

ASPAL BUTON (ASBUTON) SEBAGAI BAHAN BAKAR ROKET PADAT

Agus Nuryanto, Sutrisno

Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara-LAPAN

ABSTRACT

A huge asbuton deposit in Buton island, Sulawesi, has not utilized yet as maximum as possible for the road development in particular, whether in the form of Buton granular asphalt or liquid asphalt as well. The liquid asphalt extracted from asbuton, consist of Saturates, Asphaltenes, Resins and Aromatics, basically is a mixture of aromatics and aliphatics hydrocarbons, form a black very viscous liquid and has a good adhesive properties.

Solid rocket fuel or solid propellant comprises fuel-binder (15-20%), metal-fuel (2-5%), oxidizer (75-80%) and other additives as required (2-5%). Those materials treated pass through several stages of process in order to get a good propellant grain which meets the design specification requirements.

Due to its good adhesive properties, hopefully asbuton liquid asphalt could be used as a fuel-binder of composite propellant. The problem faced is how to mix between liquid asphalt which is very viscous liquid with solid oxidizer and other additives, to be a good grain propellant, because it could not accommodate an appropriate amount of oxidizer. Consequently, its performance would be far from expected, compared with current composite propellant such as polybutadiene.

Keywords: *Asbuton, Aspal, Propelan, Bitumen*

ABSTRAK

Cadangan asbuton di Pulau Buton Sulawesi yang sangat besar, masih belum dimanfaatkan secara maksimal untuk keperluan pembangunan, khususnya jalan, baik dalam bentuk asbuton butir maupun aspal cair. Aspal cair hasil ekstraksi asbuton, tersusun dari *Saturates, Asphaltenes, Resins* dan *Aromatics*, pada dasarnya merupakan campuran hidrokarbon baik aromatik maupun alifatik, dan berbentuk cairan sangat kental berwarna hitam dan memiliki sifat lengket.

Bahan bakar roket padat atau yang disebut propelan padat terdiri dari *fuel-binder* (15-20%), *metal-fuel* (2-5%), oksidator (75-80%) sebagai sumber oksigen dan *additives* lainnya (2-5%). Bahan baku tersebut diolah melalui beberapa tahapan proses, sehingga menghasilkan bentuk batang propelan (*propellant grain*) dengan spesifikasi yang sesuai dengan yang diperlukan dalam perancangan.

Aspal cair dari asbuton yang memiliki sifat rekat yang baik, diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai *fuel-binder* dalam propelan padat jenis komposit. Oleh karena, aspal cair berupa cairan yang sangat kental, maka akan mengalami beberapa kendala dalam proses pencampuran dengan oksidator maupun bahan padat lainnya dalam pembentukan batang propelan, karena tidak akan bisa menampung jumlah oksidator yang cukup memadai. Sebagai akibatnya, kinerja yang dihasilkan, masih jauh dari yang diharapkan, bila dibandingkan dengan propelan komposit yang sekarang banyak digunakan, seperti poli-butadiena.

Kata kunci: *Asbuton, Aspal, Propelan, Bitumen*

1 PENDAHULUAN

Pulau Buton di Sulawesi dikenal banyak mengandung Aspal Alam (Asbuton) sejak zaman Belanda, yang dikenal dengan Butas (Buton Asphalt). Cadangan Asbuton yang sekitar 600 juta ton, merupakan cadangan aspal terbesar di dunia, bila dibandingkan dengan negara-negara lain seperti Venezuela (*Trinidad Lake Asphalt/TLA*), Canada (*Oil Sand*), Perancis dan Mesir.

Pemanfaatan Asbuton untuk pembangunan jalan di Indonesia sudah dimulai sejak tahun 1970-an, pada ruas jalan Cimahi-Padalarang (3 km) dan penelitian penggunaan asbuton untuk ruas jalan Jakarta-Cirebon (240 km). Kemudian pada tahun 1980-an Bina Marga memanfaatkan asbuton dengan membuat berbagai tipe konstruksi, namun hasilnya masih kurang memuaskan. Beberapa upaya dilakukan baik oleh pemerintah maupun swasta nasional, untuk mengembangkan dan memanfaatkan asbuton khususnya untuk pembangunan jalan baik jalan provinsi maupun di daerah.

