



UNIVERSITAS INDONESIA

**PRODUKSI ASPAL DARI BATUAN ASBUTON DENGAN
EKSTRAKSI MENGGUNAKAN ASAM FORMAT**

SKRIPSI

IVAN MERY DEVIANTO

0806333190

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PRODUKSI ASPAL DARI BATUAN ASBUTON DENGAN
EKSTRAKSI MENGGUNAKAN ASAM FORMAT**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

IVAN MERY DEVIANTO

0806333190

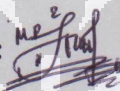
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
KEKHUSUSAN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

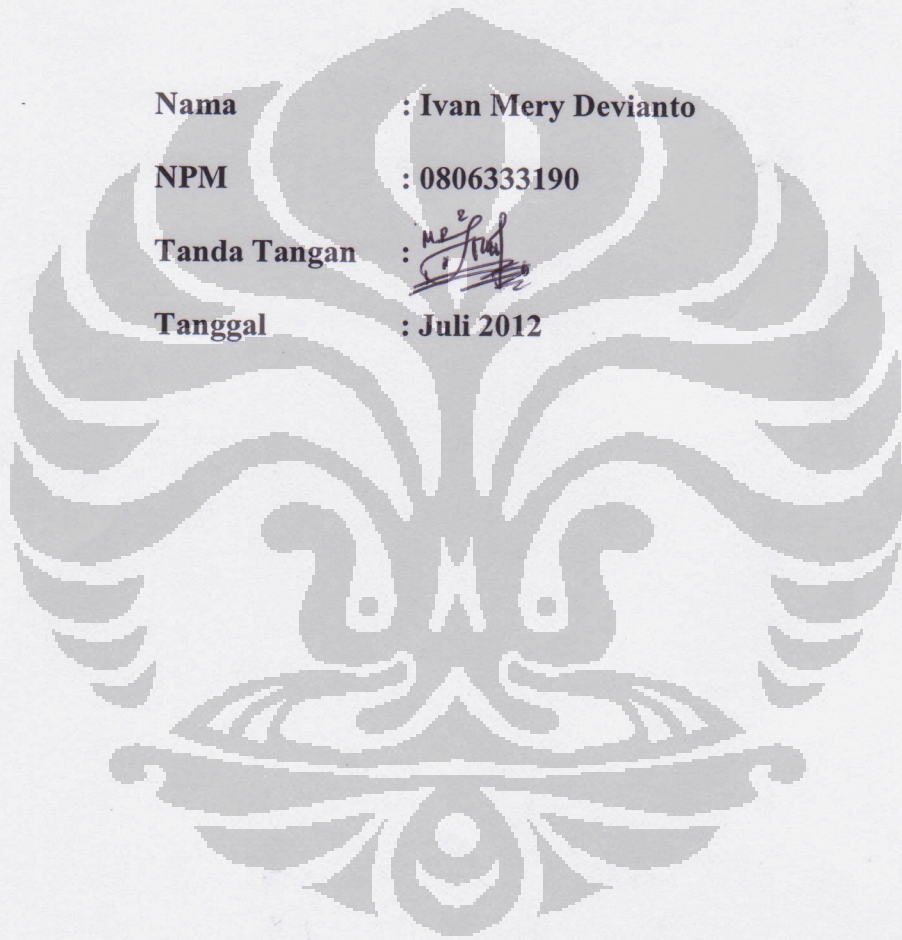
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ivan Mery Devianto

NPM : 0806333190

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juli 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ivan Mery Devianto

NPM : 0806333190

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : “Produksi Aspal dari Asbuton dengan Ekstraksi Menggunakan Asam Format”

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng

(.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T.

(.....)

Penguji : Dr. Muhammad Sahlan, S.Si., M.Eng

(.....)

Penguji : Ir. Dewi Triastantini, M.T., Ph.D

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Produksi Aspal dari Asbuton dengan Ekstraksi Menggunakan Asam Format”**. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi yang ditulis ini mengenai proses ekstraksi Aspal Buton yang ada di Indonesia.

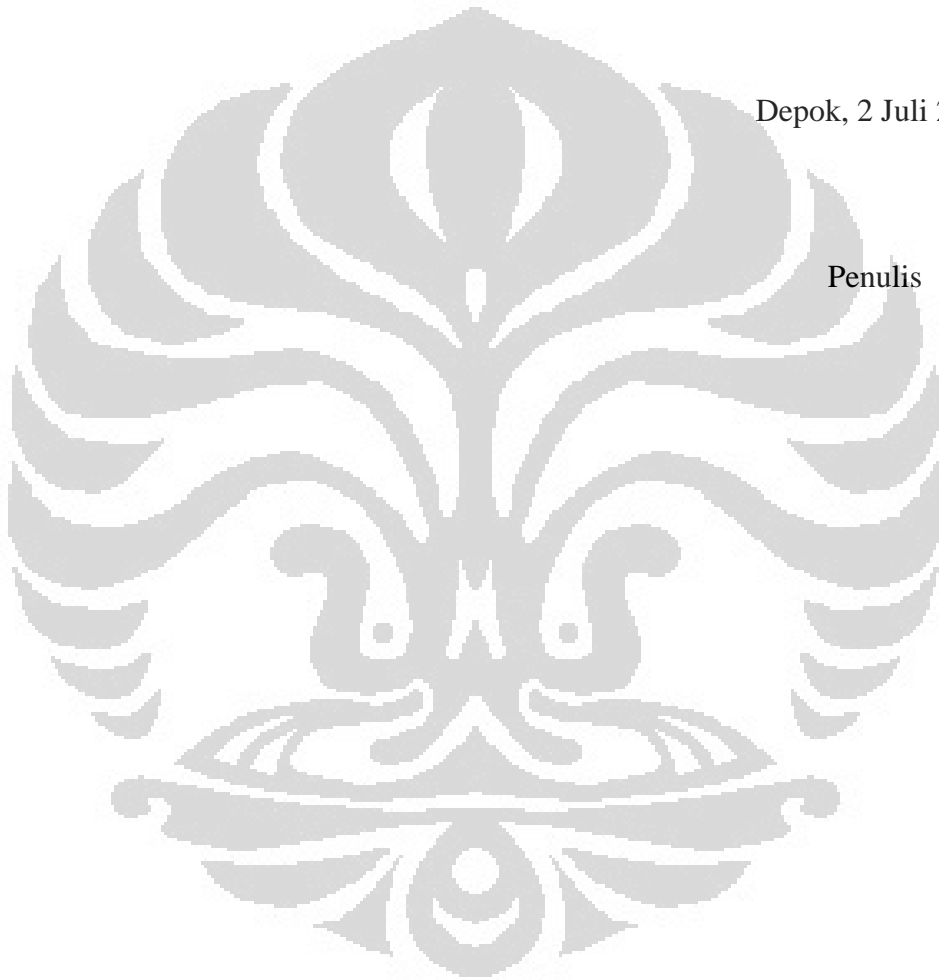
Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya juga mengucapkan terima kasih kepada:

- Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengayomi dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- Ir. Yuliusman, M. Eng. sebagai kordinator skripsi Teknik Kimia FTUI;
- Prof.Dr.Ir Sutrasno Kartohardjono dan Dr. Ir. Nelson Saksono, MT sebagai pembimbing akademik yang selalu membantu segala urusan akademis saya;
- Prof.Dr.Ir.Widodo Purwanto, DEA sebagai Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
- Illyin A.B, Hendra Fauzi, Antoni Stefan, Juherianto, Dian Nindita, dan teman lainnya yang telah bersedia berdiskusi dan saling mendukung satu sama lain selama proses penyelesaian skripsi ini;
- Mang Ijal, Mas Eko, dan Kang Jajat sebagai teknisi laboratorium yang telah membantu dalam merancang alat penelitian ini;
- Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- Hana Nabila Anindita sebagai anugerah luar biasa dari Allah SWT kepada penulis yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis selama menyelesaikan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa dalam makalah skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, ibarat gading yang tak pernah retak. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga dapat menyempurnakan skripsi ini dan melaksanakan perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan bagi dunia ilmu pengetahuan dan teknologi untuk pengembangan bangsa ini.

Depok, 2 Juli 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ivan Mery Devianto
NPM : 0806333190
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty – Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Produksi Aspal dari Batuan Asbuton dengan Ekstraksi Menggunakan Asam Format”

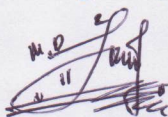
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2012

Yang menyatakan



(Ivan Mery Devianto)

ABSTRAK

Nama : Ivan Mery Devianto
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Produksi Aspal dari Batuan Asbuton dengan Ekstraksi Menggunakan Asam Format

Potensi asbuton yang besar mendesak adanya pemanfaatan asbuton. Salah satu metode pemanfaatannya adalah ekstraksi padatan karbonat dengan pelarut asam, misalnya HCl. Namun, penggunaan larutan HCl pada konsentrasi tinggi akan menghasilkan limbah berbahaya dan tidak ekonomis. Penggunaan asam format dapat dijadikan alternatif sebagai pelarut. Ekstraksi secara *batch* dengan agitasi dilakukan pada variasi suhu operasi, konsentrasi, waktu, dan rasio padatan-pelarut. Larutnya padatan karbonat menyisakan produk aspal. Jumlah padatan terlarut dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi, waktu, dan rasio. Persentase padatan terlarut maksimal dicapai menggunakan larutan asam format 4M pada suhu 80°C selama 90 menit dengan rasio sebesar 0,08 g-asbuton/mL-pelarut. Kemurnian dari produk aspal mencapai 90,54%.

Kata Kunci : asbuton, ekstraksi, padatan karbonat, asam format

ABSTRACT

Name : Ivan Mery Devianto
Major : Chemical Engineering
Title : Asphalt Production from Asbuton Rock by Extraction Using Formic Acid

The great potential of asbuton urges utilization of asbuton. One of its utilization is carbonate mineral extraction with acid solution, e.g. HCl, to produce asphalt. However, the use of HCl solution at high concentrations will produce hazardous waste and uneconomical. Batch extraction with agitation carried on a variety of operating temperature, concentration, time, and solid-solvent ratio. Dissolution of carbonate mineral leaving the asphalt product. The amount of dissolved solids is affected by temperature, concentration, time, and ratio. The maximum percentage of dissolved solids can be achieved when using a 4M formic acid solution at 80°C for 90 minutes with solid-solvent ratio of 0.08 g/mL. The purity of asphalt product reaches 90,54%.

Keyword : asbuton, extraction, carbonate mineral, formic acid

DAFTAR ISI

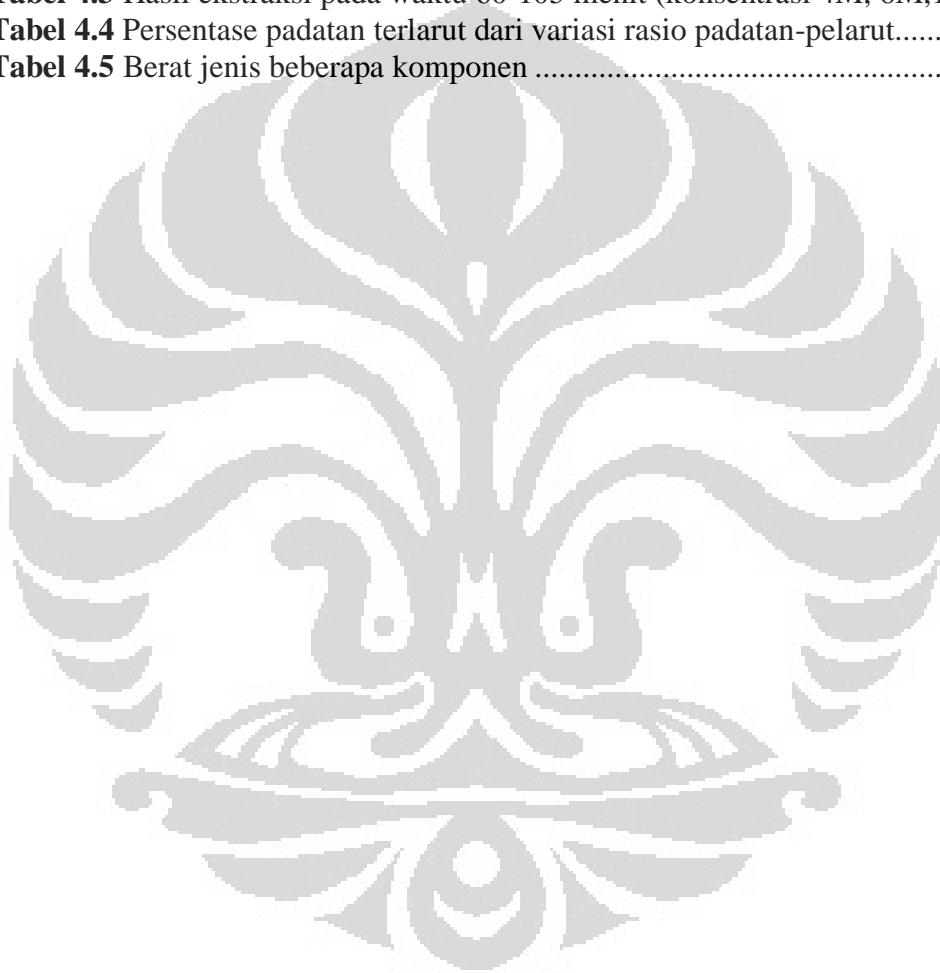
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Aspal Buton.....	6
2.1.1 Konsumsi Aspal.....	6
2.1.2 Potensi Aspal Buton.....	7
2.1.3 Komponen Asbuton	8
2.2 Asam Format	11
2.3 Proses Pengolahan Aspal Buton.....	13
2.3.1 Ekstraksi Aspal Buton	13
2.2.2 Pelarutan Batuan Aspal Buton.....	14
2.5 Metode ASTM C 25-06.....	17
2.6 Metode SNI 03-3640-1994.....	18
2.7 Analisis FTIR	19
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Variabel Bebas dan Variabel Terikat	23
3.3 Alat dan Bahan	24
3.3.1 Alat.....	24
3.3.2 Bahan	24
3.4 Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1 Persiapan dan Perancangan Alat.....	24

3.4.2 Persiapan Bahan.....	24
3.5.3 Pengujian ASTM C25-06	25
3.5.4 Proses Pelarutan Asbuton	26
3.5.5 Pengujian Kualitas	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Kandungan Padatan Karbonat dalam Asbuton.....	29
4.2 Penentuan Kondisi Optimum Ekstraksi	30
4.3 Kinetika Pelarutan	42
4.4 Pengujian Berat Jenis Aspal	45
4.5 Analisis FTIR	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan mineral dalam batuan asbuton	9
Tabel 2.2 Karakteristik aspal alam di Buton	10
Tabel 2.3 Karakteristik aspal minyak.....	10
Tabel 2.4 Komposisi zat pada aspal Buton dan aspal minyak	11
Tabel 4.1 Kandungan padatan karbonat dalam asbuton.....	29
Tabel 4.2 Pengaruh suhu (25-100°C) pada pelarutan karbonat.....	32
Tabel 4.3 Hasil ekstraksi pada waktu 60-105 menit (konsentrasi 4M, 6M,10M) 37	
Tabel 4.4 Persentase padatan terlarut dari variasi rasio padatan-pelarut.....	41
Tabel 4.5 Berat jenis beberapa komponen	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Produksi aspal Buton dari tahun 2001 s.d. tahun 2008	6
Gambar 2.2 Persebaran daerah berpotensi akan aspal Buton di Pulau Buton	8
Gambar 2.3 Struktur kimia asam format	12
Gambar 2.4 Pengaruh pH dan suhu pada pelarutan padatan karbonat	16
Gambar 2.5 Spektrum FTIR untuk <i>asphaltene</i>	19
Gambar 2.6 Spektrum FTIR untuk SiO ₂	20
Gambar 2.7 Spektrum FTIR untuk CaCO ₃	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	22
Gambar 3.2 Reaktor Pyrex	24
Gambar 4.1 Aspal yang terapung dalam larutan asam	31
Gambar 4.2 Pengaruh suhu terhadap pelarutan padatan karbonat	32
Gambar 4.3 Pengaruh konsentrasi terhadap pelarutan padatan karbonat	35
Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi dan waktu terhadap pelarutan padatan	38
Gambar 4.5 Pengaruh rasio asbuton-pelarut terhadap pelarutan padatan	42
Gambar 4.6 Plot $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ vs waktu pada variasi suhu	43
Gambar 4.7 Plot $\ln k$ vs $1/T$ pada variasi suhu	44
Gambar 4.8 Spektra FTIR dari batuan asbuton dengan pelet KBr	47
Gambar 4.9 Spektra FTIR dari aspal hasil ekstraksi dengan pelet KBr	47

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek yang paling dibutuhkan dalam infrastruktur suatu daerah adalah pembangunan jalan. Pembangunan jalan tidak terlepas dari ketersediaan bahan bakunya, yakni aspal. Aspal dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu aspal alami dan aspal minyak. Aspal minyak merupakan aspal yang dihasilkan dari fraksinasi minyak bumi, sedangkan aspal alami merupakan aspal yang sudah tersedia di alam dalam bentuk batuan.

Aspal alami hanya terdapat di beberapa negara saja seperti Amerika Serikat, Prancis, dan Indonesia. Bangsa Indonesia pun memiliki potensi kekayaan aspal alami yang besar yaitu asbuton (aspal Buton). Hal ini patut dibanggakan karena Indonesia memiliki jumlah cadangan yang jauh lebih besar dibandingkan negara lainnya. Cadangan potensi aspal Buton ini dapat mencapai 677 juta ton dan mampu memenuhi kebutuhan infrastruktur dalam negeri hingga 200 tahun yang akan datang (Suaryana, 2007). Akan tetapi, kekayaan aspal Buton ini belum bisa tereksplorasi secara maksimal hingga saat ini.

Selama ini, pemerintah selalu mengimpor aspal minyak untuk memenuhi kebutuhan aspal dalam negeri. Desakan akan pemanfaatan asbuton ini terus meningkat apabila mengingat kebutuhan aspal dalam negeri yang selalu meningkat tiap tahunnya. Hal ini didukung dengan semakin menipisnya cadangan minyak bumi di Indonesia, sehingga memungkinkan terjadinya peningkatan impor aspal minyak.

Jika dilihat dari kualitasnya, asbuton lebih unggul dibandingkan dengan aspal minyak bumi. Stabilitas yang dimiliki aspal Buton lebih tinggi dibanding dengan aspal minyak, sehingga daya tahan dari aspal Buton lebih lama (Suaryana, 2007). Aspal minyak bumi hanya memiliki daya tahan selama lima tahun, sedangkan aspal Buton memiliki daya tahan hingga sepuluh tahun. Apalagi kebutuhan akan pembangunan infrastruktur belum akan berhenti dalam waktu dekat ini. Untuk itu, asbuton ini memiliki peluang masa depan yang cerah untuk dicanangkan dan dimanfaatkan secara besar bagi infrastruktur kota di Indonesia.

Salah satu cara untuk mendapatkan aspal dari batuan asbuton adalah metode ekstraksi. Pengembangan mengenai ekstraksi aspal ini sudah dilakukan sejak lama, baik dengan pelarut organik maupun anorganik. Berbagai macam pelarut organik telah diuji pada ekstraksi aspal alami antara lain, kerosin (Sayono, 2000), heksana (Purwono, 2005), TCE dan n-propil bromida (Gardiner, 2000). Penggunaan pelarut itu belum mampu untuk mendapatkan 100% aspal dari sejumlah batuan asbuton dan tidak cocok dengan porositas asbuton. Pelarut anorganik pun menjadi pilihan berikutnya untuk dapat mengestraksi aspal dari batuan, salah satunya adalah penggunaan larutan HCl (Lisminto, 1996). Akan tetapi, penggunaan larutan HCL 30%-berat sebagai asam kuat yang sangat korosif akan menghasilkan limbah berbahaya yang banyak, tidak bisa berlangsung secara berkelanjutan, dan tidak ekonomis. Oleh karena itu, kedua metode ekstraksi itu sulit untuk diterapkan dalam skala industri.

Padatan karbonat menjadi senyawa paling banyak yang terkandung dalam mineral asbuton (Siswosoebroto dkk, 2005). Penggunaan asam, seperti HCl, dalam produksi aspal bertujuan untuk melarutkan padatan karbonat (CaCO_3 dan MgCO_3) yang menempel pada aspal di batuan aspal Buton. Untuk menggantikan peran larutan HCl, larutan asam organik dapat digunakan melarutkan padatan tersebut. Asam organik lemah tersebut juga mampu melarutkan CaCO_3 (Nicrode dan William, 1971). Sifatnya sebagai asam organik lemah memiliki keuntungan tersendiri karena mudah terdisosiasi dalam air dan memiliki kapasitas ionik yang besar untuk mempermudah reaksi dengan senyawa padatan karbonat (Sjoberg dan Rickard, 1983 ; Fredd dan Fogler, 1998 ; Nasr-El-Din dkk, 2001; Morse dan Arvidson, 2002).

Salah satu jenis dari asam organik adalah asam format. Asam format memiliki nilai derajat keasaman yang lebih tinggi dibanding asam organik yang lain. Hal inilah yang membuat asam format mampu melarutkan padatan karbonat lebih maksimal. Selain itu, sifatnya yang sangat polar tentu tidak mengakibatkan komponen aspal terlarut didalamnya. Untuk itu, pada penelitian ini diaplikasikan asam format pada proses produksi aspal dari batuan asbuton dengan melarutkan padatan karbonat yang menempel pada aspal.

