungsi pada frekuensi antara 2073,1 cm⁻¹ sampai dengan 2978,0 cm⁻¹ dan gugus fungsi pada frekuensi 1637,0 cm⁻¹, 1595 cm⁻¹, 1495,9 cm⁻¹, 1472,4 cm⁻¹, 1232,4 cm⁻¹, 1102,2 cm⁻¹, 1020,0 cm⁻¹ dan 755,6 cm⁻¹. Hal ini disebabkan selama proses pemanasan dengan kondisi atmosfer nitrogen bahan pengikat mengalami proses dekomposisi termal. Hal ini juga didukung dari hasil analisis termal dengan menggunakan TGA (Gambar 2).

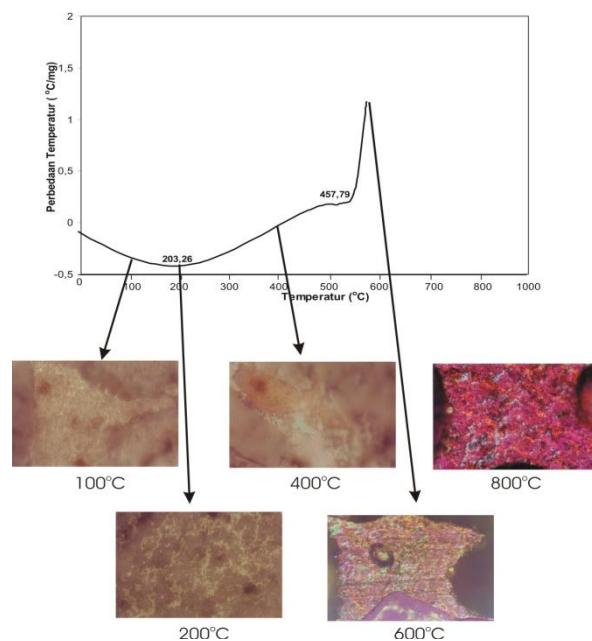
Akibat lain dari proses pemanasan ini secara tidak langsung dapat mengurangi kandungan senyawa-senyawa yang bersifat racun dan membahayakan bagi lingkungan, seperti halnya kandungan *polyaromatic hydrocarbon* (PAHs) dan *benzo(a)pyrene* (BaP). Berkurangnya kandungan PAHs dan BaP ini terlihat dengan tereduksinya puncak-puncak dari senyawa aromatik yang ada pada frekuensi 1495,9 – 1637,0 cm⁻¹, seperti yang tampak pada Gambar 4. Dengan berkurangnya kandungan PAHs dan BaP ini penggunaan bahan pengikat tar-resin pada bahan refraktori dapat memenuhi standar dan memberikan salah satu alternatif penggunaan bahan pengikat yang ramah lingkungan.

Mikrostruktur Bahan Pengikat Tar-Resin

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap bahan pengikat selain berpengaruh terhadap perubahan struktur molekul juga berpengaruh secara struktur mikro dari bahan pengikat. Kondisi ini dapat dilihat melalui pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan mikroskop optik terhadap bahan pengikat tar-resin memperlihatkan suatu fenomena perubahan dari struktur molekul bahan pengikat selama proses pemanasan pada kondisi atmosfer N₂. Proses perlakuan panas memperlihatkan terjadinya proses perubahan struktur molekul-molekul penyusun dari bahan pengikat, yaitu pembentukan *mesofasa*, yang merupakan gejala pembentukan fasa anisotropik karbon.

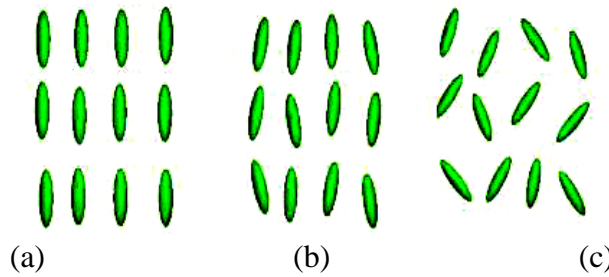
Selama proses pemanasan bahan pengikat pada rentang temperatur 300 – 500°C terjadi pembentukan poliaromatik mesofasa. Proses ini dimulai dengan pelepasan senyawa-senyawa yang memiliki struktur molekul massa yang ringan dari bahan pengikat, proses polimerisasi, dan reaksi penguapan hidrokarbon. Semua proses di atas terjadi selama proses pemanasan bahan pengikat. Proses penguapan senyawa-senyawa ringan ini sangat penting dalam pembentukan mesofasa^[6]. Proses pemanasan juga menyebabkan pemutusan rantai alifatik pada posisi alfa pada molekul aromatik, yang berperan penting dalam proses pembentukan radikal bebas. Radikal bebas bereaksi membentuk hubungan molekul poliaromatik guna membentuk *carbonaceous* mesofasa^[6]. Hasil pengamatan mikroskop optik terhadap bahan pengikat pada berbagai kondisi temperatur dapat dilihat pada Gambar 5.