Dengan makin naiknya harga minyak dunia, maka harga aspal minyak dunia juga naik. Pemerintah melalui Kebijakan Departemen PU (2007), mencanangkan pemakaian asbuton dalam jumlah besar untuk memacu penggunaan bahan lokal, menghemat devisa, mendorong pemanfaatan serta penelitian dan pengembangan asbuton menjadi lebih maju. Pemanfaatan aspal dalam pembangunan jalan didasarkan pada sifat aspal yang cukup baik dan memiliki daya rekat, sehingga bisa merekatkan agregat dalam pembuatan jalan.

Akhir-akhir ini telah mulai ada yang mengupayakan pemanfaatan asbuton sebagai bahan baku untuk membuat bahan bakar roket atau biasa disebut dengan propelan. Propelan padat khususnya jenis komposit, pada dasarnya tersusun oleh oksidator (>80%), *fuel-binder* yang biasanya senyawa polimer (< 20 %) dan *aditives* (\pm 5%). Bahan-bahan tersebut dicampur sedemikian

rupa sehingga membentuk padatan dengan bentuk tertentu sesuai dengan rancangan yang dikehendaki (*Grain Propellant*). Tulisan ini dilatarbelakangi oleh beberapa berita yang tersebar di media massa, tentang pemanfaatan aspal buton sebagai bahan bakar roket padat.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Buton

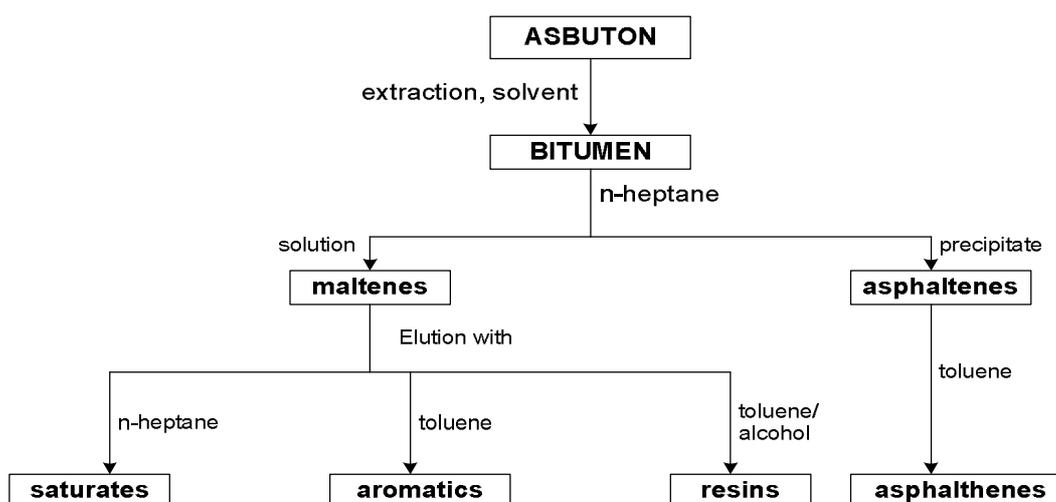
Aspal Batu Buton atau Asbuton yang terdapat di Pulau Buton, memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung di daerah mana asbuton tersebut diperoleh. Sampai saat ini dikenal ada dua daerah penambangan asbuton yang banyak dimanfaatkan hasilnya, yaitu di daerah Kabungka dan Lawele. Sifat dari kedua asbuton tersebut berbeda, khususnya kandungan bitumennya.

Kandungan bitumen/aspal dari daerah Lawele sekitar 25-35% dan banyak mengandung silikat, sedang Kabungka 12-20% dan banyak mengandung karbonat. Beda dengan aspal minyak yang diperoleh dari proses distilasi, maka aspal dari asbuton diperoleh dengan cara ekstraksi sehingga kandungan aspal seperti resin dan fraksi ringan diharapkan masih terkandung didalamnya. Dengan demikian, sifat dari aspal minyak sedikit berbeda dengan aspal dari asbuton.