Tahap awal penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian keberadaan padatan karbonat dalam batuan asbuton dengan ASTM C25-06. Tahap kedua yang dilakukan adalah proses ekstraksi asbuton. Sejumlah batuan asbuton yang telah dipreparasi akan dimasukkan ke dalam reaktor berisi larutan asam format dengan berbagai variasi, yaitu variasi suhu, variasi konsentrasi pelarut, variasi waktu, dan variasi suhu. Untuk mempercepat keberlangsungan proses ekstraksi, agitasi diberikan dalam reaktor selama proses. Setelah proses ekstraksi selesai, aspal dipisahkan dari larutan. Aspal yang diperoleh akan langsung dipanaskan untuk menguapkan sisa air dan asam. Produk aspal tersebut ditimbang untuk melihat adanya perubahan massa akibat pelarutan yang terjadi. Tahap terakhir dari penelitian yaitu pengujian ASTM C25-06 kembali, pengujian berat jenis aspal, dan pengujian FTIR sebagai bentuk analisis kualitatif.

Penelitian ini mampu memberikan solusi terkait masalah pemanfaatan aspal Buton. Penelitian ini menghasilkan metode untuk mendapatkan aspal dari batuan asbuton. Metode ini dapat terus dikembangkan untuk dilanjutkan menuju dunia industri. Pemanfaatan aspal Buton yang ekonomis tentu akan membuat investor tertarik akan peluang usaha di bidang aspal ini, sehingga mampu meningkatkan devisa negara, membuka lapangan kerja baru, serta mampu berdaya saing dunia.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dihadapi dalam penelitian ini antara lain :

1. Berapa banyak padatan karbonat dalam batuan asbuton yang dapat dilarutkan dengan asam format?
2. Bagaimana pengaruh suhu, konsentrasi, rasio, dan waktu terhadap persentase padatan yang terlarut?
3. Bagaimana kondisi optimum proses ekstraksi untuk mendapatkan kemurnian aspal yang optimum?
4. Bagaimana kualitas dari produk hasil ekstraksi asbuton?

1.3 Tujuan Penelitian

Ada tiga tujuan utama yang ingin dicapai dalam penelitian tentang pelarutan batuan aspal Buton ini dengan asam format, antara lain :

1. Memperoleh aspal murni dalam batuan aspal Buton dengan melarutkan batuan aspal Buton dalam larutan asam format.
2. Mengetahui pengaruh suhu, konsentrasi, rasio, dan waktu terhadap persentase padatan yang terlarut.
3. Mengetahui kondisi optimum proses ekstraksi untuk mendapatkan kemurnian aspal yang optimum.
4. Mendapatkan perbandingan hasil proses ekstraksi dengan larutan asam lainnya.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini yaitu :

1. Sampel batuan aspal Buton yang digunakan berasal dari daerah Lalewe.
2. Pelarut yang digunakan berupa asam format.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, antara lain:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan mengenai informasi tentang konsumsi aspal di Indonesia, cadangan asbuton, proses pengolahan asbuton, asam asetat, pengujian padatan karbonat karbonat, dan pengujian FTIR.

BAB 3: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, variabel bebas, variabel terikat, bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian, serta prosedur penelitian.

BAB 4: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data hasil penelitian yang telah diolah kemudian dianalisis. Pembahasan hasil ini mencakup mengenai pengaruh beberapa variasi dan perbandingan terhadap hasil penelitian lainnya.

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini dan saran untuk menuju perkembangan hasil yang lebih baik dan memuaskan.

DAFTAR PUSTAKA



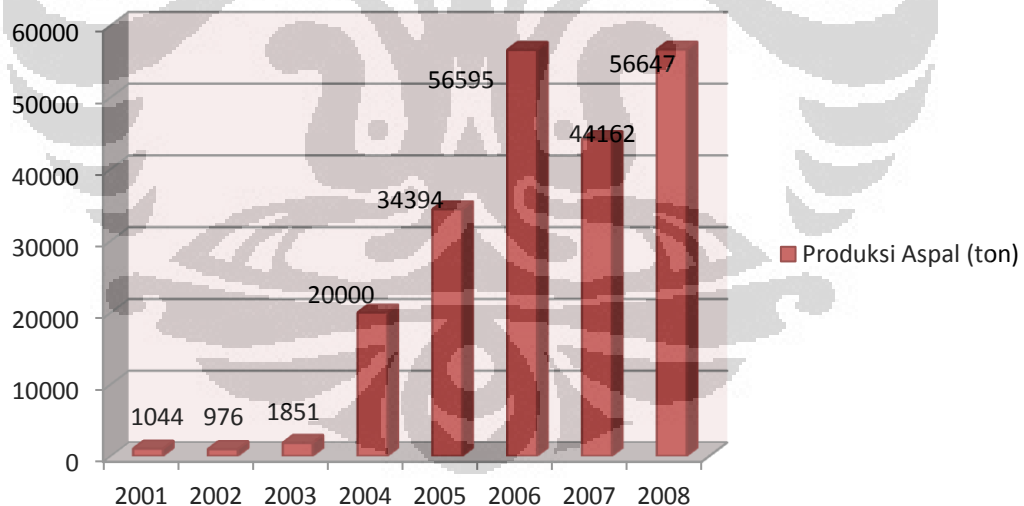
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Buton

2.1.1 Konsumsi Aspal

Potensi pasar kebutuhan aspal nasional cukup besar yakni mencapai 1.000.000 ton hingga 2.000.000 ton per tahun (Binarmarga, 2008). Konsumsi aspal itu tak lain digunakan untuk pembangunan proyek jalan-jalan di seluruh Indonesia. Aspal yang digunakan tersebut telah disediakan dari produksi dalam negeri dan impor luar negeri. Produsen aspal minyak dalam negeri satu-satunya adalah Pertamina yang hanya mampu menghasilkan aspal sebanyak 600.000 ton per tahun. Hal itu tak mampu memenuhi permintaan pasar akan kebutuhan dalam negeri. Sisanya tentu harus dipenuhi dengan melakukan impor aspal dari perusahaan Esso dan BP, agar kebutuhan dalam negeri bisa tercukupi.



Gambar 2.1 Produksi aspal Buton dari tahun 2001 s.d. tahun 2008 (Badan Pusat Statistik, 2010)

Jika melihat pada Gambar 2.1, produksi aspal dari asbuton meningkat drastis dari tahun 2003 menuju tahun 2004. Pada tahun sebelumnya, asbuton masih sangat belum dimanfaatkan sebagai suatu aset bangsa. Pemanfaatan aspal Buton mencapai 50.000 ton dimulai dari tahun 2006. Akan tetapi, produksi aspal

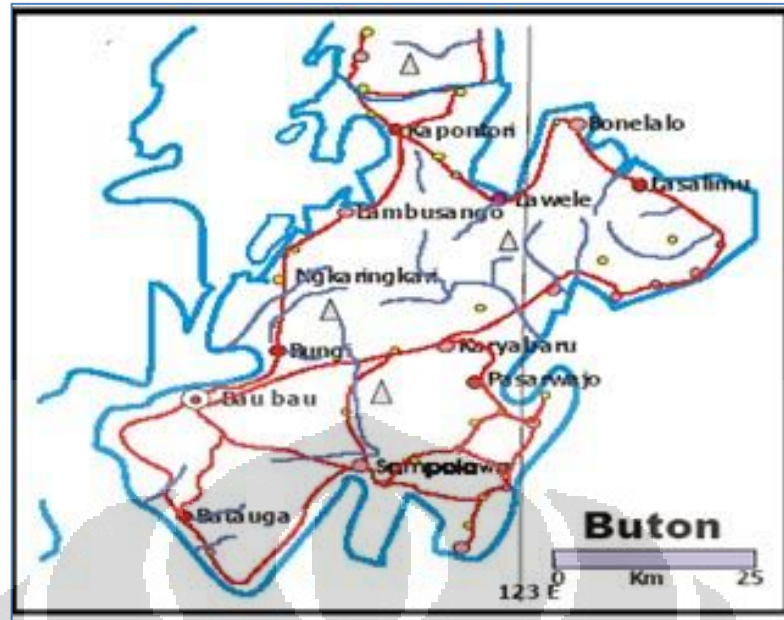
Buton yang dihasilkan masih jauh dari jumlah konsumsi aspal di Indonesia tiap tahunnya. Hal ini terjadi karena belum adanya metode produksi yang tepat untuk mendapatkan aspal Buton secara besar-besaran. Apabila ditemukan metode yang tepat dan ekonomis untuk proses produksi aspal Buton, produksi akan aspal Buton pasti akan terus meningkat secara signifikan dan mampu mencukupi kebutuhan aspal dalam negeri.

Pemerintah Indonesia telah mengalokasikan program pemanfaatan aspal buton secara nasional sebanyak 33.477 ton pada tahun 2010 untuk pembangunan jalan sepanjang 463,2 km yang tersebar pada 27 Propinsi di Indonesia (Departemen Pekerjaan Umum, 2009). Hal itu sebagai bentuk tindak lanjut dari kebijakan nasional yang telah dibuat mengenai pemanfaatan aspal Buton. Kebijakan pemerintah ini akan terus ditingkatkan pada tahun-tahun berikutnya untuk mendorong perkembangan industri produksi aspal dari asbuton.

2.1.2 Potensi Aspal Buton

Aspal Buton atau asbuton banyak terkandung dalam deposit batuan yang terdapat di Pulau Buton dan sekitarnya dalam Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi yang berpotensi menjadi daerah penambangan asbuton di Pulau Buton yaitu Waisiu, Kabungka, Winto, Wariti, Lawele dan Epe yang tersebar sekitar 70.000 ha dari Teluk Sampolawa disebelah Selatan sampai ke Teluk Lawele di sebelah Utara, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.

Jumlah aspal alam di Pulau Buton itu diperkirakan sekitar 650 juta ton dimana aspal buton itu memiliki kadar aspal bervariasi antara 10% sampai dengan 40%. Keberadaan aspal ini di muka bumi ini pun hanya pada kedalaman 1,5 meter dari permukaan tanah, sehingga mudah untuk ditambang. Dari segi pemanfaatan, produksi aspal buton tahunan saat ini hanya mampu berkisar 50.000 ton (Badan Pusat Statistik, 2010). Cadangan kekayaan alam sebanyak itu seharusnya dapat dimanfaatkan karena potensi nasionalnya sangatlah besar.



Gambar 2.2 Persebaran daerah berpotensi akan aspal Buton di Pulau Buton (Departemen Pekerjaan Umum, 2007)

Jika melihat dari potensi cadangannya di Indonesia, aspal alam Buton ini mampu dieksploitasi hingga beratus-ratus tahun yang akan datang. Apabila kita mengasumsikan bahwa jumlah produksi aspal Buton tahunan sebesar 1 juta ton per tahun sesuai dengan konsumsi aspal minyak nasional, cadangan aspal Buton itu mampu bertahan hingga 650 tahun yang akan datang. Apabila hanya 20 % dari total cadangan yang dapat diekstraksi maka akan mampu memenuhi kebutuhan nasional hingga 100 tahun.

Pemanfaatan aspal dari asbuton ini secara maksimal akan menekan pengeluaran negara untuk mengimpor aspal minyak. Keuntungan ekonomis pada anggaran pemerintah akan diperoleh, terlebih lagi jika aspalnya dapat diekspor ke luar negeri. Selain itu, adanya perkembangan industri di daerah Buton akan meningkatkan perekonomian masyarakat disana.

2.1.3 Komponen Asbuton

Asbuton yang berasal dari daerah Lawele dan Kebungka memiliki karakteristik yang berbeda. Partikel aspal alam yang berasal dari Kabungka umumnya keras dan memiliki kandungan *asphaltene* tinggi, sedangkan kandungan *maltene* lebih rendah dibandingkan dengan aspal minyak. Asbuton

dari daerah Kabungka diperkirakan memiliki afinitas yang baik dan rentan pada suhu rendah. Asbuton yang berasal dari daerah Lawele cenderung lebih lunak karena kandungan *asphaltene* yang lebih sedikit dibandingkan dengan asbuton dari Kabungka. Dari eksplorasi yang telah dilakukan pada 66 titik di Lawele, ketebalan Asbuton sekitar 9 – 45 meter atau rata-rata 29,88 meter dimana lapisan pelindung atasnya setebal 3,47 meter.

Batuan asbuton mengandung lebih banyak mengandung mineral dibandingkan dengan komponen aspal. Kandungan aspal dalam asbuton sebesar 30,8% di daerah Lawele dan 20% di daerah Kabungka dari total massa sampel asbuton. Sisanya adalah berupa campuran mineral pengotor. Pada mineral tersebut, komponen terbanyak yaitu padatan CaCO_3 sebesar 72,9% untuk daerah Lawele dan 86,6% di daerah Kabungka (Siswosoebrotho dkk, 2005). Kandungan mineral sisanya adalah MgCO_3 , CaSO_4 , CaS dan mineral-mineral lainnya seperti yang tergambar dalam Tabel 2.1. Namun, CaCO_3 ini mengurung aspal yang terkandung di dalamnya sehingga mobilisasi aspal ke luar batuan sulit terjadi (Affandi, 2006). Untuk itu, dibutuhkan proses untuk meningkatkan mobilisasi aspal ke luar batuan.

Tabel 2.1 Kandungan mineral dalam batuan asbuton (Siswosoebrotho dkk, 2005)

Komponen	Persentase (%)	
	Lawele	Kabungka
CaCO_3	72,9	86,66
MgCO_3	1,28	1,43
CaSO_4	1,94	1,11
CaS	0,52	0,36
H_2O	2,94	0,99
SiO_2	17,06	5,64
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	2,31	1,52
LOI	1,05	0,96

Karakteristik dari masing-masing aspal hasil ekstraksi asbuton dapat dilihat dari Tabel 2.2. Karakteristik aspal tersebut memiliki persamaan dengan karakteristik aspal minyak yang disesuaikan dengan standar yang dibutuhkan, seperti di Tabel 2.3. Hal ini menunjukkan bahwa aspal dari asbuton mampu

dipergunakan sebagai pengganti aspal minyak ataupun campuran untuk modifikasi aspal.

Tabel 2.2 Karakteristik aspal alam di Buton (Siswosoebrotho dkk, 2005)

Sifat	Lawele	Kabungka	Satuan
Kandungan aspal	30,8	20,0	%
Penetrasi (25°C, 100g, 5 detik)	36	4	0,1mm
<i>Softening Point</i>	59	101	oC
Duktilitas (25°C, 5cm/menit)	>140	<140	Cm
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	99,6	-	% berat
<i>Flash Point</i>	198	-	oC
<i>Specific Gravity</i>	1,037	1,046	-
<i>Loss on heating</i> –LOH (163°C, 5 jam)	0,31	-	% berat
Penetrasi setelah LOH (25°C, 100g, 5 detik)	94	-	% orisinal
<i>Softening Point</i> setelah LOH	62	-	oC
Duktilitas setelah LOH (25°C, 5cm/menit)	>140	-	cm

Tabel 2.3 Karakteristik aspal minyak (Siswosoebrotho dkk, 2005)

Sifat	Nilai	Standar	Satuan
Penetrasi (25°C, 100g, 5 detik)	67	60-79	0,1mm
<i>Softening Point</i>	52	48-58	oC
Duktilitas (25°C, 5cm/menit)	>140	Min. 110	Cm
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	99,8	Min. 99	% berat
<i>Flash Point</i>	318	Min. 200	oC
<i>Specific Gravity</i>	1,039	Min. 1,0	-
<i>Loss on heating</i> –LOH (163°C, 5 jam)	0,015	0,8	% berat
Penetrasi setelah LOH (25°C, 100g, 5 detik)			% orisinal
<i>Softening Point</i> setelah LOH	85	Min. 54	oC
Duktilitas setelah LOH (25°C, 5cm/menit)	>140	Min. 50	cm

Aspal Buton ini mampu menggantikan aspal minyak karena kualitasnya lebih baik daripada aspal minyak. Hal ini berdasarkan hasil uji lab dari *Nippon Oil*

Universitas Indonesia

Lab dan Highway Reseach Institute of China. Pengujian lainnya juga dilakukan oleh Pusat Penelitian Jalan Departemen Pekerjaan Umum yang dituangkan dalam Sertifikasi Uji Kelayakan Teknis No. 06.1.02.485701.33.11.002. Isinya mengenai potensi penggunaan aspal Buton dalam pembangunan dan pemeliharaan jalan sudah sangat layak dan dapat segera dilaksanakan di Indonesia, bahkan di dunia. Jika melihat dari aspek kekuatan dan fatigue, kualitas aspal dari asbuton memenuhi syarat untuk menggantikan aspal minyak (Subagio dkk, 2003; Harry, 2006).

Aspal ini memiliki empat komponen utama yaitu *asphaltene*, resin, aromatik, dan hidrokarbon jenuh. Namun, kualitas dari aspal dapat terlihat dari kandungan *asphaltene*, nitrogen, dan parafin yang berbeda pada aspal Buton. Kandungan *asphaltene* dan nitrogen yang lebih banyak, serta parafin yang lebih sedikit akan membuat daya lekat aspal Buton jauh lebih baik dari aspal minyak. Berikut ini merupakan data perbandingan komposisi keduanya.

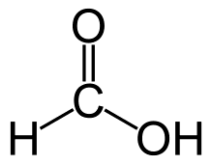
Tabel 2.4 Komposisi zat pada aspal Buton dan aspal minyak (Kurniadji, 2007)

Jenis Pengujian	Bitumen Aspal Buton	Aspal Minyak
Aspalthene (%)	51,32	21,71
Malthene (%)		
Nitrogen	5,61	1,69
Acidaffins I	26,67	29,77
Acidaffins II	11,77	31,12
Paraffins	4,61	16,10

2.2 Asam Format

Asam format atau asam metanoat adalah asam karboksilat yang paling sederhana. Asam format juga merupakan senyawa senyawa antara yang penting dalam banyak sintesis kimia. Rumus kimia asam format dapat dituliskan sebagai HCOOH atau CH₂O₂. Nama asam format berasal dari kata Latin “formica” yang berarti semut karena awalnya senyawa ini diisolasi melalui distilasi semut. Senyawa kimia turunan asam format, misalnya kelompok garam dan ester,

dinamakan format atau metanoat (ada ion format yang memiliki rumus kimia HCOO^-). Struktur kimia dari senyawa asam format adalah sebagai berikut.



Gambar 2.3 Struktur kimia asam format

Asam organik ini umumnya berwujud cairan, tidak berwarna, dan berbau tajam. Asam format memiliki densitas sebesar 1,22 g/mL. Titik didih yang dimilikinyasebesar 100,8°C, sedangkan titik bekunya pada 8,3°C. Asam format merupakan asam organik yang paling tinggi derajat keasamannya dibandingkan dengan asam karboksilat lainnya dengan memiliki nilai $K_a = 1 \times 10^{-4}$. Asam format termasuk ke dalam senyawa yang sangat polar dengan nilai konstanta dielektrik sebesar 50 pada suhu 60°F, sehingga mudah larut dalam air. Sebagai suatu senyawa asam karboksilat dengan rantai paling pendek, asam format sebagai asam karboksilat yang paling polar.

Pemakaian asam format sebagai produk antara untuk kepentingan industri cukup luas, di antaranya sebagai berikut :

- a. Banyak digunakan dalam industri karet yaitu sebagai bahan koagulasi karet alam.
- b. Banyak digunakan dalam industri farmasi, terutama untuk desinfektan, obat-obatan dan dipakai sebagai zat pengawet.
- c. Dalam industri tekstil, asam format digunakan dalam proses *dyeing* dan *finishing* sebagai *conditioner*.
- d. Dalam industri kulit, asam format digunakan untuk menetralsisir kapur.
- e. Asam format juga digunakan dalam industri makanan, terutama digunakan untuk mengasamkan makanan ternak.

Jika melihat salah satu peranan asam format dalam aplikasi industri di atas, asam format digunakan untuk menghilangkan batuan kapur. Asam format memang memiliki kemampuan untuk melarutkan padatan karbonat. Proses larutan asam format melarutkan padatan karbonat adalah dengan bereaksi dengannya. Dalam kehidupan sehari-hari, asam format beserta asam organik lainnya telah

digunakan untuk melarutkan kerak-kerak yang umumnya berupa padatan karbonat (Fernier dan Barber, 1998). Dalam aplikasi di industri, penggunaan asam organik telah dicoba pada proses peningkatan produksi minyak bumi dalam suatu reservoir yang terperangkap oleh batuan karbonat (Nasr-El-Din, 2001).

2.3 Proses Pengolahan Aspal Buton

2.3.1 Ekstraksi Aspal Buton

Ekstraksi padat cair atau *leaching* adalah transfer difusi komponen terlarut dari padatan inert ke dalam pelarutnya. Proses ini merupakan proses yang bersifat fisik karena komponen terlarut kemudian dikembalikan lagi ke keadaan semula tanpa mengalami perubahan kimiawi. Ekstraksi berkelanjutan diperlukan apabila padatan hanya sedikit larut dalam pelarut. Namun sering juga digunakan pada padatan yang larut karena efektivitasnya.