Mesofasa merupakan fasa yang terbentuk antara fasa cair (*liquid*) dan fasa padat (kristalin), sehingga disebut juga sebagai fasa antara. Struktur molekul bahan pengikat pada kondisi mesofasa memiliki susunan yang semi kristalin. Cairan memiliki sifat ketidakteraturan dalam susunan molekul, tetapi pada kasus mesofasa terlihat adanya gejala keteraturan dalam susunan molekul dalam cairan pada kondisi temperatur di atas titik lelehnya^[7]. Cairan yang berada dalam kondisi mesofasa ini dikenal juga dengan sebutan *kristal cair*. Struktur dari mesofasa berbentuk lamelar dan memiliki orientasi arah tertentu (*anisotropic*), sehingga tampak berupa aliran.



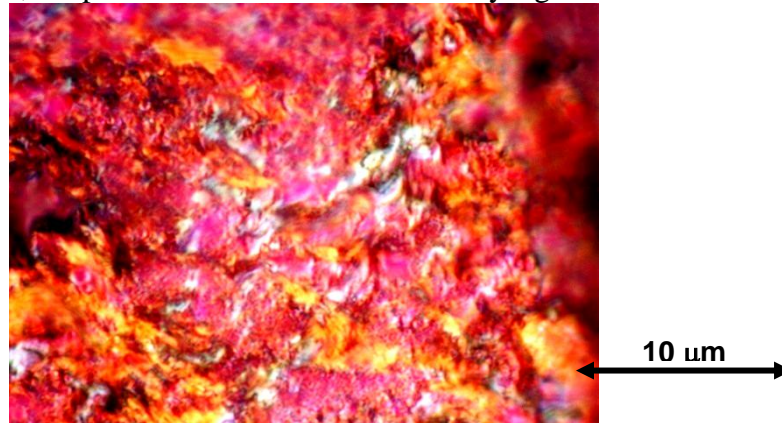
Gambar 5. Proses dekomposisi termal bahan pengikat tar-resin (Pembesaran foto 400X)

Fasa padat dan cair merupakan dua fasa benda yang berbeda. Molekul-molekul zat padat tersebar secara teratur dan posisinya tidak berubah-ubah, sedangkan molekul-molekul zat cair letak dan posisinya tidak teratur karena dapat bergerak acak ke segala arah. Perbedaan struktur molekul antara fasa cair, kristal cair, dan kristal ditunjukkan pada Gambar 6.



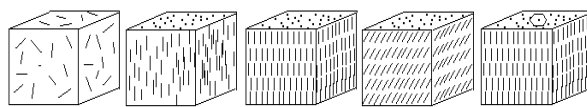
Gambar 9. Ilustrasi struktur molekul kristal (a), kristal cair (b), dan cair (c)

Berdasarkan arah orientasi kristal cair, maka anisotropik karbon yang terbentuk pada bahan pengikat tar-resin setelah proses pemanasan pada temperatur 800°C kondisi atmosfer N₂ dapat digolongkan ke dalam jenis *nematik*, sebagaimana yang dijelaskan oleh Reinetzer. Gambar 7 memperlihatkan foto mikroskop optik anisotropik karbon *nematik* bahan pengikat tar-resin setelah proses pemanasan. Pada jenis *nematik* struktur molekul penyusun kristal cair berada pada poros sejajar, tetapi tidak tersusun dalam barisan yang teratur.



Gambar 7. Hasil foto mikroskop optik anisotropik karbon *nematik* tar-resin

Gambar 8. memperlihatkan skema tahapan proses pembentukan kristal cair *nematik* seperti yang dialami oleh bahan pengikat tar-resin selama proses pemanasan.



Fasa Cair -----> Fasa Nematik -----> Mesofasa

Gambar 8. Ilustrasi tahapan pembentukan struktur molekul kristal cair.