Penggunaan aspal pada pembangunan jalan, salah satu sifat aspal yang dapat dimanfaatkan adalah daya rekat aspal, sehingga dapat untuk merekatkan isian struktur jalan seperti batuan dan pasir sedemikian rupa, menjadi campuran yang padat dan kuat untuk menerima beban kendaraan yang melewatinya, dan tidak mudah rusak.

Sifat *rheology* aspal ditentukan oleh komponen yang menyusun dan komposisi dari komponen tersebut. Jika aspal/bitumen dari asbuton dipisahkan dengan cara ekstraksi, dan kemudian bitumen tersebut dianalisa, maka komponen yang menyusun dan sifat dari komponen tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-1.

SOLVENT ASBUTON



Gambar 2-1: Diagram pemisahan asbuton

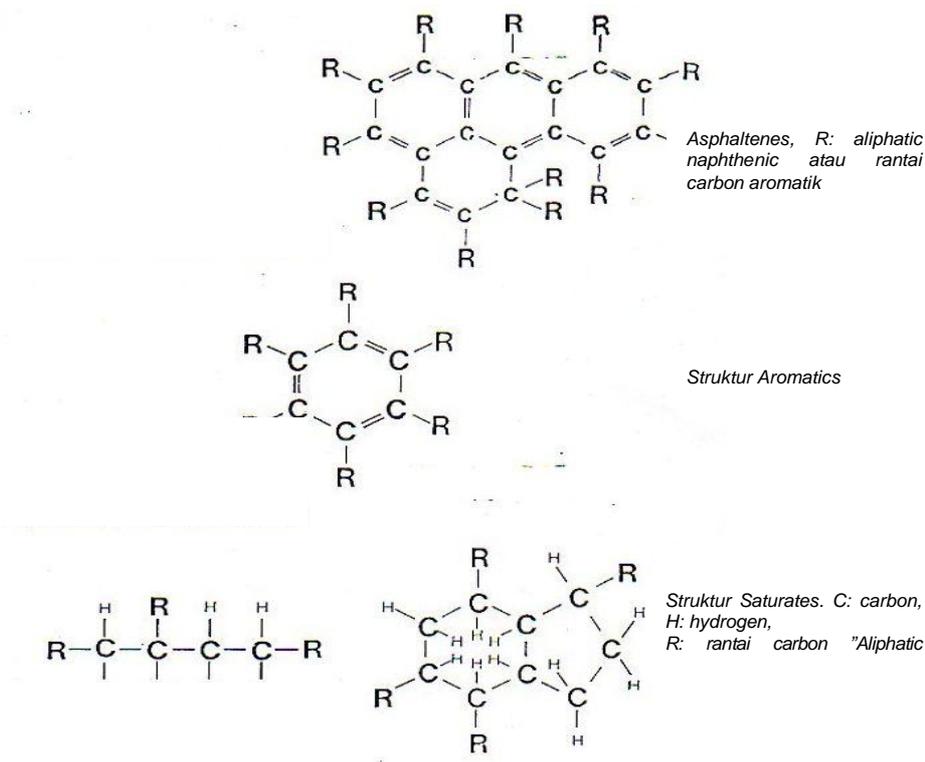
Tabel 2-1: KANDUNGAN MINERAL ASBUTON LAWELE DAN KABUNGKA

<i>Chemical Composition of Mineral of Lawele and Kabungka</i>		
<i>Composition</i>	<i>Values (%)</i>	
	<i>Lawele</i>	<i>Kabungka</i>
CaCO3	72.9	86.66
MgCO3	72.9	1.43
CaSO4	1.94	1.11
CaS	0.52	0.36
H2O	2.94	0.99
SiO2	17.06	5.64
Al2O3 + Fe2O3	2.31	1.52
Residu	1.05	0.96

Dari diagram Gambar 2-1, bitumen hasil ekstraksi asbuton pada dasarnya disusun oleh 4 komponen utama (walau referensi lain bukan 4, tetapi yang banyak digunakan adalah 4) yaitu *saturates*, *aromatics*, *resins* dan *asphaltenes*. Masing-masing komponen memiliki struktur dan komposisi kimia yang berbeda, dan menentukan sifat rheologi dari bitumen. Bitumen merupakan senyawa yang kompleks, utamanya disusun oleh hidrokarbon dan atom-atom N, S dan O dalam jumlah yang kecil, juga beberapa logam seperti Vanadium (V), Ni, Fe, Ca dalam bentuk garam organik dan oksidanya. Unsur-unsur yang terkandung dalam bitumen adalah *Carbon*: 82-88%, *Hydrogen*: 8-

11%, *Sulphur*: 0-6%, *Oxygen*: 0-1.5% dan *Nitrogen*: 0-1%.