Metode penyiapan padatan pada proses *leaching* sangat bergantung pada komposisi zat terlarut yang ada, distribusi dalam padatan, sifat padatan, dan ukuran partikel padatan tersebut. Jika *solute* dikelilingi oleh zat tidak terlarut, pelarut harus berdifusi ke dalam padatan untuk melakukan kontak dan melarutkan *solute* kemudian berdifusi keluar. Pada kasus ini, penghancuran dan penggilingan padatan dilakukan untuk meningkatkan laju *leaching* karena pelarut lebih mudah berdifusi. Jika *solute* dalam padatan sangat merata pada seluruh padatan, proses ekstraksi akan membentuk suatu saluran-saluran transportasi yang menjadi jalan masuk dari pelarut. Oleh karena itu, batuan aspal Buton dapat diperlakukan sama dimana batuan aspal dapat dihancurkan sesuai ukuran tertentu sebelum proses ekstraksi dilakukan.

Zat terlarut (*solute*) yang terperangkap dalam padatan tentu harus diupayakan untuk terjadi mobilisasi dari rongga padatan menuju permukaan padatan. Hal ini tentu sama dengan upaya mengeluarkan aspal yang terperangkap pada batuan aspal Buton. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mobilisasi aspal adalah proses pemanasan batuan aspal Buton hingga suhu 120°C (Hardjosukanto, 2004). Mobilisasi aspal itu terjadi akibat berkurangnya viskositas bitumen karena kenaikan suhu. Aspal yang berviskositas rendah akan berpindah menuju permukaan melalui rongga-rongga (pori-pori) batuan.

Ekstraksi aspal alam untuk mendapatkan aspal telah dilakukan melalui berbagai macam pelarut organik, seperti heksana, kerosin, TCA, TCE (*trichloroethylene*), senyawa propil bromida, dan limonene. Keseluruhan pelarut tersebut memerlukan waktu ekstraksi yang berbeda-beda dan menghasilkan aspal dengan jumlah yang berbeda-beda. Aspal yang diperoleh dari proses ekstraksi konvensional ini tidak mampu mencapai 100%. Selain itu, harga pelarut yang mahal dan proses pemisahan antara aspal dan pelarut membutuhkan energi yang sangat besar. Oleh karena itu, proses ekstraksi ini belum tepat jika dijadikan dalam skala industri.

2.2.2 Pelarutan Batuan Aspal Buton

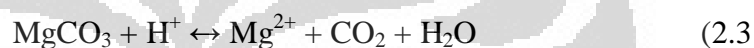
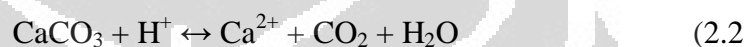
Seperti yang dijelaskan sebelumnya, batuan aspal Buton didominasi oleh keberadaan senyawa kalsium karbonat (CaCO_3). Salah satu metode alternatif untuk mendapatkan aspal yang terperangkap adalah dengan cara melarutkan CaCO_3 dalam larutan asam. Padatan CaCO_3 tersebut akan bereaksi dengan larutan asam. Dengan adanya reaksi tersebut, keberadaan padatan CaCO_3 berkurang dan membuat aspal yang mulanya terkandung atau tertempel akan terpisahkan. Peneliti bernama Lisminto (1996) telah meneliti bahwa penggunaan pelarut anorganik (pelarut asam) dapat diterapkan dalam skala industri. Pelarut yang digunakan tersebut adalah larutan HCl dengan konsentrasi 30%-berat. Kemampuan proses tersebut dalam mendapatkan aspal jauh lebih banyak dibandingkan dengan metode ekstraksi larutan organik. Larutan HCl itu akan bereaksi dengan CaCO_3 kemudian mampu mendapatkan aspal yang terkandung. Adapun reaksi yang terjadi yaitu



Proses reaksi itu tentu membutuhkan HCl yang banyak untuk mengimbangi padatan karbonat yang terselubungi oleh aspal agar dapat bereaksi. Apalagi larutan HCl yang mahal dan sangat korosif tersebut tidak bisa diperoleh kembali setelah dipakai dalam proses. Akibatnya, pemakaian HCl tentu tidak bernilai ekonomis, berbahaya, dan tidak berkelanjutan pada prosesnya. Dari berbagai jenis padatan mineral di dalam asbuton, hanya padatan silika yang tidak larut dalam HCl. Tidak larutnya padatan silika dalam asbuton mengakibatkan

masih adanya padatan pengotor di asbuton. Selain itu, hasil reaksinya yang berupa garam CaCl_2 tentu pun menjadi masalah berikutnya karena bisa menjadi limbah yang tidak berguna. Hal tersebut yang membuat metode ini pun belum berhasil menjadi industri besar untuk memperoleh aspal dalam asbuton.

Padatan karbonat mampu terlarut dalam larutan asam organik, seperti asam format, asam asetat, dan asam sitrat (Nierode dan Williams, 1971; Sjoberg dan Rickard, 1983; Fredd dan Fogler, 1998; Morse dan Arvidson, 2002; Nasr-El-Din dkk, 2007). Kelarutan padatan karbonat dalam asam organik karena aktifnya ion H^+ dari asam organik untuk bereaksi dengan padatan karbonat. Keberadaan air akan sangat mendukung terdisosiasinya ion H^+ dari asam organik, sehingga akan mempermudah proses reaksi. Skema reaksi sederhana antara asam organik dengan padatan karbonat antara lain :

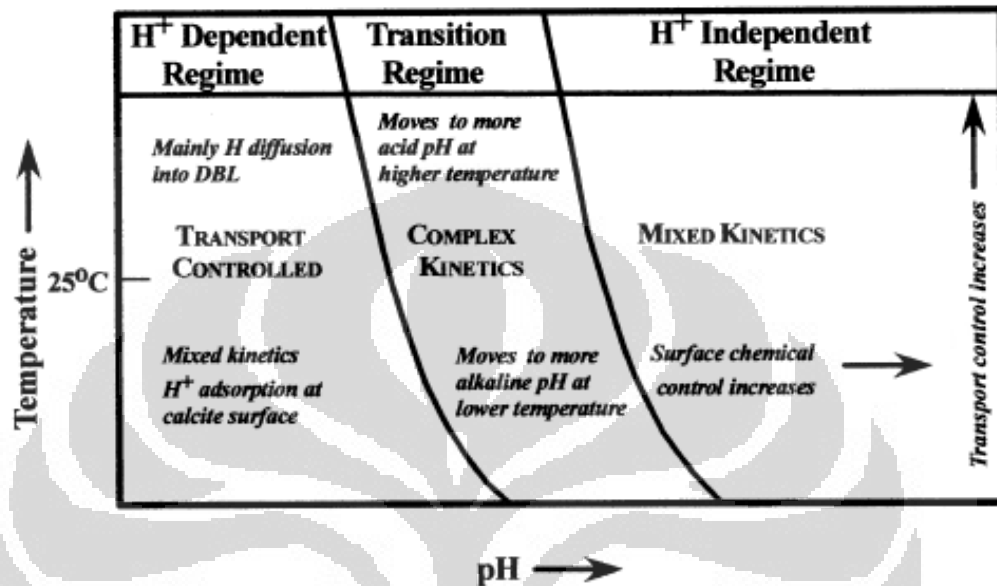


Konsep dasar dari mekanisme reaksi pelarutan padatan karbonat mencakup proses fisika dan kimia. Proses tersebut dikembangkan menjadi beberapa tahap (Morse dan Arvidson, 2002) seperti berikut:

1. Difusi reaktan dari fasa ruah larutan menuju permukaan padatan
2. Adsorpsi reaktan pada permukaan padatan
3. Perpindahan reaktan dari permukaan menuju *active site*
4. Terjadi reaksi kimia antara reaktan yang teradsorpsi dan padatan
5. Perpindahan produk keluar dari tempat terjadinya reaksi
6. Desorpsi produk dari permukaan padatan
7. Difusi produk dari permukaan menuju fasa ruah larutan

Kelarutan padatan karbonat dipengaruhi oleh konsentrasi asam (pH) dan suhu. Semakin tingginya pH akan menyebabkan banyaknya padatan karbonat yang terlarut. Kekuatan asam memegang peran dalam kelarutan padatan karbonat. Seperti terlihat dari Gambar 2.4, semakin rendahnya pH akan mengakibatkan proses kelarutan lebih dikontrol oleh difusi ion H^+ menuju lapisan batas. Pada pH di bawah 2,9 kelarutan dipengaruhi oleh laju perpindahan massa (difusi) ion H^+ dan produk, sedangkan kinetika reaksi dipermukaan baru mempengaruhi proses

pelarutan saat pH diatas 3,7 (Fredd dan Fogler, 1998). Semakin tingginya pH larutan mengakibatkan mudah terjadinya mekanisme reaksi permukaan yang kompleks, sehingga kelarutan padatan karbonat akan semakin rendah.



Gambar 2.4 Pengaruh pH dan suhu pada pelarutan padatan karbonat (Morse dan Arvidson, 2002)

Suhu mampu mempengaruhi proses reaksi kelarutan padatan karbonat. Adanya kenaikan suhu mengakibatkan makin mudahnya molekul bertumbukan hingga mampu menghasilkan energi yang dibutuhkan dari reaksinya. Selain itu, adanya kenaikan suhu mempermudah terjadinya difusi ion H⁺ menuju lapisan batas. Pada suhu yang rendah (misalnya 25°C), akan mempersulit perpindahan ion dan akhirnya proses kelarutan hanya dipengaruhi oleh reaksi dipermukaan. Oleh karena itu, kenaikan suhu bisa menyebabkan laju pelarutan padatan karbonat meningkat.

Penggunaan asam format dari berbagai asam organik lainnya didasarkan pada kekuatan asam yang dimilikinya berada di antara HCl dan asam organik lainnya. Kuatnya asam ini diharapkan mampu melarutkan padatan dalam asbuton dibandingkan dengan asam organik lainnya. Selain itu, sifat dari asam format yang sangat polar diharapkan tidak larutnya komponen aspal. Aplikasi asam format dalam pelarutan pun telah dilakukan pada peningkatan produksi di sumur-sumur minyak (Nasr-El-Din, 2001). Keuntungan lainnya menggunakan asam ini adalah

Universitas Indonesia

kelarutan padatan silika yang lebih tinggi dibandingkan dengan dalam larutan HCl. Berdasarkan penjelasan teori yang dipaparkan di atas, asam format dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan bitumen yang terperangkap dalam aspal Buton.

2.5 Metode ASTM C 25-06

Metode yang digunakan untuk menentukan kemampuan penetralan material yang mengandung kalsium dan untuk mengetahui persentase kalsium karbonat (% CaCO_3) didalamnya adalah metode pengujian *Calcium Carbonate Equivalent* (CCE). Alat-alat yang digunakan dalam metode ini adalah pH meter, *mechanical stirrer*, dan *sieve*. Bahan yang digunakan adalah indikator (*mixed indicator* atau PP), HCl 1 N yang telah distandarkan dan larutan standar NaOH (0.5 N). Sebelum bahan itu dilakukan uji kandungannya, sampel harus dipreparasi dengan cara dipanaskan terlebih dahulu. Selanjutnya, sampel ditimbang dan dipanaskan sampai suhu 110 ± 5 °C kemudian mencatat kembali massanya untuk mengukur kandungan air sampel. Sampel akan dihancurkan sampai berukuran 250 μm dan meletakkannya dalam wadah kedap udara.

Larutan NaOH standar dibuat dengan melarutkan 20 g NaOH dalam 150 ml air yang bebas dari CO_2 . Larutan itu didinginkan sampai suhu 25 °C dan dilarutkan sampai 1 L. Larutan itu harus disimpan dalam botol *polyethylene* yang bebas karbonasi untuk mencegah absorpsi CO_2 dari udara. Larutan tersebut kemudian diuji dengan HCl yang telah distandarkan dengan menitrasi NaOH yang telah dibuat. Larutan HCl distandarisasi dengan menggunakan Na_2CO_3 standar. Na_2CO_3 standar dibuat dengan mengeringkan Na_2CO_3 pada wadah pelebur pada suhu 250 °C selama 4 jam dan dinginkan dalam desikator. Menimbang secara akurat 4,4 g Na_2CO_3 kering dan masukkan dalam labu 500 mL. Masukkan 50 mL air bebas CO_2 , kocok perlahan untuk melarutkannya, dan tambahkan 2 tetes indikator 0,1% *methyl red* dalam alkohol. Melakukan titrasi sampel dengan HCl sampai larutan berwarna kemerahan, panaskan perlahan sampai warna menghilang. Dinginkan larutan sampai suhu ruangan dan lanjutkan titrasi. Melakukan titrasi, pemanasan dan pendinginan terus sampai pada pemanasan terakhir dimana warna merah tidak akan menghilang. Perhitungan normalitas menggunakan persamaan berikut ini.

$$A = \frac{18,87B}{C} \quad (2.4)$$

di mana A adalah normalitas HCl, B adalah massa Na_2CO_3 dan C adalah volume larutan HCl yang digunakan.

Ada dua metode standar pengujian CaCO_3 , yaitu *Indicator Titration Method* (dilakukan pada penelitian ini) dan *Potentiometric Titration Method*. Untuk mengukur kandungan CaCO_3 , kita menimbang 4,6 g sampel dengan ketelitian 0,1 mg dan memasukkannya ke dalam labu erlenmeyer 500 mL, menambahkan 100 mL 1 N HCl standard an memanaskannya dengan perlahan selama 5 menit. Sampel itu akan didinginkan lalu dilakukan titrasi menggunakan 0,5 N NaOH dengan indikator PP. Besar nilai CCE kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\% \text{CaCO}_3(\text{dry}) = \frac{5,0045(V_1N_1 - V_2N_2)}{W} \quad (2.5)$$

di mana V_1 adalah volume HCl yang digunakan dalam mL, N_1 adalah normalitas HCl, V_2 adalah volume NaOH yang digunakan untuk titrasi, N_2 adalah normalitas NaOH, dan W adalah massa sampel yang digunakan. Untuk persen massa keseluruhan, kita bisa menggunakan persamaan berikut ini :

$$\% \text{CaCO}_3(\text{dalam sampel}) = \left[1 - \left(A - \frac{B}{A} \right) \right] \times \% \text{CaCO}_3(\text{dry}) \quad (2.6)$$

di mana A adalah massa total dan B adalah massa kering sampel.

2.6 Metode SNI 03-3640-1994

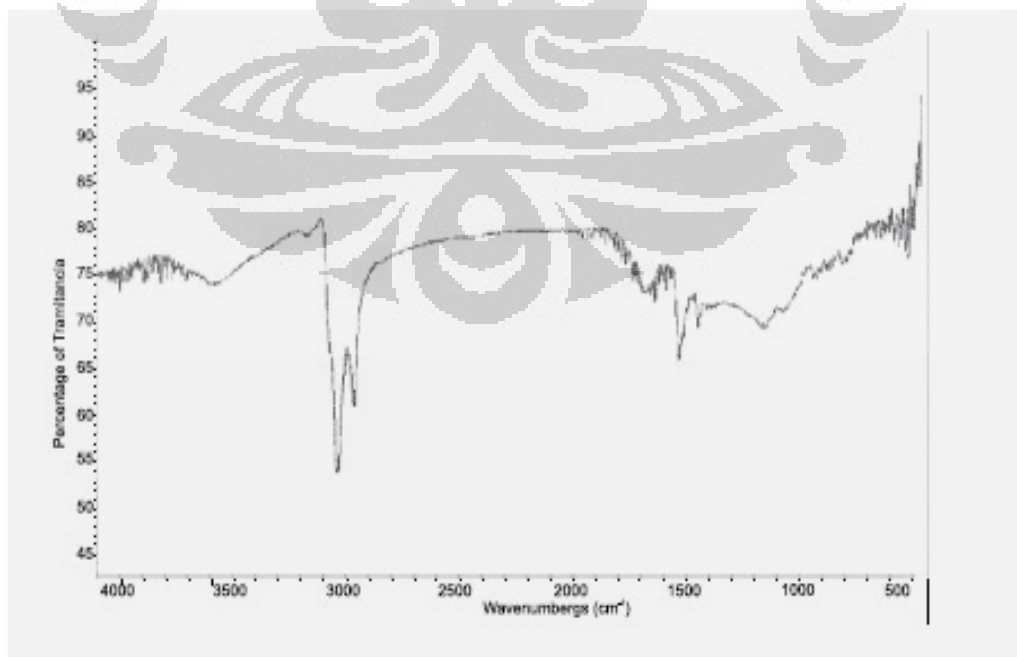
Salah satu metode yang digunakan untuk menguji kadar aspal dalam campuran, misalnya batuan asbuton, yaitu metode SNI 03-3640-1994 dengan menggunakan alat soklet. Bahan pelarut konvensional yang digunakan yaitu pelarut trikloroetilen (TCE). Proses ekstraksi ini bergantung pada titik didih dan titik nyala dari pelarutnya yang berlangsung hingga tidak ada lagi aspal yang terlarut dalam pelarutnya. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini harus memenuhi sertifikat kalibrasi. Adapun persyaratan sampel yang akan diuji adalah sebagai berikut :

- Sampel uji harus dalam keadaan kering;
- Sampel uji harus dibagi empat secara merata;

- Berat mineral atau agregat dalam campuran beraspal harus dihitung dari jumlah berat mineral yang ada dalam kertas saring ditambah berat mineral yang ada dalam larutan aspal.

2.7 Analisis FTIR

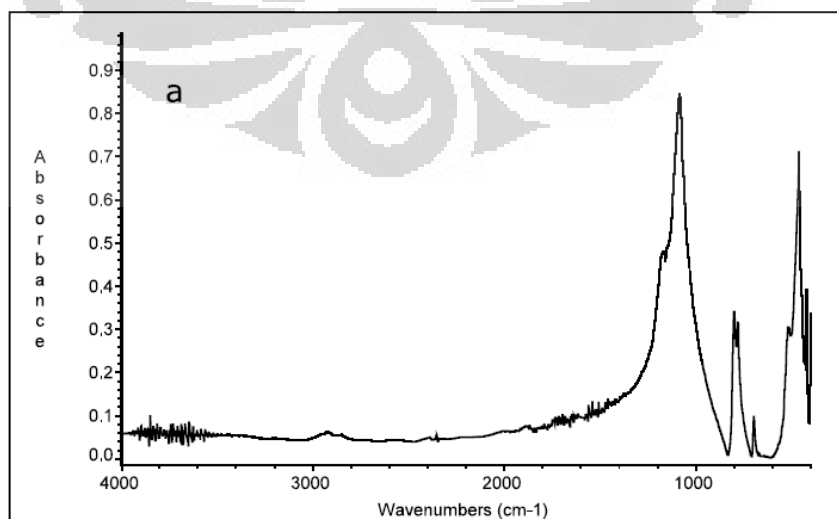
Aspek kualitatif dari *spectroscopy infrared* adalah salah satu dari metode yang paling penting dalam ilmu kimia analitik. Dalam bentuk paling sederhana, spektra inframerah terbentuk sebagai konsekuensi dari penyerapan radiasi elektromagnetik pada frekuensi yang berkorelasi dengan getaran dari seperangkat ikatan kimia tertentu dalam suatu molekul. Sebuah molekul yang terkena sinar inframerah menyerap energi inframerah pada frekuensi yang karakteristik untuk molekul tersebut. Selama analisis FTIR, sebuah daerah permukaan pada spesimen akan terkena sinar inframerah. Transmittansi pada spesimen dan pemantulan sinar inframerah pada frekuensi yang berbeda diterjemahkan ke dalam plot serapan inframerah terdiri dari puncak terbalik. Pola spektral yang dihasilkan FTIR kemudian dianalisis dan dicocokkan dengan pola spektra khusus dari suatu bahan yang diidentifikasi. Untuk melihat keberadaan suatu senyawa tertentu, diperlukan referensi gelombang spektranya, seperti yang terdapat di Lampiran A.



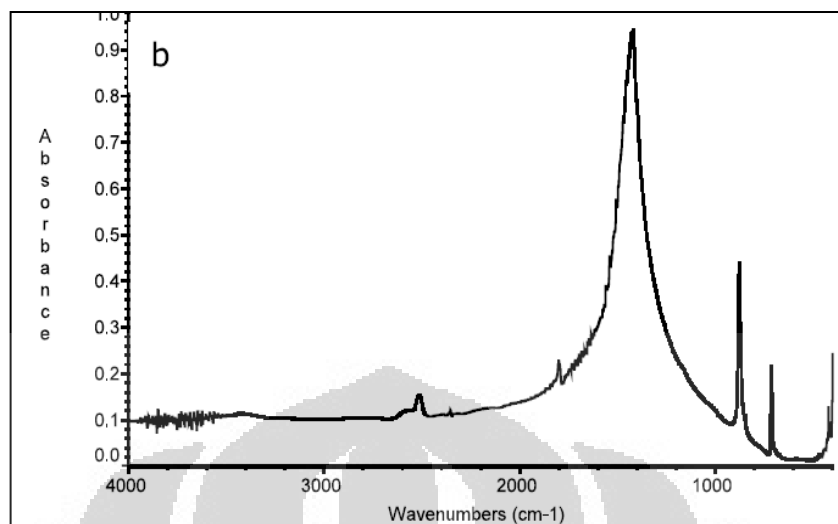
Gambar 2.5 Spektrum FTIR untuk *asphaltene* (León-Bermúdez dan Salazar, 2008)

Teknologi FTIR ini telah digunakan untuk melihat karakteristik keberadaan aspal. Keberadaan aspal ini dapat dilihat dari adanya zat kimia berupa *asphaltene*. *Asphaltene* ini dapat dibuktikan dengan melihat hasil spektra FTIR tertentu yang sesuai bentuk ciri khas strukturnya. *Asphaltene* dapat menunjukkan sinyal yang sesuai dengan struktur aromatik dan alifatik. Spektranya akan menunjukkan ikatan OH pada 3452 cm^{-1} dan ikatan CH aromatik pada $3024,32\text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya, pada frekuensi gelombang $1598,9\text{ cm}^{-1}$ akan menunjukkan ikatan CH_2 asimetris dan simetris sesuai dengan ikatan rangkap dari $\text{C}=\text{C}$ aromatik. Adanya unsur sulfur dan nitrogen pada struktur *asphaltene* dapat ditunjukkan dengan adanya sinyal pada frekuensi antara 1080 cm^{-1} dan 1030 cm^{-1} . Berikut ini adalah gambar hasil spektrum FTIR untuk keberadaan *asphaltene*.