Perbedaan warna pada hasil foto mikroskop optik menunjukkan perubahan struktur molekul bahan pengikat saat mengalami pemanasan. Materi kristal cair sangat sensitif terhadap perubahan temperatur sekecil apapun perubahantemperatur yang terjadi (Surya, 2004). Perubahan temperatur menyebabkan terpilinnya struktur molekul sehingga panjang gelombang cahaya yang diserap atau direfleksikan akan berubah pula. Sewaktu temperatur meningkat, molekul kristal cair terpilin dan menyebabkan warna merah dan hijau lebih banyak terserap dan sementara warna biru lebih banyak direfleksikan sehingga warna yang terlihat dalam gambar adalah biru.

5. KESIMPULAN

Tar-resin merupakan suatu bahan binder aditif yang baru dikenalkan dan dikembangkan dalam industri refraktori. Proses perlakuan panas *binder* tar-resin pada temperatur 200°C, 400°C, 600°C dan 800°C memberikan dampak yang berbeda pada struktur mesofasa yang terbentuk. Pengamatan mikroskop optik terhadap *binder* tar-resin hasil pemanasan kondisi atmosfer N₂ tampak suatu fenomena pembentukan mesofasa (kristal cair). Karakteristik dari binder tar-resin arah dari ikatan karbon yang terbentuk yang di sebut “*Soft and Glassy Carbon*”.

Karakteristik dari binder terlihat dalam arah dari ikatan baru dari tar-resin yang dinamakan dengan “*Soft Bonding*”. *Soft Bonding* merupakan suatu sistem ikatan antara partikel yang memiliki flkesibilitas yang tinggi, sehingga produk yang dihasilkan dalam ikatan ini tidak kaku. Sifat ini disebabkan adanya unsur karbon yang terbentuk dari bahan Tar-resin. Sifat ini sangat berperan dalam mengatasi kejutan termal pada bahan saat mengalami fluktuasi temperatur operasi. *Soft bonding* akan memberikan nilai yang spesifik untuk fleksibilitas mekanik dan kemampuan struktur refraktori dalam menyerap tegangan. *Soft bonding* juga mengurangi kegetasan dari refraktori dan meningkatkan ketahanan terhadap kejutan termal, bila dibandingkan dengan penambahan aditif logam.

Penggunaan binder tar-resin diharapkan dapat meningkatkan sifat-sifat refraktori, sehingga diperoleh suatu produk refraktori yang memiliki keunggulan dari bahan refraktori yang telah ada, lebih ekonomis, dan tentunya akan menghemat biaya operasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Akira, Nishikawa, **Technologi of Monolithic Refractories**, Plimbrico Japan Company Limited, Jepang, (1984).
2. Boenigk, W., **A Carbon Speciality to Improve The Performance of Refractories**, *Eurocarbon 2000*, 1st World Conference on Carbon, Berlin, July, (2000).
3. Gunawan, **Pembuatan dan Karakterisasi Gala-gala Hasil Karbonisasi Batubara Indonesia Sebagai Prekursor Serat Karbon**, Tugas Sarjana, Jurusan Kimia ITB, Bandung, (1998).
4. Hady, Efendy, **Penggunaan dan Karakterisasi Minyak Tar Batubata pada Material Refraktori**, Thesis Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung, (2002).
5. Kyei Sing Kwong and James P. Bennett, **Recycling Practice of Spent MgO-C Refractories**, *Journal of Materials and Characterization & Engineering*, Vol.1, No.2, pp.69-72, (2000).
6. Mustafa, Ozel, *Production of Mesophase Pitch from Tar and Petroleum Piches Using Supercritical Fluid Extraction*, *Turk Journal Chem*, 26, (2002)
7. Quinela, Marco, A et al, (2006) : MgO-C Refractories for Steel Ladle Slag Line, *Refractories Application and News*, Volume 11.
8. Surya, Johanes, *Liquid Crystals Display, Cair tapi Padat!*, Harian Umum Kompas, Jakarta, Mei 2004
9. Uchida, S.; O. Nomura; and R. Nakamura, **Effect of Thermal Conductivity on Thermal Stress Generated in MgO-C Brick for Basic Oxygen Furnace**, *The Science of Engineering Ceramic II*, Key Engineering Materials Vols. 161-163, pp. 637-640, (1999).