Asphaltenes disusun oleh rantai *aromatic* dan *aliphatic* dengan berat molekul yang besar (1000-100.000), *aromatics* disusun oleh rantai *aromatic* dan *aliphatic* dengan susunan yang lebih sederhana dan berat molekul yang lebih kecil sedangkan *saturates* dan *aliphatics* disusun oleh struktur rantai siklis dan *aliphatic* dengan susunan yang lebih sederhana dan berat molekul rendah. Gambar 2-2 memperlihatkan struktur *Saturates*, *Aromatics*, *Resins* dan *Aliphatics*. Tabel 2-2 menunjukkan kandungan kimia asbuton Lawele dan Kabungka sedangkan Tabel 2-3 memberikan sifat-sifat senyawa penyusun bitumen.



Gambar 2-2: Struktur Saturates, Aromatics, Resins dan Asphaltenes

Tabel 2-2: KANDUNGAN KIMIA ASBUTON LAWELE DAN KABUNGKA

Chemical Results of Lawele and Kabungka Asphalt		
Chemical Components	Lawele	Kabungka
Nitrogen Bases (N), %	27.01	29.04
Acidaffins (A1), %	9.33	6.6
Acidaffins (A2), %	12.98	8.43
Paraffin (P), %	11.23	8.86
Maltene Parameter	1.5	2.06
Nitrogen/Paraffine, N/P	2.41	3.28
Asphaltene Content, %	39.45	46.92

Tabel 2-3: SIFAT-SIFAT SENYAWA PENYUSUN BITUMEN

Asphaltenes	Resins	Aromatics	Saturates
<ul style="list-style-type: none"> •Sangat polar, Aromatik kompleks,H/C ratio: 1:1 •Berat Molekul 1000-100000. •Berpengaruh pada sifat reologi bitumen. •Makin tinggi asphaltenes, maka bitumen makin keras, makin kental, makin tinggi titik lembeknya, makin rendah harga penetrasinya. •Termoplastis •Pemanasan berkelanjutan akan rusak. •Tidak larut dalam n-heptane, berwarna hitam/coklat amorph. 	<ul style="list-style-type: none"> •Larut dalam n-heptane •Tersusun oleh C dan H dan sedikit O,S dan N •Coklat tua, solid/semi solid •Sangat polar •Sifat rekat yang kuat •Sebagai dispersing agent atau peptisizer dari asphaltenes •Berat molekul 500-50000 •H/C ratio: 1.3-1.4 	<ul style="list-style-type: none"> •Cairan kental, coklat tua •40-65% dari total bitumen •Berat molekul: 300-2000 •Non-polar, didominasi oleh cincin tidak jenuh •Terdiri dari senyawa naphthenic aromatic. 	<ul style="list-style-type: none"> •Tersusun dari campuran hidrokarbon lurus, bercabang, alkil naphthene dan aromatik •Cairan kental non-polar •Berat molekul hampir sama dengan aromatics •5-20% dari total bitumen

Asphaltenes dan resin yang bersifat polar dapat bercampur membentuk koloid atau *micelle* dan menyebar dalam *aromatics* dan *saturates*. Dengan demikian maka bitumen adalah suatu campuran cairan kental senyawa organik, berwarna hitam, lengket, larut dalam *cabon disulfide*, dan disusun utamanya oleh *polycyclic aromatic hydrocarbons* yang sangat kompak.

2.2 Propelan Padat

Propelan adalah campuran yang terdiri dari *fuel* (bahan bakar) dan *oxidizer* (sebagai sumber oksigen). Propelan padat biasanya merupakan campuran antara *fuel* dan *oxidizer* yang dibentuk menjadi padat (*grain*). Apabila propelan terbakar akan menghasilkan gas dalam jumlah yang sangat besar dengan temperatur yang tinggi. Gas ini akan diekspansikan keluar melalui bagian belakang roket sehingga menghasilkan gaya dorong pada roket tersebut.