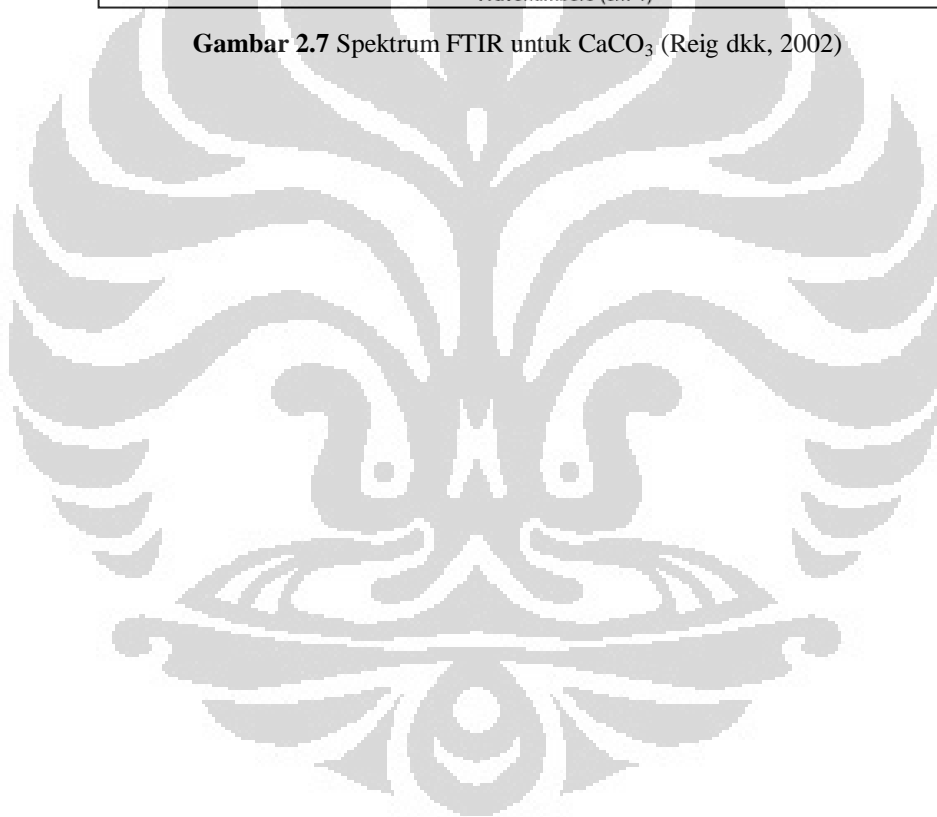
Teknologi FTIR ini telah digunakan untuk melihat karakteristik keberadaan padatan karbonat dan silika. Untuk menentukan silika dan kalsium karbonat dalam campuran, perlu dipelajari ikatan yang tampak pada spektra FTIR untuk mengukur masing-masing zat. Untuk silika, karakteristik ikatan yang muncul pada 1088 cm^{-1} , 798 cm^{-1} , 779 cm^{-1} , 515 cm^{-1} , dan 467 cm^{-1} . seperti terlihat pada Gambar 2.6. Untuk kalsium karbonat, karakteristik ikatan yang muncul berada pada 1420 cm^{-1} , 875 cm^{-1} dan 712 cm^{-1} seperti terlihat pada Gambar 2.7. Untuk senyawa magnesium karbonat, karakteristik ikatan muncul pada bilangan gelombang 1450 cm^{-1} , 878 cm^{-1} , dan 857 cm^{-1} , dan 748 cm^{-1} .



Gambar 2.6 Spektrum FTIR untuk SiO_2 (Reig dkk, 2002)



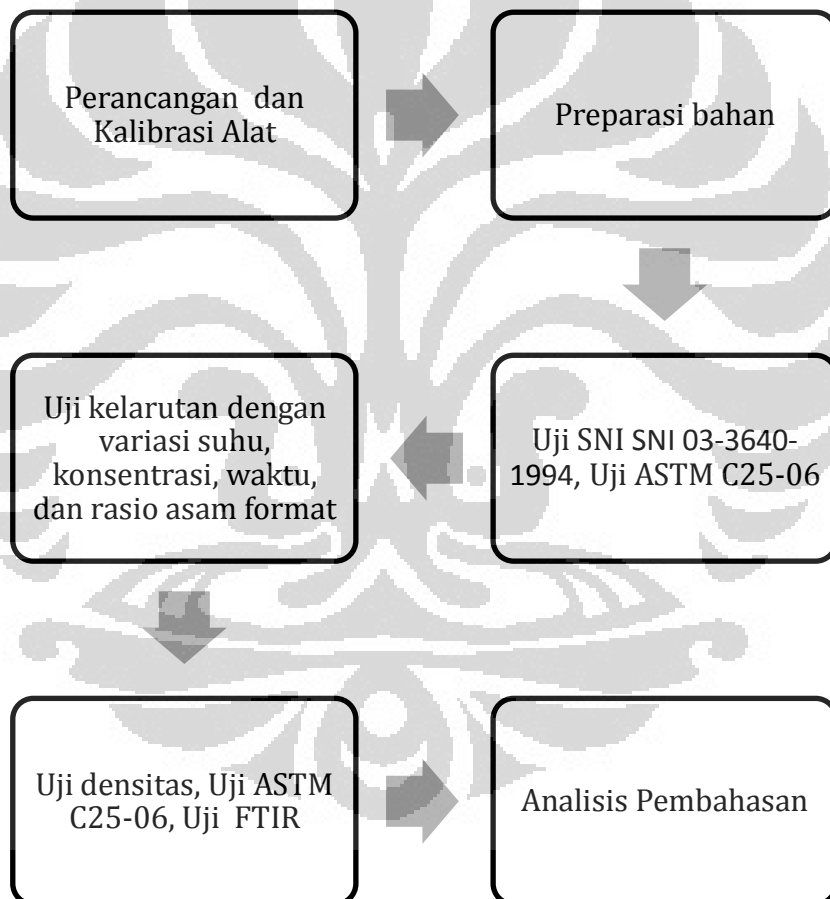
Gambar 2.7 Spektrum FTIR untuk CaCO₃ (Reig dkk, 2002)



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada Laboratorium Dasar Proses Kimia (DPK) dan Laboratorium Rekayasa Proses dan Produk Kimia (RPKA) yang terletak di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Diagram alir penelitian yang akan dilakukan antara lain.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Variabel Bebas dan Variabel Terikat

- Pengujian pengaruh suhu

Suhu sebagai variabel bebas divariasikan untuk melihat persentase padatan terlarut sebagai variabel terikat. Variasi suhu yang digunakan yaitu pada rentang 25°C s.d. 100°C. Variabel konsentrasi pelarut, waktu, volume pelarut, dan kecepatan pengadukan menjadi variabel tetap.
- Pengujian pengaruh konsentrasi

Konsentrasi sebagai variabel bebas divariasikan untuk melihat persentase padatan terlarut sebagai variabel terikat. Variasi konsentrasi yang digunakan yaitu pada rentang 1M s.d. 12M. Variabel suhu, waktu, volume pelarut, rasio, dan kecepatan pengadukan menjadi variabel tetap. Suhu yang dipergunakan dalam pengujian ini diperoleh dari nilai suhu optimum pengujian sebelumnya.
- Pengujian pengaruh waktu

Waktu sebagai variabel bebas divariasikan untuk melihat persentase padatan terlarut sebagai variabel terikat. Variasi waktu yang digunakan yaitu pada rentang waktu 0 menit s.d. 105 menit dengan selang waktu tiap 15 menit. Variabel suhu, konsentrasi, volume pelarut, rasio, dan kecepatan pengadukan menjadi variabel tetap. Suhu dan konsentrasi yang dipergunakan dalam pengujian ini diperoleh dari nilai optimum pengujian sebelumnya.
- Pengujian pengaruh rasio padatan-pelarut

Rasio padatan-pelarut sebagai variabel bebas divariasikan untuk melihat persentase padatan terlarut sebagai variabel terikat. Variasi rasio padatan-pelarut yang digunakan yaitu 1g/25mL, 2g/25mL, 3g/25mL, dan 4g/25mL. Variabel suhu, konsentrasi, volume pelarut, dan kecepatan pengadukan menjadi variabel tetap. Suhu, konsentrasi, dan waktu yang dipergunakan dalam pengujian ini diperoleh dari nilai optimum pengujian sebelumnya.

Menghitung persentase padatan terlarut dengan persamaan :

$$\text{persentase(\%)} = \frac{\text{massa sebelum ekstraksi} - \text{setelah ekstraksi}}{\text{massa sebelum ekstraksi}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Universitas Indonesia

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

- Gelas kimia
- Gelas ukur
- Corong gelas
- Cawan petri
- Oven
- Spatula
- Alu/Grinder
- Saringan 10 *mesh*
- Kertas Saring
- Pengaduk kaca
- Neraca analitik
- Termometer
- *Hot Plate Stirrer*
- *Magnet Stirrer*
- pH meter
- Alat uji FTIR
- Lab set
- *Stopwatch*
- Soklet
- Piknometer

3.3.2 Bahan

Bahan yang dibutuhkan antara lain :

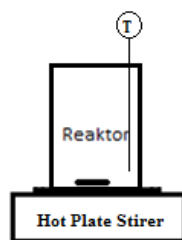
- Sampel batuan aspal alam Buton
- Asam format
- Pelarut komersial
- HCl
- NaOH
- Na₂CO₃
- Air demin
- TCE

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan dan Perancangan Alat

- a. Mencuci setiap peralatan yang akan digunakan dengan menggunakan aseton.
- b. Membilas setiap peralatan tersebut dengan air.
- c. Mengeringkan setiap peralatan dengan udara terkompresi.

- d. Mempersiapkan rangkaian reaktor pyrex, untuk proses reaksi sesuai dengan skema berikut ini:



Gambar 3.2 Reaktor Pyrex

- e. Melakukan kalibrasi alat ukur pada rangkaian yang digunakan.

3.4.2 Persiapan Bahan

a. Batuan aspal Buton

Batuan aspal Buton sebelum masuk proses perlu dilakukan preparasi terlebih dahulu, antara lain :

- i. Menghancurkan batuan aspal Buton dengan alu atau grinder
 - ii. Menyaring batuan aspal yang telah dihancurkan dengan ayakan 10 *mesh*.
 - iii. Memanaskan aspal Buton itu dengan oven pada suhu 120°C selama 15 menit (Hardjosukanto, 2004).
 - iv. Mendinginkan aspal Buton selama 15 menit pada suhu ruangan.
- b. HCl standar
- i. Melarutkan HCl distandarisasi dengan menggunakan Na₂CO₃ standar.
 - ii. Mengeringkan Na₂CO₃ pada wadah pelebur pada suhu 250 °C selama 4 jam dan dinginkan dalam desikator.
 - iii. Menimbang secara akurat 4,4 g Na₂CO₃ kering dan masukkan dalam labu 500 mL.
 - iv. Memasukkan 50 mL air bebas CO₂, kocok perlahan untuk melarutkannya, dan tambahkan 2 tetes indikator 0,1% *methyl red* dalam alkohol.
 - v. Menitrasi sampel dengan HCl sampai larutan berwarna kemerahan, panaskan perlahan sampai warna menghilang.
 - vi. mendinginkan larutan sampai suhu ruangan dan lanjutkan titrasi.

- vii. Melakukan titrasi, pemanasan dan pendinginan terus sampai pada pemanasan terakhir dimana warna merah tidak akan menghilang.
- viii. Menghitung normalitas menggunakan persamaan 2.4 di Bab 2 seperti berikut.

$$A = \frac{18,87B}{C}$$

di mana A adalah normalitas HCl, B (gram) adalah massa Na_2CO_3 dan C (mL) adalah volume larutan HCl yang digunakan.

- c. NaOH standar
 - i. Melarutkan 20 g NaOH dalam 150 ml air yang bebas dari CO_2
 - ii. Mendinginkan larutan sampai 25°C dan larutkan sampai 1 L
 - iii. Menitrasi larutan dengan HCl yang telah distandarkan untuk mengetahui normalitas larutan.
- d. Larutan asam
 - i. Melarutkan asam asetat dari asam asetat dengan kemurnian 97% dengan air demin
 - ii. Konsentrasi yang akan digunakan adalah 1 M, 2M, 4M, 6M, 8M, 10M dan 12M
 - iii. Menitrasi larutan dengan NaOH yang telah distandarkan untuk mengetahui normalitas larutan secara akurat

3.5.3 Pengujian ASTM C25-06

- a. Untuk mengukur kandungan CaCO_3 sebenarnya, sampel asbuton yang digunakan merupakan sampel asbuton yang belum dipreparasi
- b. Menimbang asbuton untuk 3 sampel, masing-masing 5 gram.
- c. Memanaskan sampai suhu 110°C dan timbang kembali sampel tersebut.
- d. Memasukkan sampel dalam gelas beaker 500 ml dan menambahkan 100 ml 1 N HCl
- e. Memanaskan perlahan selama 5 menit
- f. Mendinginkan dan titrasi kelebihan asam dengan 0,5 N NaOH dengan indikator PP.
- g. Menghitung persentase CaCO_3 dengan persamaan 2.5 dan 2.6 seperti berikut.

$$\%CaCO_{3(dry)} = \frac{5,0045(V_1N_1 - V_2N_2)}{W}$$

$$\%CaCO_{3(dalam\ sampel)} = \left[1 - \left(\frac{A - B}{A} \right) \right] \times \%CaCO_{3(dry)}$$

di mana $V_{1,2}$ (mL) dan $N_{1,2}$ (N) adalah volume dan normalitas untuk HCl dan NaOH berturut-turut, W (gram) adalah massa sampel, A adalah massa awal sampel dan B adalah massa kering sampel.

3.5.4 Proses Pelarutan Asbuton

- a. Menimbang massa batuan aspal yang sudah dipreparasi sebanyak 2 gram.
- b. Memasukkan batuan aspal tersebut ke dalam masing-masing reaktor pyrex.
- c. Memasukkan 25 mL larutan asam format dengan konsentrasi 6 M.
- d. Menyalakan *hot plate stirrer* pada suhu 40°C dengan kecepatan 500 rpm selama 15 menit.
- e. Memisahkan antara padatan dan larutan dengan menggunakan kertas saring
- f. Menyimpan larutan dalam wadah terpisah.
- g. Memanaskan aspal dan padatan sisa hingga suhu 130°C untuk mengurangi kadar air dan asam format selama 30 menit.
- h. Menimbang dan mencatat massa aspal hasil dari pelarutan.
- i. Menghitung persentase massa bitumen yang diperoleh dengan persamaan 7.
- j. Mengulangi langkah a sampai i untuk penggunaan suhu operasi 60°C, 80°C, dan 95°C.
- k. Mengulangi langkah a sampai i untuk variasi konsentrasi (1M, 2M, 4M, 6M, 8M, 10M, dan 12M) dengan suhu optimum yang diperoleh dari variasi suhu.
- l. Mengulangi langkah a sampai i untuk variasi waktu (0-105 menit) dengan suhu optimum dan beberapa konsentrasi yang diperoleh dari pengujian sebelumnya.
- m. Mengulangi langkah a sampai i untuk variasi rasio (1g/25mL, 2g/25mL, 3g/25mL, dan 4g/25mL) dengan suhu optimum dan konsentrasi optimum yang diperoleh dari pengujian sebelumnya.

3.5.5 Pengujian Kualitas

a. Uji SNI 03-3640-1994

- i. Menimbang kertas saring yang telah dibentuk sesuai diameter tabung ekstraksi dengan ketelitian 0,1 gram (a gram);
- ii. Memasukkan sampel ke dalam kertas saring;
- iii. Menimbang kertas saring berisi sampel (b gram);
- iv. Memasukkan kertas saring berisi sampel ke dalam tabung soklet yang telah disiapkan;
- v. Menambahkan pelarut hingga sampel terendam semua dan membiarkannya 15 menit;
- vi. Menambahkan sisa pelarut pada tabung tabung soklet sehingga pelarut turun ke labu soklet;
- vii. Memasang tabung pendingin dan mengalirkan air melalui tabung pendingin;
- viii. Menyalakan dan mengatur pemanas sehingga kecepatan tetesan pelarut satu sampai dua tetes per menit;
- ix. Menghentikan pengujian setelah pelarut yang ada dalam tabung ekstraksi menjadi jernih;
- x. Mengeluarkan kertas saring yang berisi mineral dari tabung soklet dan memasukkan ke dalam gelas kimia untuk didiamkan pada suhu kamar.
- xi. Mengeringkan kertas saring yang berisi mineral pada oven dengan suhu 120°C;
- xii. Menimbang kertas saring yang berisi mineral sampai beratnya tetap (f gram);
- xiii. Menghitung kadar aspal dalam sampel dengan persamaan :

$$\% \text{ kadar aspal} = \frac{(b-a)-(f-a)}{b-a} \times 100\% \quad (3.2)$$

b. Uji ASTM C25-06

- i. Menimbang sampel padatan hasil ekstrasi.
- ii. Memanaskan sampai suhu 110°C dan menimbang kembali sampel tersebut.
- iii. Memasukkan sampel dalam gelas beaker 500 ml dan menambahkan 100 ml 1 N HCl
- iv. Memanaskan perlahan selama 5 menit

- v. Mendinginkan dan titrasi kelebihan asam dengan 0,5 N NaOH dengan indikator PP.
- vi. Menghitung persentase CaCO_3 menggunakan persamaan 5 dan 6.
di mana $V_{1,2}$ (mL) dan $N_{1,2}$ (N) adalah volume dan normalitas untuk HCl dan NaOH berturut-turut, W (gram) adalah massa sampel, A adalah massa awal sampel dan B adalah massa kering sampel.

b. Uji Berat jenis

- i. Mengambil sejumlah tertentu sampel aspal hasil ekstrasi.
- ii. Menimbang sampel aspal tersebut.
- iii. Menimbang piknometer kosong
- iv. Mengisi piknometer dengan aquades
- v. Menutup piknometer kemudian menimbanginya
- vi. Menghitung berat jenis dari aquades dari persamaan berikut :

$$\rho_{\text{air}} = \frac{\text{massa piknometer isi air} - \text{massa piknometer kosong}}{\text{volume piknometer}} \quad (3.3)$$

- vii. Mengosongkan isi piknometer lalu mengisinya dengan sampel aspal yang telah ditimbang dan aquades.
- viii. Menimbang piknometer berisi aquades dan aspal.
- ix. Menghitung berat jenis dari sampel aspal dari persamaan berikut :

$$\rho_{\text{air}} = \frac{\text{massa aspal}}{\text{volume spal}} \quad (3.4)$$

$$\text{massa sisa air} = \text{massa piknometer isi aspal dan air} - \text{massa aspal} \quad (3.5)$$

$$\text{volume sisa air} = \text{massa sisa air} \times \rho_{\text{air}} \quad (3.6)$$

$$\text{volume aspal} = \text{volume piknometer} - \text{volume sisa air} \quad (3.7)$$

c. Uji FTIR

- i. Mengambil sejumlah tertentu sampel asbuton dan aspal hasil ekstrasi.
- ii. Melakukan uji analisis FTIR dengan menggunakan KBr.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kandungan Padatan Karbonat dalam Asbuton

Aspal yang ada di Pulau Buton mengandung banyak pengotor berupa padatan, seperti CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 , CaSO_4 , dan lain-lain. Penelitian sebelumnya mendapatkan kandungan aspal dalam batuan Asbuton sekitar 40% (Siswosoebroto dkk, 2005), sedangkan ekstraksi menggunakan pelarut komersial yang dicampur aditif berhasil memperoleh aspal sebanyak 41% dari asbuton (Stefan, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa pada asbuton terdapat sekitar 60% padatan pengotor.

Pengujian kandungan aspal dalam Asbuton juga dilakukan dengan sesuai dengan standar SNI 03-3640-1994 yakni metode ekstraksi dengan alat soklet dan pelarut TCE. Sebanyak 4 gram asbuton dilarutkan dalam pelarut TCE diperoleh kandungan aspal sebanyak 37,86%. Sisanya sebanyak 62,14% merupakan padatan pengotor yang mengandung sebagian besar senyawa karbonat (CaCO_3 dan MgCO_3). Peneliti melakukan uji ASTM C25-06 untuk mengetahui jumlah padatan karbonat yang berada pada sampel asbuton. Sisa padatan hasil dari proses ekstraksi sebelumnya akan menjadi bahan sampel dalam uji ASTM C25-06 tersebut. Hasil dari pengujian ASTM C25-06 dapat dilihat di tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Kandungan padatan karbonat dalam asbuton

Sampel	Jumlah padatan karbonat dalam asbuton
1	45,74%
2	45,57%
3	38,52%
Rata-rata	43,28%

Jumlah kandungan rata-rata senyawa karbonat yang terdapat pada padatan pengotor adalah 43,28% dari total massa sampel asbuton. Hal ini menunjukkan

dalam sejumlah sampe asbuton terdapat 37,86% aspal, 43,28% karbonat, dan 18,86% sisa pengotor lainnya. Padatan pengotor lainnya tersebut bisa saja berupa padatan SiO_2 , CaSO_4 , CaS , dan lain-lain. Padatan SiO_2 , CaSO_4 , dan CaS tersebut memiliki kelarutan yang sangat rendah dalam air dan asam jika dibandingkan dengan kelarutan senyawa karbonat. Hal ini mengakibatkan masih tersisnya padatan pengotor tersebut dan menempel pada aspalnya.

4.2 Penentuan Kondisi Optimum Ekstraksi

Proses ekstraksi asbuton ini dilakukan dengan menggunakan asam format yang termasuk asam lemah. Proses ekstraksi ini berbeda dengan ekstraksi konvensional seperti penggunaan pelarut TCE, heptana, kerosin, heksana, dan lain-lain. Jika ekstraksi konvensional akan melarutkan komponen aspal, maka penelitian ini akan melarutkan padatan mineral yang ada dalam batuan asbuton. Adanya pelarutan mineralnya diharapkan aspal yang diperoleh mencapai 100%. Hal ini didukung dengan berbagai penelitian yang telah membuktikan bahwa senyawa karbonat, CaCO_3 dan MgCO_3 , dapat larut bereaksi dalam larutan asam, baik asam kuat maupun asam lemah.

Kelarutan senyawa karbonat sangat rendah sekali dalam air (Larson dkk, 1976), sehingga batuan asbuton diekstraksi dengan air saja maka hanya mampu melarutkan padatan sekitar 2%. Untuk itu, penggunaan asam dalam proses ekstraksi ini tentu akan meningkatkan kelarutan padatan tersebut. Pada proses penggunaan asam format dalam ekstraksi, terjadi kelarutan senyawa karbonat yang menempel pada aspal dalam asam format melalui suatu proses reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi menghasilkan air, gas karbon dioksida dan garam format. Secara umum, persamaan reaksi yang terjadi yaitu :



Keberadaan gas karbon dioksida yang dihasilkan dapat dilihat dengan adanya gelembung-gelembung gas yang keluar dipermukaan asbuton. Namun, penulis mengamati bahwa gelembung gas CO_2 menyelubungi padatan asbuton yang bisa menyebabkan terganggunya difusi larutan asam menuju partikel

karbonat. Selain itu, adanya gas-gas dalam padatan asbuton menyebabkan padatan asbuton mengapung dalam larutan, seperti terlihat di Gambar 4.1. Bagian atas asbuton yang berada di bagian permukaan cairan-udara mengakibatkan kontak dengan larutan asam semakin berkurang. Adanya agitasi pada proses ini akan mampu untuk memecah gelembung gas tersebut dan padatan tetap teraduk di dalam cairan, sehingga asam format dapat berdifusi menuju permukaan padatan karbonat. Selanjutnya, kontak yang terjadi antara padatan karbonat dan asam format akan melarutkan padatan karbonatnya.



Gambar 4.1 Aspal yang terapung dalam larutan asam

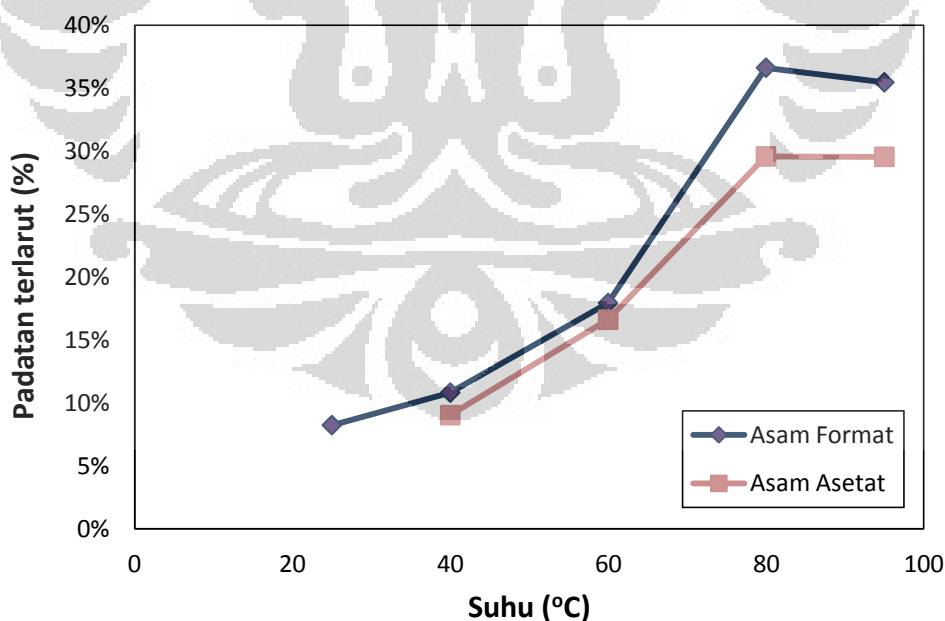
Secara stoikiometri, jika senyawa kalsium karbonat sebanyak 0,86 gram dalam 2 gram sampel asbuton, maka hanya dibutuhkan asam format sebanyak 17,2 mmol atau setara dengan larutan asam format 0,68 M sebanyak 25 mL. Namun, padatan karbonat ini terselubungi oleh lapisan aspal yang lengket dimana akan terganggunya kontak antara senyawa karbonat dengan asam. Kontak senyawa karbonat dengan asam yang minim tentu akan menurunkan laju reaksinya. Hal ini mengakibatkan ekstraksi dengan larutan asam tersebut tidak mampu untuk melarutkan senyawa karbonat secara maksimal. Untuk itu, adanya perlakuan variasi kondisi operasi dibutuhkan untuk menyesuaikan kondisi fisik dari batuan asbuton tersebut dan mendapatkan aspal murni secara maksimal. Berikut ini akan dijelaskan mengenai pengaruh variasi kondisi operasi terhadap hasil produksi aspal yang dihasilkan.

a. Pengaruh Suhu Pada Pelarutan

Salah satu parameter yang mempengaruhi kelarutan suatu zat adalah suhu. Peningkatan suhu pada sistem dapat menyebabkan kelarutan kalsium karbonat meningkat dalam larutan asam (Rickard dan Sjoberg, 1983). Peristiwa itu juga terjadi pada kelarutan padatan magnesium karbonat dalam larutan asam asetat (Lacin dkk, 2004). Hal ini tentu bisa saja mempengaruhi proses kelarutan padatan karbonat dalam ekstraksi asbuton. Untuk itu, proses ekstraksi asbuton dilakukan pada berbagai suhu operasi dengan larutan asam format 6M selama 15 menit.

Tabel 4.2 Pengaruh suhu (25-100°C) pada pelarutan karbonat

Suhu (°C)	massa padatan terlarut/massa asbuton (%)	massa karbonat terlarut/massa karbonat (%)
25	8%	19%
40	11%	26%
60	18%	37%
80	37%	86%
95	35%	83%



Gambar 4.2 Pengaruh suhu terhadap pelarutan padatan karbonat

Hasil pengujian untuk variasi suhu dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 di atas. Pada Gambar 4.2, kurva menunjukkan bahwa kelarutan sebanding dengan suhu pada rentang suhu 20°C-80°C dan tidak ada pengaruh pada rentang 80°C-100°C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu menjadi parameter yang mempengaruhi proses ekstraksi asbuton. Semakin meningkatnya suhu dari 20°C-80°C menyebabkan peningkatan kelarutan dari padatan karbonat. Adanya pemanasan mengakibatkan frekuensi tumbukan partikel semakin besar dan menghasilkan energi yang dibutuhkan untuk mencapai reaksi. Kondisi ini tentu akan meningkatkan laju reaksi antara padatan karbonat dengan asam format.

Adanya peningkatan suhu pun mengakibatkan perubahan fisik dari padatan asbuton tersebut. Perubahan fisik yang terjadi pada asbuton yaitu melunaknya padatan asbuton. Asbuton dapat mengalami pelunakan karena titik lembek asbuton berada pada suhu 79,5°C (BAI,2009). Akibat dari pelunakan asbuton tersebut yaitu akan mengakibatkan kerapatan susunan partikel asbuton menjadi berkurang. Adanya agitasi tentu akan lebih mengurangi kerapatan partikel asbuton dan permukaan kontak padatan karbonat menjadi lebih luas. Luasnya permukaan kontak ini akan mengakibatkan laju reaksi meningkat atau semakin banyak padatan yang terlarut.

Kelarutan padatan karbonat pada cenderung tidak berubah pada rentang suhu 80°C-100°C. Pada rentang suhu tersebut, kelarutan padatan tidak mengalami perubahan atau konstan. Berdasarkan hasil tersebut, suhu proses yang disarankan berada pada suhu 80°C untuk mencapai kelarutan padatan yang maksimal. Tidak berubahnya kelarutan pada rentang tersebut dapat disebabkan oleh semakin dekatnya dengan titik didih asam format dan air yakni sekitar 100°C. Suhu operasi yang mendekati titik didih larutan akan membuat mudahnya larutan yang menguap dan pada akhirnya makin berkurangnya molaritas asam format dalam larutan. Efek berkurangnya molaritas ini akan berlawanan dengan efek kenaikan suhu, sehingga memungkinkan kelarutan tidak berubah pada rentang suhu ini.

Pada Gambar 4.2, pengaruh suhu terhadap kelarutan padatan memiliki perilaku yang hampir sama dengan penggunaan asam asetat. Kelarutan padatan sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan suhu optimum proses yang sama dengan penggunaan asam asetat. Sifat fisik yang hampir sama di antara keduanya

memungkinkan terjadinya kesamaan nilai suhu optimum proses, seperti titik didih kedua zat yang hampir sama. Akan tetapi, ada perbedaan persentase padatan terlarut pada suhu 80°C pada kedua larutan tersebut. Hal ini diakibatkan oleh sifat kimia keduanya yang berbeda. Asam format yang bersifat lebih asam dibandingkan dengan asam asetat ($pK_{a\text{format}} > pK_{a\text{asetat}}$) menyebabkan kelarutan padatan karbonat menjadi lebih mudah. Selain itu, sifat asam format yang lebih polar daripada asam asetat menyebabkan asam format lebih mudah terjadi ikatan polar dalam air. Selanjutnya, ion H^+ dan $HCOO^-$ menjadi mudah terbentuk dan bisa bereaksi dengan $CaCO_3$ dan $MgCO_3$.

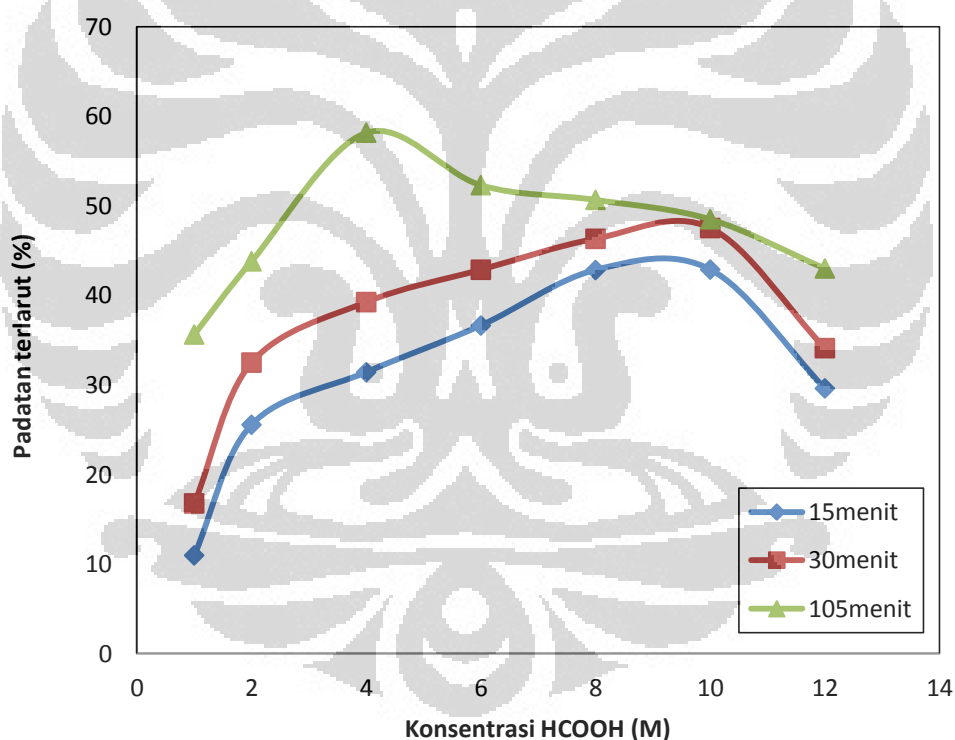
b. Pengaruh Konsentrasi Asam Pada Pelarutan

Pada pengujian awal, proses ekstraksi yang dilakukan dengan larutan asam berkonsentrasi rendah belum mampu melarutkan seluruh padatan karbonat dalam asbuton. Ketidakmampuan dapat disebabkan oleh kurang tingginya konsentrasi di fasa ruah dalam cairan, sehingga konsentrasi asam dilapisan batas padatan karbonat sangat kecil. Konsentrasi asam dilapisan batas yang kecil tentu akan membuat hanya sedikit padatan yang terlarut. Selain hal tersebut, sifat fisik dari aspal yang lengket dan sebagian komponen aspal yang bersifat non polar juga akan mempersulit difusi asam format yang bersifat polar. Jika melihat kondisi yang seperti itu, konsentrasi larutan asam format yang tinggi dibutuhkan dalam proses ekstraksinya. Untuk itu, variasi konsentrasi asam format diuji pada proses ekstraksi asbuton ini untuk mendapatkan kelarutan padatan karbonat yang maksimal.

Pengujian mengenai pengaruh konsentrasi dilakukan pada rentang konsentrasi 1M-12M dan suhu 80°C selama 15 menit, 30 menit, dan 105 menit. Pada lama waktu proses tersebut, Gambar 4.3 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan asam format akan menyebabkan peningkatan atau penurunan persen padatan yang terlarut pada proses ekstraksi.

Proses ekstraksi yang berlangsung selama 15 menit dan 30 menit membutuhkan konsentrasi optimum larutan asam sebesar 10M. Nilai konsentrasi larutan tersebut tentu lebih besar jika dibandingkan dengan larutan asam asetat 3M untuk mengoptimalkan kelarutan padatan karbonat alam (Lacin dkk, 2005).

Tingginya konsentrasi asam tersebut di fasa ruah dalam cairan dibutuhkan untuk mendukung kebutuhan proses difusi ion H^+ mencapai lapisan batas permukaan padatan karbonat, sehingga konsentrasi ion H^+ di permukaan padatan karbonat tercukupi untuk melarutkan padatan karbonat. Apalagi efektivitas difusi ion H^+ pun dapat meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam jika dibandingkan ion yang lainnya (Sjoberg dan Rickard,1983). Walaupun larutan asam format konsentrasi rendah, misalnya 1M, sudah cukup untuk melarutkan padatan secara stoikiometri, adanya difusi hanya selama 15 menit dan 30 menit mengakibatkan konsentrasi di lapisan batas permukaan padatan karbonat menjadi jauh lebih kecil dari 1M. Pada akhirnya, tidak seluruh padatan karbonat yang terlarut dalam asam format.



Gambar 4.3 Pengaruh konsentrasi terhadap pelarutan padatan karbonat

Peningkatan konsentrasi larutan asam format tidak akan selalu meningkatkan persen padatan terlarut. Pada kondisi waktu 15 menit dan 30 menit, terjadi penurunan jumlah padatan yang terlarut pada larutan berkonsentrasi 12M jika dibandingkan dengan larutan 10M. Penurunan jumlah padatan terlarut ini

terjadi dapat disebabkan oleh efek negatif dari pengurangan kandungan air dalam larutan. Untuk volume larutan yang sama, semakin tinggi konsentrasi larutan asam semakin rendah kandungan airnya. Saat konsentrasi asam melebihi batasan tertentu, efek kenaikan konsentrasi tidak lagi akan menaikkan jumlah padatan yang terlarut. Akan tetapi, hal itu mengakibatkan jumlah kandungan ion H^+ yang terbentuk menjadi sangat sedikit seiring makin berkurangnya jumlah air (Marinovic dan Despica, 1997).

Selain itu, penggunaan larutan yang berkonsentrasi sangat tinggi akan mempercepat kejenuhan dari kandungan produk di sekitar permukaan. Keberadaan produk yang mencapai nilai kejenuhan (kondisi optimum) akan membentuk lapisan tipis di sekitar padatan. Lapisan tipis ini akan menghambat perpindahan asam format menuju permukaan padatan karbonat, sehingga proses pelarutan menjadi lebih sulit (Ozmetin dkk, 1996). Jadi, ada batasan konsentrasi larutan asam untuk mencapai jumlah padatan terlarut yang maksimal.

Pada proses ekstraksi selama 105 menit, nilai konsentrasi maksimum yang diperoleh berbeda dengan proses selama 15 menit dan 30 menit. Konsentrasi maksimum yang dicapai sebesar 4M. Adanya perubahan ini nilai konsentrasi maksimum ini dipengaruhi oleh lamanya proses ekstraksi dan konsentrasi larutan. Proses ekstraksi yang berlangsung lama, yakni selama 105 menit, mengakibatkan padatan karbonat sudah dapat terlarut seluruhnya pada konsentrasi minimal 2M. Adanya peningkatan persentase pada terlarut dari jumlah padatan karbonat yang terkandung menunjukkan adanya padatan pengotor yang juga terlarut, seperti pada penggunaan larutan 4M. Penurunan persentase padatan terlarut pada konsentrasi di atas 4M tidak hanya diakibatkan oleh efek pengurangan ion H^+ dan kejenuhan larutan, melainkan akibat dari kemampuan padatan pengotor untuk larut dalam larutan asam format pada berbagai konsentrasi.

c. Pengaruh Waktu Pada Pelarutan

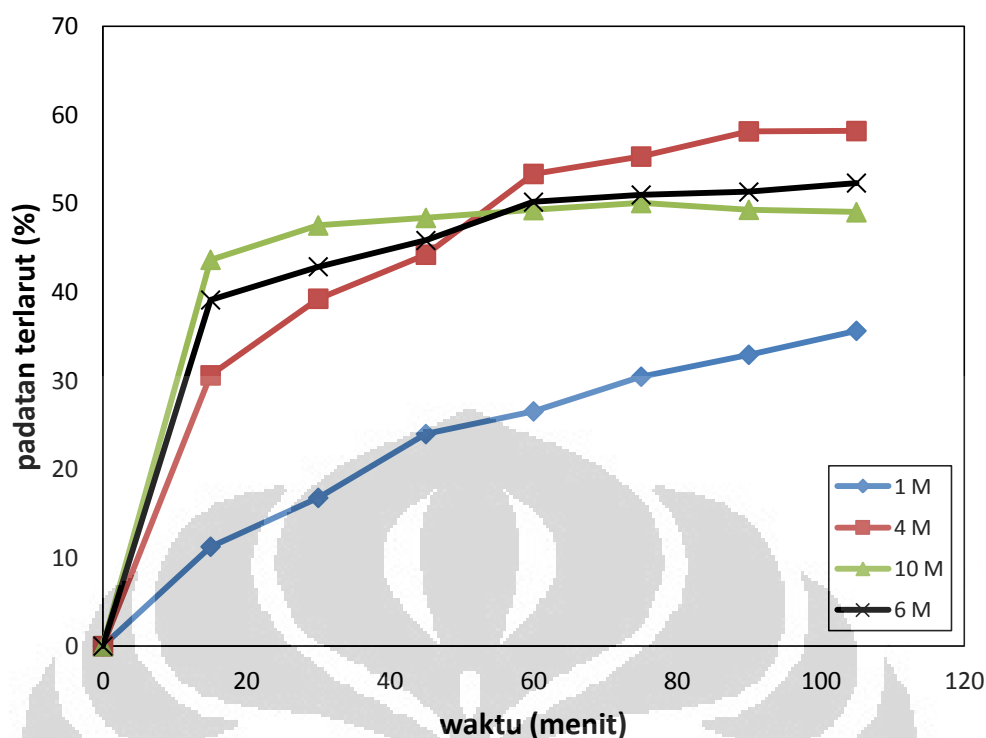
Setelah dilakukan pengujian pengaruh konsentrasi terhadap kelarutan, pengujian ekstraksi selama 105 menit dengan selang waktu 15 menit dilakukan pada konsentrasi 1M, 4M, 6M, dan 10M. Batasan maksimal konsentrasi 10M dipilih berdasarkan konsentrasi optimum yang diperoleh pada pengujian

sebelumnya. Peninjauan ini untuk melihat hubungan dua variabel, konsentrasi dan waktu, terhadap padatan yang terlarut. Keberadaan hubungan ketiga variabel tersebut tentu akan mendukung pemilihan proses ideal yang diinginkan dalam sistem reaktor *batch*.