Ditinjau dari komponen penyusunnya propelan dapat dikelompokkan menjadi propelan homogen (*homogenous propellant*) dan propelan heterogen (*composite propellant*). Pada propelan homogen baik *fuel* maupun *oxidizer*, terikat secara kimia dalam satu molekul, sedangkan pada propelan heterogen kedua penyusun tersebut tidak terikat secara kimia. Ada dua macam propelan homogen yaitu *single base* maupun *double base*. *Single base propellant* terdiri dari senyawa tunggal, biasanya *nitrocellulose* (NC) sedangkan *Double base propellant* biasanya terdiri dari *nitrocellulose* (NC) dan *nitroglycerin* (NG).

Composite propellant merupakan campuran yang menggunakan kristal garam sebagai *oxidizer*, biasanya berupa garam-garam perklorat, klorat atau nitrat, yang menyusun 60% hingga 90 % massa propelan. Propelan ini diikat oleh *binder* yang berfungsi juga sebagai *fuel*, biasanya *polyurethane* atau *polybutadiene*. Selain aluminium sebagai *metal fuel* juga sering ditambahkan senyawa lain seperti *burning rate catalyst*, *plasticizer* dan lain-lain. Produk akhir dari *composite propellant* berbentuk seperti karet (mirip penghapus yang keras).

Single base dan *double base propellant* mempunyai impuls spesifik (Isp) yang rendah (kurang dari 220 detik) dibandingkan dengan *composite propellant* yang dapat mencapai 265 detik. Namun demikian *double base propellant* menghasilkan sangat sedikit asap yang tidak mudah terlihat. Hal ini menguntungkan karena roket yang menggunakan propelan ini tidak mudah terlacak sehingga sering digunakan pada senjata taktis. Dalam rangka mendapatkan sifat-sifat yang lebih unggul, propelan dibuat dengan memadukan antara propelan *double base* dan *composite propellant*. Sebagai contoh adalah ammonium perklorat ditambahkan ke dalam propelan *double base* sehingga lebih energetik.

Saat ini penggolongan propelan dapat ditinjau dari berbagai hal yaitu berdasarkan komposisi kimia, proses pembuatan dan kemampuan untuk diproses menjadi konfigurasi tertentu. Atas dasar ini maka propelan dapat digolongkan menjadi:

- o *Extruded double base* (EDB); penyusun utamanya adalah *nitrocellulose* dan *nitroglycerine* yang konfigurasi diperoleh secara ekstrusi,
- o *Cast double base* (CDB); penyusunnya sama seperti EDB yang pembuatannya dilakukan dengan cara mencetak ke dalam cetakan propelan,
- o *Composite modified cast double base* (CMDDB); propelan ini dibuat dari CDB dengan menambahkan RDX, HMX atau Ammonium Perklorat (AP) sewaktu pencampuran komponen penyusunnya.
- o *Composite propellant*; penyusun utamanya adalah *non energetic binder* (polyurethane, polybutadiene) dan AP yang dapat mengandung bubuk aluminium (Al) atau aditif yang lain,
- o *High energy propellant*; disusun oleh energetic binder yang diplastisasi oleh ester nitrat cair, RDX, HMX, AP atau Al. Contoh propelan ini adalah *crosslinked double base* (XLDB).

Secara teoritis karakteristik dari beberapa jenis propelan dapat ditunjukkan pada Tabel 2-4.