Tabel 4.3 Hasil ekstraksi pada waktu 60-105 menit (konsentrasi 4M, 6M,10M)

Konsentrasi (M)	Waktu (menit)	massa total padatan terlarut/massa asbuton (%)	massa karbonat terlarut/massa asbuton (%)	massa pengotor terlarut/massa asbuton (%)
4	60	53,34	43,28	10,06
	75	55,30	43,28	12,02
	90	58,14	43,28	14,86
	105	58,18	43,28	14,90
6	60	50,15	43,28	6,87
	75	50,96	43,28	7,68
	90	51,30	43,28	8,02
	105	52,31	43,28	9,03
10	60	49,26	43,28	5,98
	75	50,05	43,28	6,77
	90	49,29	43,28	6,01
	105	49,01	43,28	5,73

Jika memperhatikan Tabel 4.3 dan Gambar 4.4, peningkatan jumlah padatan terlarut secara umum terjadi dengan bertambahnya lama waktu proses ekstraksi. Lamanya waktu proses tentu bisa berhubungan dengan proses reaksi. Laju reaksi suatu senyawa dengan senyawa lainnya tentu akan dipengaruhi oleh lamanya waktu, begitu pula dengan reaksi padatan karbonat dengan asam format. Sesuai dengan kinetika reaksi, semakin lama waktu reaksi semakin berkurang konsentrasi senyawa karbonat akibat terkonversi menjadi gas karbondioksida, air, dan garam. Jika padatan karbonat akan habis bereaksi, perubahan waktu tidak akan lagi mempengaruhi terjadinya reaksi.



Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi dan waktu terhadap pelarutan padatan karbonat

Waktu tentu akan mempengaruhi proses difusi. Semakin lamanya waktu akan mengakibatkan banyaknya ion H^+ yang berdifusi dari fasa ruah cairan menuju lapisan batas partikel padatan karbonat lalu teradsorpsi ke dalamnya. Selain itu, perpindahan ion Ca^{2+} , ion CO_3^{2-} , dan senyawa hasil reaksi dari lapisan batas juga membutuhkan waktu untuk bisa mencapai fasa ruah cairannya. Semakin lamanya waktu akan mengakibatkan banyaknya ion Ca^{2+} , ion CO_3^{2-} yang berdifusi dari permukaan partikel menuju lapisan batas lalu menuju fasa ruah cairan asamnya.

Jika melihat Gambar 4.4 di rentang waktu antara 0-60 menit, konsentrasi yang tinggi mengakibatkan padatan yang terlarut semakin banyak. Nilai konsentrasi sebesar 10M menjadi konsentrasi optimum dengan persentase padatan terlarut yang besar. Pekatnya konsentrasi larutan asam sangat berperan dalam proses ekstraksi dimana terjadi dominannya kinetika pelarutan difusi ion H^+ untuk memudahkan cepat terjadinya reaksi. Sedangkan, konsentrasi yang semakin rendah akan menghasilkan pH yang rendah, kemudian akan menyebabkan terjadinya mekanisme reaksi permukaan yang kompleks. Mekanisme reaksi yang

kompleks akan menimbulkan laju pelarutan padatan karbonat yang lambat (Sjoberg dan Rickard,1983).

Bentuk kurva dari penggunaan larutan asam format 10M terlihat konstan setelah 60 menit. Tidak adanya perubahan persen padatan yang terlarut karena padatan karbonat telah habis bereaksi dengan asam format. Akan tetapi, hasil pengujian dari penggunaan larutan asam format 10M berbeda dengan larutan asam format 4M dan 6M. Pada rentang waktu 60-105 menit, penggunaan larutan asam 4M dan 6M mengakibatkan persentase padatan terlarut yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan larutan asam 10M. Bahkan, jumlah padatan yang terlarut melebihi dari jumlah padatan karbonat yang terkandung di dalam asbuton, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.3. Hal ini menunjukkan bahwa ada padatan lainnya yang ikut terlarut dalam larutan asam format.

Salah satu senyawa padatan dalam batuan mineral yang dapat larut dalam asam organik dan air yaitu padatan CaSO_4 (Baruah dkk, 2000). Begitu pula dengan kemungkinan padatan SiO_2 yang terlarut karena memiliki kelarutan yang rendah pada asam organik (Bennet dkk, 1988). Seperti yang diketahui bahwa ada padatan selain karbonat yang terkandung dalam asbuton seperti CaSO_4 , CaS , SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Oleh karena itu, padatan CaSO_4 dan SiO_2 sebagai padatan pengotor dalam asbuton yang juga mampu terlarut dalam larutan asam format.

Nilai total persentase padatan terlarut dalam larutan asam format 6M dan 10M lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan larutan asam format 4M. Jumlah padatan pengotor yang terlarut semakin sedikit pada penggunaan larutan konsentrasi 6M dan 10M dibandingkan dengan larutan konsentrasi 4M. Hal ini terjadi disebabkan oleh kemampuan banyaknya padatan pengotor untuk larut dalam berbagai nilai pH larutan asam. Semakin rendahnya pH suatu larutan asam format (konsentrasi asam tinggi) akan mengakibatkan semakin sedikit padatan pengotor yang terlarut.

Pada rentang waktu 60-105 menit, penggunaan larutan asam 4M lebih optimal dalam melarutkan padatan di batuan asbuton. Penggunaan larutan asam berkonsentrasi lebih kecil atau lebih besar dari 4M akan menghasilkan persentase padatan terlarut yang lebih kecil. Pada rentang konsentrasi 1-4M, terjadi kenaikan persentase padatan terlarut karena masih adanya keberlanjutan reaksi padatan

karbonat dengan asam format dan larutnya padatan pengotor, seperti terlihat pada kurva penggunaan larutan asam 1M dan 3M. Pada rentang konsentrasi 4-10M, terjadi penurunan persentase padatan terlarut dapat disebabkan oleh dominasi pengaruh kelarutan padatan pengotor lainnya dalam larutan asam format, misalnya CaSO_4 , SiO_2 , dan lain-lain.

Berdasarkan interpretasi Gambar 4.4, dapat disimpulkan bahwa ekstraksi menggunakan larutan asam format 4M selama 90 menit menjadi pilihan terbaik untuk mendapatkan persentase total padatan terlarut yang optimal (mencapai 58%). Produk hasil ekstraksi masih mengandung sisa padatan pengotor sebanyak 3,96% dari total batuan asbuton. Oleh karena itu, aspal yang diperoleh dari produk hasil ekstraksi ini akan memiliki kemurnian mencapai 90,54%.

Untuk melarutkan padatan karbonat dalam asbuton dengan pelarut HCl, diperlukan pelarut HCl dengan konsentrasi optimum 33%-berat (Lisminto,1996). Penggunaan pelarut HCl tersebut mampu mendapatkan kemurnian aspal mendekati 100%. Jika dibandingkan dengan larutan asam format 4M atau setara 17,8%-berat, larutan HCl melarutkan padatannya lebih banyak. Hal ini karena kereaktifan HCl yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam format. Selain itu, sangat pekatnya HCl mengakibatkan peningkatan kereaktifan untuk menembus lapisan aspal dan mudah bereaksi dengan padatannya.

Kemurnian aspal mencapai 90,54% tentu sudah dapat dimanfaatkan dalam pembuatan jalan. Pada pembuatan jalan, aspal murni biasanya dimodifikasi melalui pencampuran dengan berbagai zat (agregat atau *filler*) agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Aspal hasil ekstraksi ini pun juga bisa dijadikan menjadi bahan modifikasi aspal penyusun lapisan jalan.

Penggunaan asam format terbilang lebih ekonomis jika ditinjau dari harga pembelian pelarutnya. Semakin tinggi konsentrasi pelarut tentu berakibat pada semakin mahalnya harga pelarut tersebut. Apabila harga larutan HCl 31%-berat sebesar US\$ 0,31/kg dan harga larutan asam format 90%-berat sebesar US\$ 0,75 /kg, maka ada penghematan sebesar US\$ 0,15/kg dari penggunaan asam format 17,8%-berat sebagai pelarut.

d. Pengaruh Rasio Asbuton-Pelarut Pada Pelarutan

Variasi rasio antara padatan asbuton dan pelarut dilakukan pada konsentrasi 4M dengan suhu 80°C selama 90 menit. Variasi ini dilakukan untuk meninjau komposisi yang efektif dalam suatu proses ekstraksi. Melalui pengujian ini, kemampuan dan peranan dari volume pelarut dapat terlihat dalam melarutkan seberapa banyak padatan asbuton.

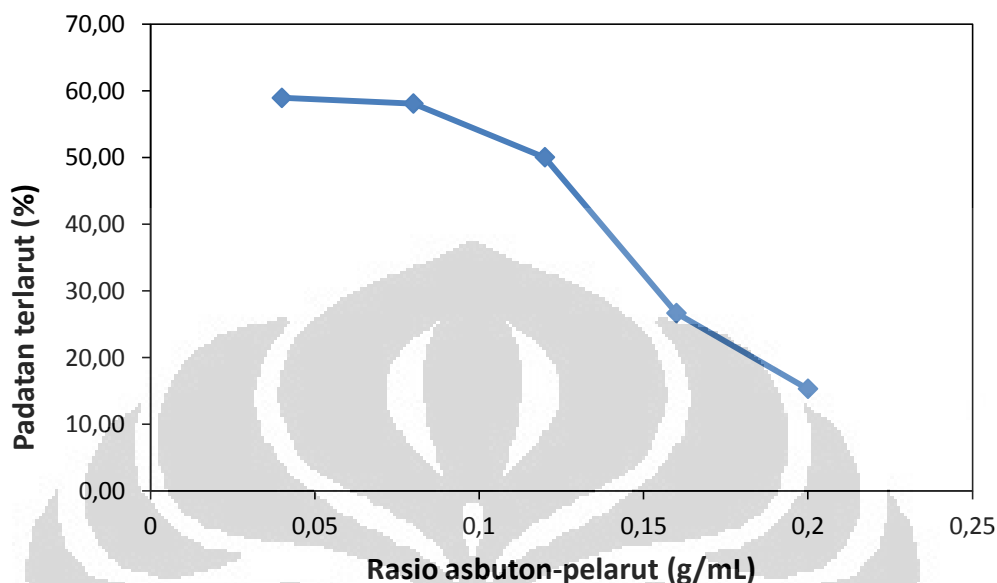
Gambar 4.5 dan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa peningkatan rasio antara padatan asbuton dan pelarut (g/mL) akan menurunkan jumlah padatan yang terlarut. Rasio asbuton-pelarut yang maksimal diperoleh pada nilai 0,04 gram/ml. Tingginya rasio berarti semakin banyaknya padatan asbuton dalam pelarut, termasuk pula padatan pengotor didalamnya. Pada pengujian ini, tingginya kandungan padatan pengotor tidak sebanding dengan banyaknya asam format untuk melarutkannya. Jika suatu pelarut hanya mampu melarutkan sejumlah padatan tertentu, maka peningkatan jumlah padatan mengakibatkan tersisnya padatan yang tidak terlarut atau persen padatan terlarut menjadi berkurang. Oleh karena itu, banyaknya padatan yang ingin dilarutkan akan membutuhkan pelarut yang banyak.

Tabel 4.4 Persentase padatan terlarut dari variasi rasio padatan-pelarut

Massa asbuton (g)	Rasio (g/ml)	Padatan Terlarut (%)
1	0,04	58,93
2	0,08	58,08
3	0,12	50,04
4	0,16	26,67
5	0,2	15,32

Jika meninjau dari efektivitas proses ekstraksi, rasio 0,08 g/mL dapat menjadi pilihan yang terbaik. Hal ini karena penggunaan rasio 0,04 g/mL dan 0,08 g/mL mampu melarutkan padatan dengan nilai persentase yang hampir sama. Penggunaan rasio 0,08 g/mL tentu mampu menghasilkan aspal yang lebih banyak atau penggunaan pelarut yang lebih sedikit dibandingkan penggunaan rasio 0,04

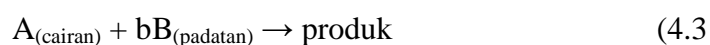
g/mL. Rasio ini lima kali lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan larutan HCl 33%-berat, yakni 0,42 g/mL.



Gambar 4.5 Pengaruh rasio asbuton-pelarut terhadap pelarutan padatan karbonat

4.3 Kinetika Pelarutan

Dalam sistem cairan-padat, laju reaksi umumnya bisa dikendalikan oleh beberapa hal, yaitu difusi melalui lapisan tipis cairan, difusi melalui permukaan zat yang tidak bereaksi, dan reaksi dipermukaan padatan. Untuk mendapatkan parameter kinetik dan pengontrol laju reaksi pelarutan asbuton, data pengujian dianalisis dengan menggunakan model *shrinking core*. Model *shrinking core* digunakan sebagai pendekatan melalui mekanisme proses reaksi heterogen padatan dan cairan (Levenspiel, 1999). Partikel padatan dalam asbuton akan mengalami penyusutan akibat bereaksi dengan asam format. Mekanisme reaksi dari padatan karbonat sangatlah kompleks, sehingga model mekanisme disederhanakan menjadi:



dimana :

A = asam format

B = padatan yang bereaksi

Berdasarkan faktor yang mempengaruhi kendali reaksi, model persamaan kinetika reaksi tersebut dengan metode *shrinking core* dapat terbagi menjadi tiga yaitu :

- Apabila proses pelarutan dikontrol oleh hambatan lapisan cairan, persamaan yang digunakan yaitu :

$$t = \frac{\rho R}{3bk_g C_A} X_B \quad (4.4)$$

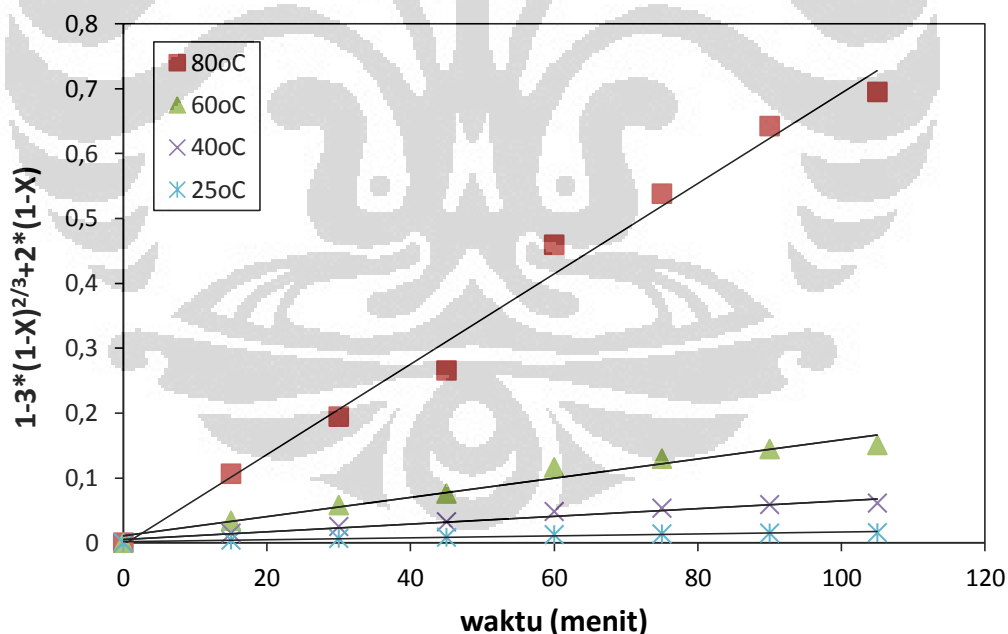
- Apabila proses pelarutan dikontrol oleh hambatan lapisan zat inert yang tidak bereaksi, persamaan yang digunakan yaitu :

$$t = \frac{\rho R^2}{6bD_e C_A} \left(1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + (1 - X_B) \right) \quad (4.5)$$

- Apabila proses pelarutan dikontrol oleh hambatan reaksi kimia dipermukaan, persamaan yang digunakan yaitu :

$$t = \frac{\rho R}{bk_l C_A} \left(1 - (1 - X_B)^{1/3} \right) \quad (4.6)$$

dimana variabel X_B di atas menunjukkan fraksi dari padatan yang terlarut.



Gambar 4.6 Plot $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ vs waktu pada variasi suhu

Data dari dipengujian diolah dengan metode regresi linear sesuai dengan ketiga persamaan di atas. Setelah melakukan proses regresi dari data percobaan,

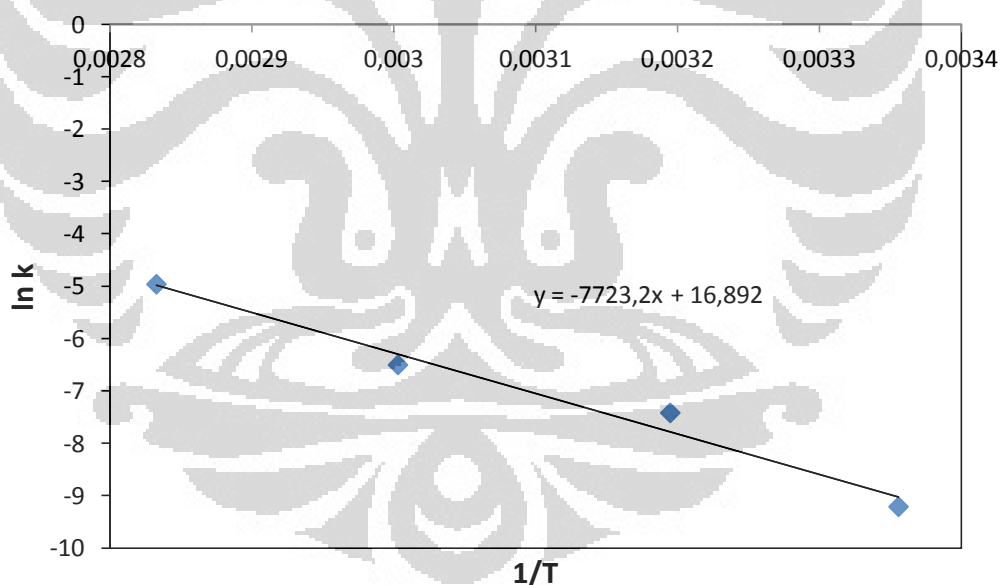
persamaan yang paling cocok dengan data percobaan adalah persamaan yang mendeskripsikan kendali hambatan lapisan zat inert yang tidak bereaksi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai keakuratan rata-rata dari metode regresi sebesar 0,9676 yang cukup mendekati 1,0.

Jika melihat kondisi fisik sampel yang diuji, aspal yang lengket menempel dengan permukaan padatan karbonat. Aspal tersebut yang menyelubungi padatan tentu bisa menghambat proses difusi asam format menuju permukaan padatan. Akibatnya, laju kinetika reaksi pelarutan memungkinkan didominasi oleh hambatan difusi melalui lapisan aspal yang tidak bereaksi, seperti hasil yang ditunjukkan regresi sebelumnya. Jadi, persamaan kinetik yang diperoleh yaitu :

$$\left(1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + (1 - X_B)\right) = kt \quad (4.7)$$

Dari persamaan Arrhenius, variabel k menunjukkan :

$$k = Ae^{-E/RT} \quad (4.8)$$



Gambar 4.7 Plot $\ln k$ vs $1/T$ pada variasi suhu

Dari gradien yang dimiliki oleh tiap garis kurva pada Gambar 4.6, dapat diperoleh nilai parameter k . Parameter k yang diperoleh dari berbagai suhu dapat digunakan untuk memperoleh nilai A dan energi aktivasi (E). Untuk memperoleh kedua parameter tersebut, persamaan 21 diregresikan dengan melakukan plot $\ln k$ vs $1/T$, seperti pada Gambar 4.7. Persamaan regresi linear yang ditampilkan pada

Gambar 4.7 akan membantu dalam perhitungan nilai A dan E. Nilai gradien garis akan menunjukkan perhitungan energi aktivasi. Nilai intersep dari garis akan menunjukkan perhitungan nilai A. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan energi aktivasi sebesar 64,21 kJ/mol untuk melarutkan padatan dalam batuan asbuton.

4.4 Pengujian Berat Jenis Aspal

Hasil produk dari proses ekstraksi sebelumnya dilakukan pengujian berat jenis untuk membandingkan berat jenis yang dimiliki batuan asbuton, aspal murni, dan produk hasil ekstraksi. Berat jenis dari batuan asbuton tentu memiliki berat jenis lebih besar dari 1,0 karena adanya sejumlah padatan mineral. Sedangkan, aspal murni memiliki berat jenis mendekati nilai 1,0. Berikut ini adalah nilai berat jenis yang dimiliki masing-masing zat.

Tabel 4.5 Berat Jenis Beberapa Komponen

Komponen	Uji Berat Jenis	Berat Jenis Teoritis
Asbuton	1,49	1,66
Aspal minyak	1,034	Min. 1
Aspal hasil ekstraksi	1,14	1,09

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa terjadi pengurangan nilai berat jenis dari batuan asbuton menjadi produk aspal hasil ekstraksi. Batuan asbuton yang masih mengandung 62,14% padatan tentu akan memiliki nilai berat jenis yang tinggi. Semakin banyaknya jumlah padatan dalam asbuton akan meningkatkan nilai berat jenis asbuton mendekati nilai berat jenis dari padatannya. Adanya pengurangan nilai berat jenis ini menunjukkan bahwa padatan karbonat dan pengotor lainnya yang telah mengalami kelarutan dalam asam format. Akan tetapi, nilai berat jenis dari produk aspal ekstraksi masih lebih tinggi dibandingkan dengan berat jenis aspal minyak. Hal ini disebabkan oleh masih adanya sebagian kecil padatan dalam aspal hasil ekstraksi. Pencapaian nilai berat jenis aspal hasil ekstraksi yang hampir

mendekati nilai berat jenis aspal minyak cukup membuktikan bahwa pelarutan sebagian besar padatan berhasil.

4.5 Analisis FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk menganalisis perbandingan secara kualitatif antara batuan asbuton dengan aspal hasil ekstraksi. Hasil spektra akan dipergunakan untuk melihat ada tidaknya keberadaan komponen penyusun aspal, padatan karbonat, padatan silika, padatan gipsum, dan pengotor lainnya. Pengujian dilakukan dengan bantuan pelet KBr karena fisik asbuton dan aspal yang berwujud padatan lunak. Untuk itu, hasil spektra FTIR yang dihasilkan akan juga menunjukkan keberadaan karakteristik ikatan senyawa KBr.

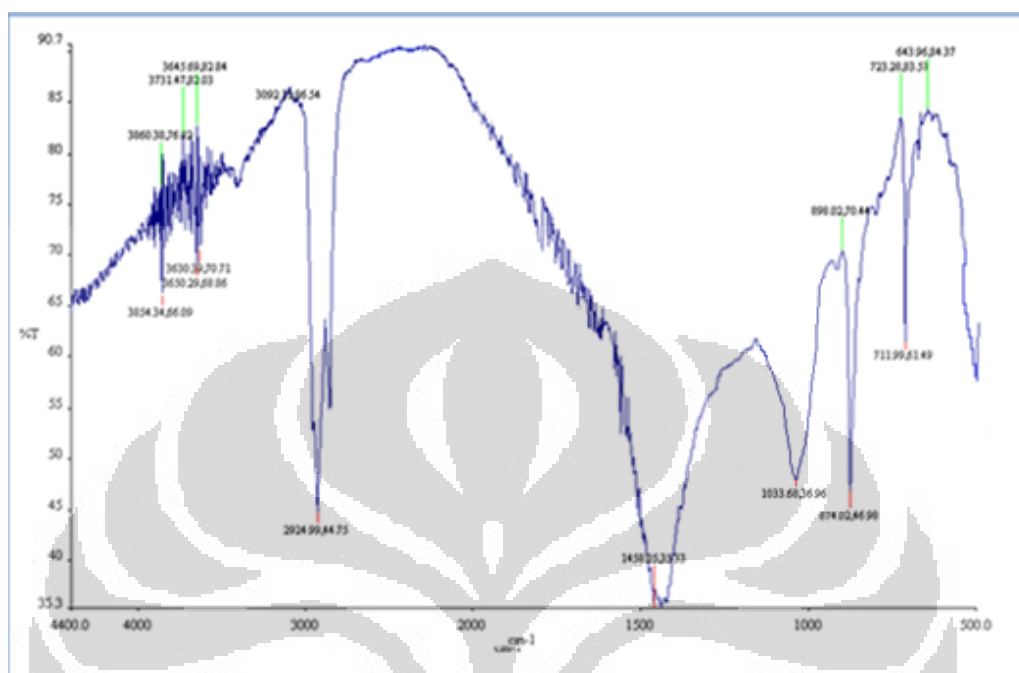
Pengujian FTIR yang pertama dilakukan pada batuan asbuton dengan hasil spektra yang dihasilkan pada Gambar 4.8. Hasil spektra ditunjukkan pada rentang $500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$. Pada Gambar 4.8, terlihat keberadaan absorbansi yang kuat pada bilangan gelombang 2.924 cm^{-1} , 2.855 cm^{-1} , 1.458 cm^{-1} , 1033 cm^{-1} , 874 cm^{-1} , 711 cm^{-1} , dan 515 cm^{-1} .

Absorbansi pada sekitar 2.924 cm^{-1} menunjukkan gugus -CH_3 umum untuk suatu aspal. Hal ini mungkin untuk adanya gugus -CH_3 pada cincin aromatik yang terdapat di komponen aspal. Sedangkan, absorbansi di sekitar 2.855 cm^{-1} dan 1.458 cm^{-1} dapat dihubungkan dengan regangan ikatan C-H pada gugus -CH_3 , regangan $\text{C}=\text{C}$ pada aromatik, dan perubahan bentuk C-H pada -CH_2 dan -CH_3 .

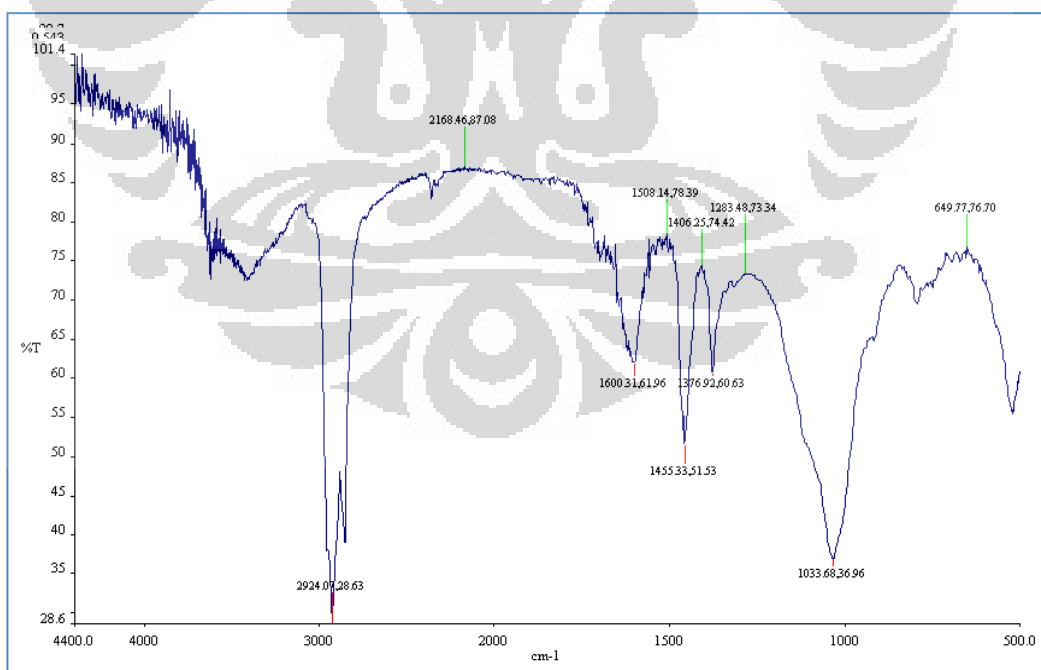
Absorbansi yang besar pada daerah 1458 cm^{-1} juga menunjukkan karakteristik keberadaan senyawa kalsium karbonat dan magnesium karbonat. Begitu pula, absorbansi di daerah sekitar 874 cm^{-1} dan 712 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan senyawa itu. Absorbansi tersebut menunjukkan adanya ikatan C-O pada CO_3^{-2} sebagai suatu karakterisasi keberadaan senyawa padatan karbonat.

Absorbansi di daerah sekitar 1088 cm^{-1} dan 515 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan Si-O pada SiO_2 sebagai suatu karakterisasi keberadaan padatan silika. Pada daerah $3600\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan keberadaan ikatan C-H pada senyawa aromatik dan O-H pada keberadaan adanya pengotor berupa air atau hidrat. Jadi,

dapat disimpulkan bahwa batuan asbuton mengandung komponen aspal, padatan karbonat, padatan silika, dan pengotor lainnya.



Gambar 4.8 Spektra FTIR dari batuan asbuton dengan pelet KBr



Gambar 4.9 Spektra FTIR dari aspal hasil ekstraksi dengan pelet KBr

Pengujian FTIR yang kedua dilakukan pada aspal hasil ekstraksi dengan menggunakan pelarut asam format. Hasil spektra ditunjukkan pada rentang 500-4000 cm^{-1} . Pada Gambar 4.9, terlihat keberadaan absorpsi yang kuat pada bilangan gelombang 2.924 cm^{-1} , 2.855 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} , 1.458 cm^{-1} , 1376 cm^{-1} , 1033 cm^{-1} , dan 515 cm^{-1} .

Pada daerah 3600-4000 cm^{-1} , adanya cekungan menunjukkan keberadaan adanya gugus hidroksi (O-H) dan gugus N-H. Absorpsi pada sekitar 2.924 cm^{-1} menunjukkan gugus ikatan alifatik antara C-H pada gugus $-\text{CH}_3$ yang umum untuk komponen aspal. Hal ini mungkin untuk gugus $-\text{CH}_3$ pada cincin aromatik yang terdapat di komponen aspal. Sedangkan absorpsi sekitar 2.855 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} , 1.458 cm^{-1} , dan 1376 cm^{-1} dapat dikaitkan dengan regangan C-H pada $-\text{CH}_3$, regangan ikatan rangkap dari C = C pada aromatik, dan perubahan bentuk C-H pada $-\text{CH}_2$ dan $-\text{CH}_3$. Absorpsi di daerah 2.924 cm^{-1} dan 2.855 cm^{-1} lebih tinggi dibandingkan dengan hasil spektra batuan asbuton. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tingginya kandungan komponen aspal dalam sampel yang diuji.

Tidak adanya peak yang besar pada daerah 1458 cm^{-1} , seperti pada spektra asbuton, menunjukkan bahwa sudah tidak adanya keberadaan dari senyawa padatan karbonat. Selain itu, tidak adanya absorpsi yang kuat pada daerah bilangan gelombang 711 cm^{-1} dan 874 cm^{-1} juga mendukung tidak adanya senyawa padatan karbonat dalam aspal hasil ekstraksi.

Adanya absorpsi kuat pada daerah 1033 cm^{-1} dan 515 cm^{-1} menunjukkan masih adanya keberadaan senyawa SiO_2 , seperti pada sampel batuan asbuton. Jadi, dapat disimpulkan bahwa proses ekstraksi telah berhasil melarutkan padatan karbonat dalam asbuton. Akan tetapi, padatan silika dalam asbuton masih tersisa dalam hasil aspal yang dihasilkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Proses ekstraksi asbuton dengan pelarut asam format dipengaruhi oleh suhu proses, konsentrasi pelarut, waktu, dan rasio padatan-pelarut. Peningkatan suhu, konsentrasi, dan waktu akan menyebabkan peningkatan persentase padatan terlarut. Peningkatan rasio padatan-pelarut akan menyebabkan penurunan persentase padatan terlarut.
- Proses ekstraksi secara optimum menggunakan larutan asam format 4M dengan rasio padatan-pelarut 0,08 g/mL pada suhu 80°C selama 90 menit.
- Produk aspal yang dihasilkan memiliki kemurnian sebesar 90,54%. Kemurnian aspal yang dihasilkan lebih rendah dari ekstraksi menggunakan pelarut HCl 33% tetapi mampu dijadikan aspal campuran panas.
- Berdasarkan pengujian berat jenis, produk aspal ekstraksi memiliki berat jenis 1,14.
- Berdasarkan pengujian FTIR, spektra aspal hasil ekstraksi tidak menunjukkan keberadaan adanya padatan karbonat.

5.2 Saran

- Meneliti penggunaan campuran antara asam format dan HCl untuk meningkatkan persentase kelarutan padatan asbuton.
- Meneliti pengaruh dari ukuran padatan asbuton dan kecepatan pengaduk terhadap kelarutan padatan asbuton karena belum dilakukan dalam penelitian ini.
- Peningkatan skala produksi aspal untuk bisa menguji kualitas aspal sesuai standar penggunaan aspal minyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F. (2006). Hasil Pemurnian Asbuton Lawele Sebagai Bahan Pada Campuran Beraspal Untuk Perkerasan Jalan. *Jurnal Jalan-Jembatan*, vol.3 (3), 6-28.
- Badan Pusat Statistik. (2010). *Statistik Sulawesi Tenggara Dalam Angka Tahun 2010*. Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tenggara. Bab VI, 320-321.
- Baruah, M.K., Gogoi, P.C., Kotoky, P. (2000). Sulphate behaviour from dissolution of gypsum in organic acids. *Fuel*, vol.79, 211–216.
- Bennet, P.C, Melcer, M.E., Siegel, D.I., Hasset, J.P. (1988). The dissolution of quartz in dilute aqueous solutions of organic acid at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol.52, 1521-1530.
- Binamarga. (2008). *Harga Aspal Naik, Potensi Asbuton Makin Menjanjikan Bagi Investor*. (10 Maret 2011) http://binamarga.pu.go.id/arsip_berita.asp?wkt=isi&id_info=653
- Buijse, M., Boer, P., Breukel, B., Klos, M., Burgos, G. (2004). Organic acids in carbonate acidizing. *Society of Petroleum Engineers Production and Facilities*, vol.19, 128–134.
- Demir, F., Dfnez, B.C, Olak, S., (2003). Leaching kinetics of magnesite in citric acid solutions. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, vol.36(6), 683–688.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2009). *Departemen PU targetkan gunakan 33.447 ton asbuton pada tahun 2010*. (12 Mei 2011). <http://www.pu.go.id/main/view/5008>
- Fredd, C.N., Fogler, H.S. (1998). The kinetics of calcite dissolution in acetic acid solutions. *Chemical Engineering Science*, vol.53(22), 3863–3874.
- Gardiner, M., Nelson, J.W. (2000). Use of Normal Propyl Bromide Solvents for Extraction and Recovery of Asphalt of Cements. NCAT Report 00-06, 2-7.
- Hardjosukanto, S. (2004). Aspal Buton Lawele: Perbedaannya dari Aspal Buton Kabungka, Pengkondisian, dan Penggunaannya dalam Campuran Beraspal. Laporan Penelitian.

DAFTAR PUSTAKA (Lanjutan 1)

- Knauss, K.G., Wolery, T.J. (1987). The dissolution kinetic of quartz as a function of pH and time at 70°C. *Geochimica et Chosmochimica Acta*, vol.52, 43-53.
- Kurniadji. (2007). Modul Trainer of Trainee : Bahan Aspal dan Asbuton untuk Perkerasan Jalan. *Puslitbang Jalan dan Jembatan & Direktorat Jenderal Bina Marga*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Lacin,O., Donmez,B., Demir,F. (2004). Dissolution kinetics of natural magnesite in acetic acid solutions. *International Journal Mineral Process*, vol.75, 91–99.
- Larson,E.T., Sollo,F.W., McGurk,T. (1976). “Complexes affecting the solubility of calcium carbonate in water”. 17-31. University of Illinois.
- León-Bermúdez, A.-Y., Salazar. (2008). Synthesis and Characterization of The Polystyrene - Asphaltene Graft Copolymer by FT-IR Spectroscopy. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol.3, 157-167.
- Lisminto. (1996). Paten : Proses Pembuatan Aspal Murni dan Komposisi Aspal Modifikasi. *Indonesia Aplikasi Paten*, ID 010445.
- Marinovic, V., Despic, A.R. (1997). Hydrogen evolution from solutions of citric acids. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol.431, 127– 132.
- Morse,.W., Arvidson,R.S. (2002). The dissolution kinetics of major sedimentary carbonate minerals. *Earth-Science Reviews*, vol.58, 51–84.
- Nasr-El-Din, Lynn, J.D., Taylor, K.C. (2001). Lab testing and field application of a large scale acetic acid-based treatment in a newly developed carbonate reservoir. *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*, 10-17.
- Nasr-El-Din, Alkhaldi, M.H., Sarma, H. (2007). Reaction of citric acid with calcite. *Society of Chemical Engineering Science*, vol.15(3), 704-713.
- Nierode, D.E., Williams, B.B. (1971). Characteristics of acid reaction in limestone formations. *Society of Petroleum Engineers Journal*, vol.251, 406–418.
- O`zmetin, C., Kocakerim, M.M., Yapici, S., Yartasi, A. (1996). A semiempirical kinetic model for dissolution of colemanite in aqueous CH₃COOH

DAFTAR PUSTAKA (Lanjutan 2)

- solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol.35, 2355-2359.
- Purwono,S., Muhrachman, B., Yulianti, D. T., dan Suwati. (2005). Koefisien Perpindahan Massa pada Ekstraksi Aspal Buton dari Kabungka dan Bau-Bau dengan Pelarut n-heksan. *Forum Teknik*, vol.29, 40-49.
- Reig, B.F., Adelantado, G., Moreno,M. (2002). FTIR quantitative analysis of calcium carbonate (calcite) and silica (quartz) mixtures using the constant ratio method. *Talanta*, vol.58, 811- 821.
- Sayono. (2000). Paten : Proses Ekstraksi untuk Pemurnian Aspal dengan menggunakan Pelarut Organik. *Indonesia Aplikasi Paten*, ID 0004877.
- Siswosoebrotho, B.I., Tumewu, W., Kusnianti, N. (2005). Laboratory Evaluation Of Lawele Buton Natural Asphalt In Asphalt Concrete Mixture. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol.5, 857 – 867.
- Stefan, A. (2011). “Sintesis aditif untuk minyak jarak melalui proses pirolisis untuk meningkatkan kinerja kerosene dalam ekstraksi aspal Buton”. Hal 30-31. Universitas Indonesia, Depok.
- Suaryana, N. (2007). Analisis faktor-faktor yang dapat mendorong kegagalan dalam pelaksanaan asbuton. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan*, Departemen Pekerjaan Umum. 3-10.
- Subagio,B.S., Karsaman, R.H., Fahmi,I. (2003). Fatigue Characteristic of HRA Mix using Indonesia Rock Asphalt (Asbuton) as a filler. *Proceedings of EASEC IX*. Bali, Indonesia.
- Yoon, S., Bhat, D.S, Lee, W., Lee Y.H, Jeong, S.Y. (2009). Separation and characterization of bitumen from Athabasca oil sand. *Korean J. Chem. Eng.*, 26(1), 64-71.

LAMPIRAN

Tabel A.1 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa *Aliphatic* Jenuh (Coates,2000)

Frekuensi Grup (cm ⁻¹)	Grup Fungsional
	Metil (-CH ₃)
2970 – 2950 / 2880 – 2860	Metil C–H asim./regangan sim.
1470 – 1430 / 1380 – 1370	Metil C–H asim./lekukan sim.
1385 – 1380 / 1370 – 1365	<i>Gem</i> -dimetil atau “iso”- (doublet)
1395 – 1385 / 1365	Trimetil atau “tert-butyl” (multiplet)
	Metena (>CH ₂)
2935 – 2915 / 2865 – 2845	Metilena C–H asim./regangan sim.
1485 – 1445	Metilena C–H lekukan
750 – 720	Metilena -(CH ₂) _n -
	Metena (>CH-)
2900 – 2880	Metena regangan C–H
1350 – 1330	Metena lekukan C–H
1300 – 700	Vibrasi skeletal C–C
	Frekuensi metal special (-CH ₃)
2850 – 2815	Metoksi, metal ester O–CH ₃ ,regangan
2820 – 2780	C–H
	Metilamino, N–CH ₃ , regangan C–H

Tabel A.2 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa *Olefinic* (Coates,2000)

Origin	Frekuensi Grup (cm^{-1})	Grup Fungsional
C=C	1680 – 1620 1625 1600	Alkenil regangan C=C Aril-substitut C=C terkonjugasi
C-H	3095 – 3075 + 3040 – 3010 3095 – 3075 3040 – 3010	Terminal (vinil) regangan C-H Regangan C-H (vinylidene) Regangan C-H <i>cis</i> atau <i>trans</i>
C-H	1420 – 1410 1310 – 1290	Vinil C-H pada lekukan bidang plane Vinylidene C-H pada lekukan bidang plane
C-H	995 – 985 + 915 – 890 895 – 885	Lekukan vinil C-H diluar bidang plane Lekukan vinylidene C-H diluar bidang plane
C-H	970 – 960 700 (lebar)	Lekukan C-H <i>trans</i> di luar bidang plang Lekukan C-H <i>cis</i> di luar bidang plang

Tabel A.3 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa Cincin Aromatik (Coates,2000)

Origin	Frekuensi Grup (cm^{-1})	Grup Fungsional
C=C-C	1615 – 1580	Regangan cincin Aromatis
C=C-C	1510 – 1450	Regangan cincin Aromatik
C-H	3130 – 3070	Regangan C-H aromatik
C-H	1225 – 950	Lekukan C-H aromatik plane
C-H	900 – 670	Lekukan C-H aromatik di luar bidang plane
	770 – 730 + 710 – 690	Monosubstitusi (fenil)
	770 – 735	1,2-disubstitusi (ortho)
	810 – 750 + 900 – 860	1,3-disubstitusi (meta)
	860 – 800	1,4-disubstitusi (para)
“Combi”	2000 – 1660	Kombinasi <i>bands</i> aromatik

Tabel A.4 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa *Acetylenic* (Coates,2000)

Origin	Frekuensi Grup (cm^{-1})	Grup Fungsional
C≡C	2140 – 2100	Alkuna terminal (monosubstitusi)
C≡C	2260 – 2190	Alkuna medial (disubstitusi)
C-H	3320 – 3310	Alkuna regangan C-H
C-H	680 – 610	Alkuna lekukan C-H
C-H	630 (tipikal)	Alkuna lekukan C-H

Tabel A.5 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa Alkohol dan Hidroksi (Coates,2000)

Origin	Frekuensi Grup (cm⁻¹)	Grup Fungsional
O-H	3570 – 3200	Grup Hidroksi, ikatan O-H
	3400 – 3200	Regangan O-H polimerik
	3550 – 3450	Regangan O-H dimetrik
	3570 – 3540	Regangan ikatan O-H internal
O-H	3645 – 3600 (sempit)	Grup Hidroksi
	3645 – 3630	Alkohol primer
	3635 – 3620	Alkohol sekunder
	3620 – 3540	Alkohol tersier
	3640 – 3530	Fenol
O-H	1350 – 1260	Lekukan OH primer atau sekunder di plane
	1410 – 1310	Fenol atau lekukan OH
	720 – 590	tersier Lekukan OH di luar plane
C-O	~1050	Alkohol Primer
	~1100	Alkohol Sekunder
	~1150	Alkohol Tersier
	~1200	Fenol

Tabel A.6 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa Eter dan Oxy (Coates,2000)

Origin	Frekuensi Grup (cm^{-1})	Grup Fungsional
C-H	2820 – 2810	Metoksi, regangan C-H ($\text{CH}_3\text{-O-}$)
C-O-C	1150 – 1050	Alkil-substitusi eter, regangan C-O
C-O-C	1140 – 1070	Eter siklik, cincin besar, regangan C-O
$\theta\text{-O-H}$	1270 – 1230	Eter Aromatik, regangan aril-O
C-O-	$\sim 1250 + 890 - 800$	Epoksi dan cincin <i>oxirane</i>
C-O-O-C	890 – 820	Peroksida, regangan C-O-O-

Tabel A.7 Frekuensi untuk Kelompok Senyawa Karbonil (Coates,2000)

Frekuensi Grup (cm^{-1})	Grup Fungsional
1610 – 1550 / 1420 – 1300	Karboksilat
1680 - 1630	Amida
1690 – 1675 / (1650 – 1600)	Kuinon atau keton terkonjugasi
1725 – 1700	Asam Karboksilat
1740 – 1725 / (2800 – 2700)	Aldehida
1750 – 1725	Ester
1735	Cincin laktona dengan 6 anggota
1760 – 1740	Alkil Karbonat
1815 – 1770	Asam Halida
1820 – 1775	Aril Karbonat
1850 – 1800 / 1790 – 1740	<i>Acid anhydride</i> rantai terbuka
1870 – 1820 / 1800 – 1775	Cincin <i>anhydride</i> dengan 5 anggota
2100 - 1800	Transisi karbonil metal

Tabel B.1 Data Hasil Pengujian SNI

Sampel	asbuton (g)	saringan kosong (g)	gelas beker (g)	Gelas beker, saringan, sisa (g)	Sisa (g)	Persentase padatan
1	2,0007	1,12	62,73	65,07	1,224	61,16%
2	2,008	1,18	62,37	64,88	1,330	66,25%
3	2,049	1,18	112,43	114,81	1,207	58,90%
Rata-rata						62,10%

Tabel B.2 Data Hasil Pengujian Variasi Suhu Selama 15 menit

Sampel	T (oC)	Massa CaCO ₃ (g)	penyaring (g)	Hasil penyaring (g)	Asbuton hasil pelarutan (g)	Larut (g)	persen larut
1	25	2,0403	0,576	2,4407	1,8647	0,1756	9%
		2,025	0,583	2,451	1,868	0,157	8%
		2,037	0,564	2,432	1,868	0,169	8%
2	40	2,0311	0,547	2,334	1,787	0,2441	12%
		2,0113	0,551	2,355	1,804	0,2073	10%
		2,004	0,589	2,391	1,802	0,202	10%
3	60	2,049	0,4987	2,2116	1,7129	0,3361	16%
		2,0071	0,477	2,178	1,701	0,3061	15%
		2,089	0,482	2,109	1,627	0,462	22%
4	80	2,0045	0,5432	1,764	1,2208	0,7837	39%
		2,0021	0,5257	1,803	1,2773	0,7248	36%
		2,089	0,582	1,949	1,367	0,722	35%
5	95	2,013	0,532	1,836	1,304	0,709	35%
		2,0155	0,574	1,856	1,282	0,7335	36%
		2,0205	0,549	1,867	1,318	0,7025	35%

Tabel B.3 Data Hasil Pengujian Variasi Konsentrasi selama 15 menit

Sampel	Konsentrasi (M)	Konsentrasi (%)	Massa CaCO ₃ (g)	penyaring (g)	Hasil penyaring (g)	Asbuton hasil pelarutan (g)	Larut (g)	persen larut
1	1	4,56	2,0303	0,5467	2,349	1,8023	0,228	11%
			2,0145	0,5222	2,311	1,7888	0,2257	11%
			2,0009	0,562	2,355	1,793	0,2079	10%
2	2	9,05	2,007	0,565	2,111	1,546	0,461	23%
			2,055	0,548	2,062	1,514	0,541	26%
			2,061	0,652	2,15	1,498	0,563	27%
3	4	17,79	2,0731	0,646	2,084	1,438	0,6351	31%
			2,0153	0,642	2,041	1,399	0,6163	31%
			2,061	0,651	2,032	1,381	0,68	33%
4	6	26,25	2,0045	0,5432	1,764	1,2208	0,7837	39%
			2,0021	0,5257	1,803	1,2773	0,7248	36%
			2,089	0,582	1,949	1,367	0,722	35%
5	8	34,44	2,0311	0,632	1,799	1,167	0,8641	43%
			2,0105	0,652	1,789	1,137	0,8735	43%
			2,0411	0,671	1,845	1,174	0,8671	42%
6	10	42,38	2,011	0,692	1,837	1,145	0,866	43%
			2,0121	0,654	1,788	1,134	0,8781	44%
			2,0301	0,688	1,867	1,179	0,8511	42%
7	12	50,06	2,0601	0,687	2,147	1,46	0,6001	29%
			2,0012	0,691	2,156	1,465	0,5362	27%
			2,0051	0,71	2,056	1,346	0,6591	33%

Tabel B.4 Data Hasil Pengujian Variasi Konsentrasi selama 30 menit

Sampel	Konsentrasi (M)	Konsentrasi (%)	Massa CaCO ₃ (gr)	penyaring (gr)	Hasil penyaring (gr)	Asbuton hasil pelarutan	Larut	persen larut
1	1	4,56	2,0035	0,678	2,346	1,668	0,3355	17%
			2,0035	0,678	2,346	1,668	0,3355	17%
			2,0035	0,678	2,346	1,668	0,3355	17%
2	2	9,05	2,007	0,565	1,958	1,393	0,614	31%
			2,055	0,548	1,962	1,414	0,641	31%
			2,061	0,652	1,978	1,326	0,735	36%
3	4	17,79	2,0112	0,501	1,723	1,222	0,7892	39%
			2,0112	0,501	1,723	1,222	0,7892	39%
			2,0112	0,501	1,723	1,222	0,7892	39%
4	6	26,25	2,0124	0,567	1,717	1,15	0,8624	43%
			2,0124	0,567	1,717	1,15	0,8624	43%
			2,0124	0,567	1,717	1,15	0,8624	43%
5	8	34,44	2,0311	0,632	1,719	1,087	0,9441	46%
			2,0105	0,652	1,721	1,069	0,9415	47%
			2,0411	0,671	1,781	1,11	0,9311	46%
6	10	42,38	2,033	0,835	1,902	1,067	0,966	48%
			2,033	0,835	1,902	1,067	0,966	48%
			2,033	0,835	1,902	1,067	0,966	48%
7	12	50,06	2,0601	0,687	2,087	1,4	0,6601	32%
			2,0012	0,691	1,994	1,303	0,6982	35%
			2,0051	0,71	2,006	1,296	0,7091	35%

Tabel B.5 Data Hasil Pengujian Variasi Waktu untuk Konsentrasi 1M

t (menit)	massa awal (g)	Penyaring (g)	massa akhir (g)	padatan terlarut (g)	padatan tersisa (g)	padatan terlarut (%)	mmol terlarut	mmol tersisa
0	2,0303			0	1,261	0,00	0	12,608
15	2,0303	0,5467	2,349	0,228	1,033	11,23	2,28	10,328
30	2,0035	0,678	2,346	0,3355	0,909	16,75	3,355	9,087
45	2,0212	0,71	2,247	0,4842	0,771	23,96	4,842	7,710
60	2,014	0,621	2,101	0,534	0,717	26,51	5,34	7,167
75	2,0312	0,752	2,165	0,6182	0,643	30,44	6,182	6,432
90	2,0211	0,561	1,917	0,6651	0,590	32,91	6,651	5,900
105	2,0145	0,585	1,882	0,7175	0,534	35,62	7,175	5,335

Tabel B.6 Data Hasil Pengujian Variasi Waktu untuk Konsentrasi 4M

t (menit)	massa awal (g)	Penyaring (g)	massa akhir (g)	padatan terlarut (g)	padatan tersisa (g)	padatan terlarut (%)	mmol terlarut	mmol tersisa
0	2,0153			0	1,252	0	0	12,515
15	2,0153	0,642	2,041	0,6163	0,635	30,58	6,163	6,352
30	2,0112	0,501	1,723	0,7892	0,460	39,24	7,892	4,598
45	2,0095	0,499	1,62	0,8885	0,359	44,21	8,885	3,594
60	2,0025	0,7456	1,68	1,0681	0,175	53,34	10,681	1,755
75	2,0211	1,0465	1,95	1,1176	0,138	55,30	11,176	1,375
90	2,0104	1,0935	1,935	1,1689	0,080	58,14	11,689	0,796
105	2,0447	1,0599	1,915	1,1896	0,080	58,18	11,896	0,802

Tabel B.7 Data Hasil Pengujian Variasi Waktu untuk Konsentrasi 6M

t (menit)	massa awal (g)	Penyaring (g)	massa akhir (g)	padatan terlarut (g)	padatan tersisa (g)	padatan terlarut (%)	mmol terlarut	mmol tersisa
0	2,0045			0	1,245	0	0	12,448
15	2,0045	0,5432	1,764	0,7837	0,461	39,10	7,837	4,611
30	2,0124	0,567	1,717	0,8624	0,387	42,85	8,624	3,873
45	2,0211	0,539	1,634	0,9261	0,329	45,82	9,261	3,290
60	2,0323	0,557	1,57	1,0193	0,243	50,15	10,193	2,428
75	2,0113	0,5567	1,543	1,025	0,224	50,96	10,25	2,240
90	2,0245	0,546	1,532	1,0385	0,219	51,30	10,385	2,187
105	2,0202	0,5455	1,509	1,0567	0,198	52,31	10,567	1,978

Tabel B.8 Data Hasil Pengujian Variasi Waktu untuk Konsentrasi 10M

t (menit)	massa awal (g)	Penyaring (g)	massa akhir (g)	padatan terlarut (g)	padatan tersisa (g)	padatan terlarut (%)	mmol terlarut	mmol tersisa
0	2,0121			0	1,250	0	0	12,495
15	2,0121	0,654	1,788	0,8781	0,371	43,64	8,781	3,714
30	2,033	0,835	1,902	0,966	0,296	47,52	9,66	2,965
45	2,0473	0,711	1,768	0,9903	0,281	48,37	9,903	2,811
60	2,0337	0,569	1,601	1,0017	0,261	49,26	10,017	2,612
75	2,0122	0,572	1,577	1,0072	0,242	50,05	10,072	2,424
90	2,0311	0,582	1,612	1,0011	0,260	49,29	10,011	2,602
105	2,0611	0,575	1,626	1,0101	0,270	49,01	10,101	2,698

Tabel B.9 Data Hasil Pengujian Variasi Rasio

massa asbuton (g)	Perb. (g/ml)	massa awal (g)	Penyaring (g)	massa akhir (g)	padatan terlarut (g)	padatan terlarut (%)
1	0,04	2,0112	0,368	1,194	1,1852	58,93
2	0,08	2,0112	0,368	1,211	1,1682	58,08
3	0,12	3,0143	0,543	2,049	1,5083	50,04
4	0,16	4,0173	0,562	3,508	1,0713	26,67
5	0,2	5,0132	0,558	4,803	0,7682	15,32

Tabel B.10 Data Hasil Pengolahan untuk 4M pada 80°C

t (menit)	Massa awal	Massa larut	X	$1-(1-X)^{1/3}$	$1-3*(1-X)^{2/3}+2*(1-X)$
0	1,2515013	0,000	0	0,000000000	0,000000000
15	1,2515013	0,616	0,49244855	0,202323696	0,106240442
30	1,2515013	0,789	0,630602621	0,282484529	0,194309404
45	1,2515013	0,889	0,709947325	0,338049331	0,265569288
60	1,2515013	1,068	0,853454966	0,472781831	0,459213075
75	1,2515013	1,118	0,893007462	0,525265097	0,537865391
90	1,2515013	1,169	0,933998231	0,595872387	0,642046155
105	1,2515013	1,190	0,950538365	0,632923861	0,694688594

Tabel B.11 Data Hasil Pengolahan untuk 4M pada 60°C

t (menit)	massa awal	massa larut	X	$1-(1-X)^{1/3}$	$1-3*(1-X)^{2/3}+2*(1-X)$
0	1,2551031	0,000	0	0,000000000	0,000000000
15	1,2551031	0,370	0,29511225	0,110034193	0,033658088
30	1,2551031	0,474	0,377904572	0,146338550	0,057977242
45	1,2551031	0,534	0,425453893	0,168667111	0,075749099
60	1,2551031	0,642	0,511454477	0,212407305	0,116184287
75	1,2551031	0,672	0,535157311	0,225356285	0,129466723
90	1,2551031	0,703	0,559722066	0,239249395	0,144331417
105	1,2551031	0,715	0,56963416	0,245001775	0,150664720

Tabel B.12 Data Hasil Pengolahan untuk 4M pada 40°C

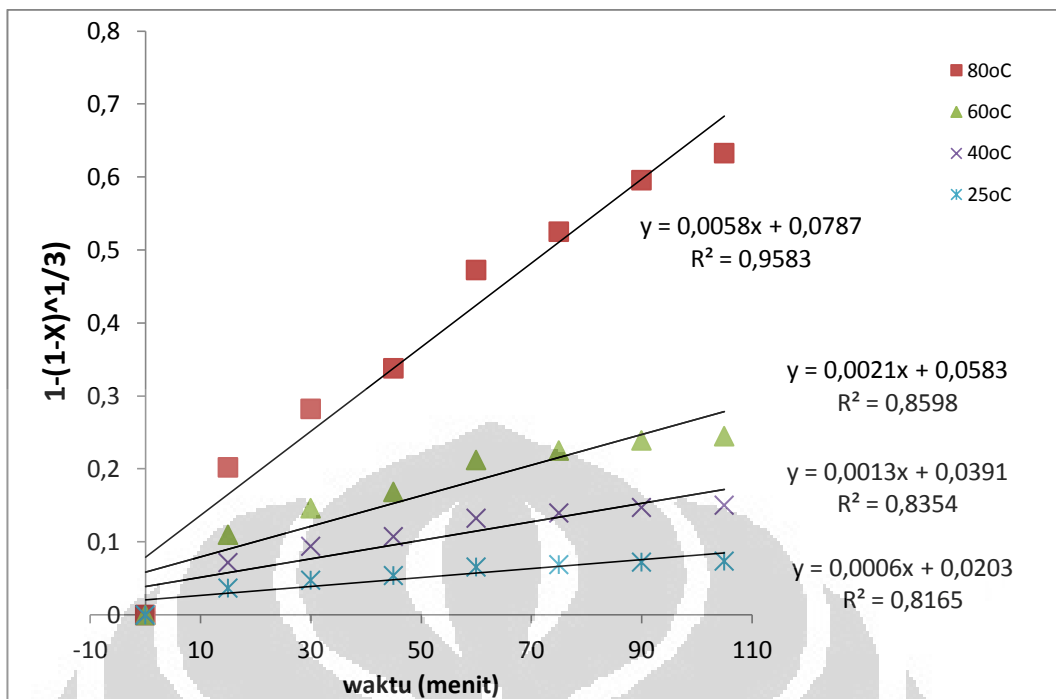
t (menit)	massa awal	massa larut	X	$1-(1-X)^{1/3}$	$1-3*(1-X)^{2/3}+2*(1-X)$
0	1,2484584	0,000	0	0,000000000	0,000000000
15	1,2484584	0,250	0,200421416	0,071845265	0,014743533
30	1,2484584	0,320	0,25664868	0,094132444	0,024914551
45	1,2484584	0,361	0,288941145	0,107444598	0,032152270
60	1,2484584	0,434	0,347347256	0,132584079	0,048074345
75	1,2484584	0,454	0,363444709	0,139775031	0,053149592
90	1,2484584	0,475	0,380127524	0,147356568	0,058742486
105	1,2484584	0,483	0,386859186	0,150454308	0,061097979

Tabel B.13 Data Hasil Pengolahan untuk 4M pada 25°C

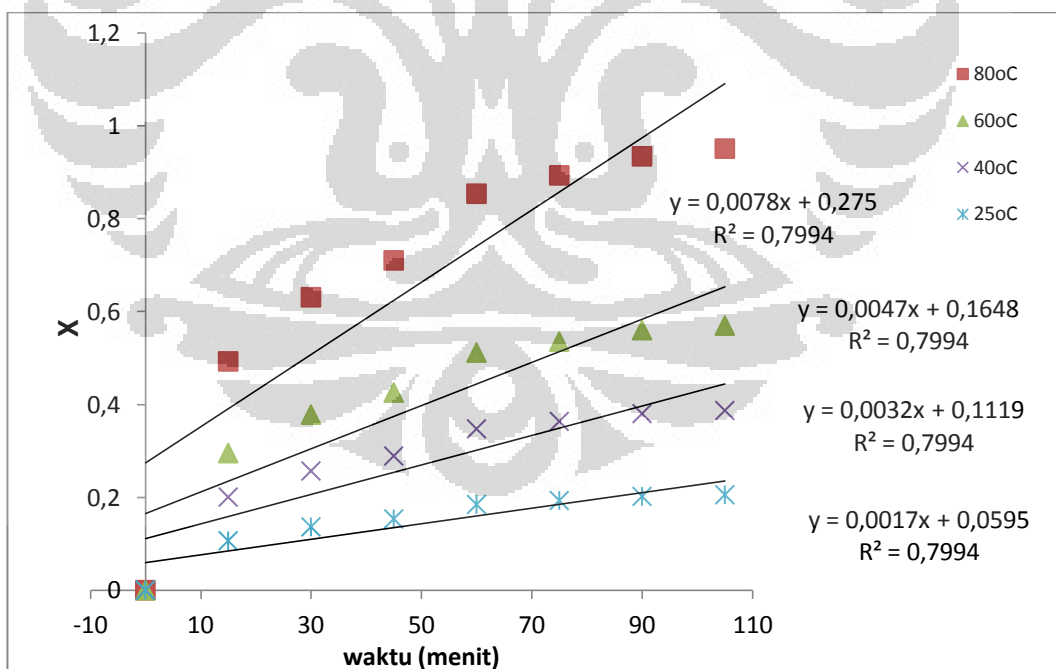
t (menit)	massa awal	massa larut	X	$1-(1-X)^{1/3}$	$1-3*(1-X)^{2/3}+2*(1-X)$
0	1,2515013	0,000	0	0,000000000	0,000000000
15	1,2515013	0,133	0,106467376	0,036828838	0,003969183
30	1,2515013	0,171	0,136336287	0,047682955	0,006604162
45	1,2515013	0,192	0,153490612	0,054030226	0,008442339
60	1,2515013	0,231	0,184516964	0,065731635	0,012393937
75	1,2515013	0,242	0,193068213	0,069008732	0,013629348
90	1,2515013	0,253	0,201930417	0,072429518	0,014978170
105	1,2515013	0,257	0,205506395	0,073817007	0,015542401

Tabel B.13 Data Hasil Pengolahan Berat Jenis Aspal

Massa Pikno kosong	gram	18,2095	18,2294	18,1935	18,2102	18,2098
Isi Aquades	mL	28,546	28,547	28,5451	28,5434	28,5482
Massa Aspal	gram	0,0471	0,0466	0,0812	0,0792	0,0562
isi Aquades + aspal	gram	28,5526	28,5526	28,5572	28,543	28,551
Berat jenis aquades		1,03365	1,03176	1,03516	1,03332	1,03384
Massa Aquades	gram	10,296	10,2766	10,2825	10,2536	10,285
Volume Aquades	mL	9,960818459	9,960262076	9,933247034	9,922966748	9,948347907
Volume aspal	mL	0,039181541	0,039737924	0,066752966	0,077033252	0,051652093
Berat Jenis aspal		1,202096667	1,172683317	1,216425355	1,028127437	1,088048839
Densitas Rata-Rata		1,141476323				



Gambar B.1 Data Hasil Regresi $1-(1-X)^{1/3}$ vs waktu



Gambar B.2 Data Hasil Regresi X vs waktu