Tabel 2-4: KARAKTERISTIK BEBERAPA JENIS PROPELAN

<i>Propellant Type</i>	<i>Isp (sec)</i>	<i>Flame Temp (K)</i>	<i>Density (lb/in³)</i>	<i>Burning Rate (in/sec)</i>	<i>Pressure exponent (n)</i>	<i>Stress (psi) / Strain (%)</i>
DB	220-230	2550	0.058	0.05-1.2	0.30	490/60
DB/AP/AI	260-265	3880	0.065	0.2-1.0	0.40	120/50
DB/AP/HMX/AI	265-270	4000	0.065	0.2-1.2	0.49	50/33
PVC/AP/AI	260-265	3380	0.064	0.3-0.9	0.35	38/220
PU/AP/AI	260-265	3440	0.064	0.2-0.9	0.15	75/33
PBAN/AP/AI	260-263	3500	0.064	0.25-1.0	0.33	71/28
CTPB/AP/AI	260-265	3440	0.064	0.25-2.0	0.40	88/75
HTPB/AP/AI	260-265	3440	0.067	0.25-3.0	0.40	90/33
PBAA/AP/AI	260-265	3440	0.064	0.25-1.3	0.35	41/31

Di luar pengelompokan di atas masih terdapat berbagai jenis yang juga dikategorikan sebagai propelan di antaranya adalah:

- *Black powder (BP)*

Propellan ini disusun oleh *charcoal (fuel)*, *potasium nitrate (oxidizer)* dan sulfur (*additive*). BP banyak digunakan sebagai propelan pada roket-roket amatir (*rocketry*) karena murah dan mudah dibuat. Bentuk propelan dibuat dengan memampatkan bubuk campuran menjadi padatan yang keras. Propelan ini mempunyai laju bakar yang tinggi namun mempunyai kinerja (*specific impulse, Isp*) yang rendah (kurang lebih 80 detik).

- *Zinc -Sulfur (ZS) Propellant*

Penyusun propelan ini adalah bubuk logam Zn (*fuel*) dan sulfur (*oxidizer*). ZS mirip dengan BP dan memiliki kinerja yang rendah.

- *Candy Propellant*

Propelan ini umumnya berupa gula sebagai *fuel* (yang berupa dextrose,

sorbitol atau sucrose) dan *oxidizer* (potassium nitrate) yang dicetak menjadi bentuk padat. Gula dilelehkan dan ditambahkan *oxidizer* untuk selanjutnya dituang ke dalam cetakan. Propelan ini banyak digunakan pada roket-roket amatir (*rocketry*). Dibandingkan dengan BP dan ZS, *candy propellant* mempunyai kinerja yang lebih baik. Isp propelan ini dapat mencapai 130 detik. Kelemahan dari propelan ini adalah sangat higroskopis sehingga tidak mudah disimpan dalam waktu yang relatif lama.

Oksidator dalam *composite propellant* merupakan kandungan pokok karena menyumbang hingga 80% komponen penyusunnya. Umumnya senyawa perklorat atau nitrat digunakan sebagai oksidator. Sampai saat ini oksidator yang banyak digunakan dalam propelan jenis komposit adalah Amonium Perkhlorat. Sifat dari beberapa jenis oksidator dapat dilihat pada Tabel 2-5.

Tabel 2-5: SIFAT DARI BEBERAPA OKSIDATOR

OXIDIZER	CHEMICALS SYMBOLS	MOLECULAR MASS	DENSITY (kg.m³)	OXY GEN CONTENT (%)	REMARKS
<i>Ammonium Perchlorate</i>	NH ₄ ClO ₄	117.49	1949	54.5	<i>Low n, Low cost, readily available</i>
<i>Potassium Perchlorate</i>	KClO ₄	138.55	2519	46.2	<i>Low burning rate, medium performance</i>
<i>Sodium Perchlorate</i>	NaClO ₄	122.44	2018	52.3	<i>Hygroscopic, high performance</i>
<i>Ammonium Nitrate</i>	NH ₄ NO ₃	80.0	1730	60.0	<i>Smokless, medium performance</i>
<i>Potassium Nitrate</i>	KNO ₃	101.10	2109	47.5	<i>Low cost, Low performance</i>

Performance propelan diukur dengan hara *Specific Impulse* (Isp) yang dihasilkan. Harga Isp ini berbanding lurus dengan $\sqrt{T/M}$, T adalah suhu gas hasil pembakaran dan M adalah berat molekul gas hasil pembakaran. Dengan demikian, perancangan komposisi propelan selalu mencari hasil T yang tinggi dan M yang rendah, dan ini biasanya tercapai pada saat perbandingan fuel dan oksidator yang stokiometri.

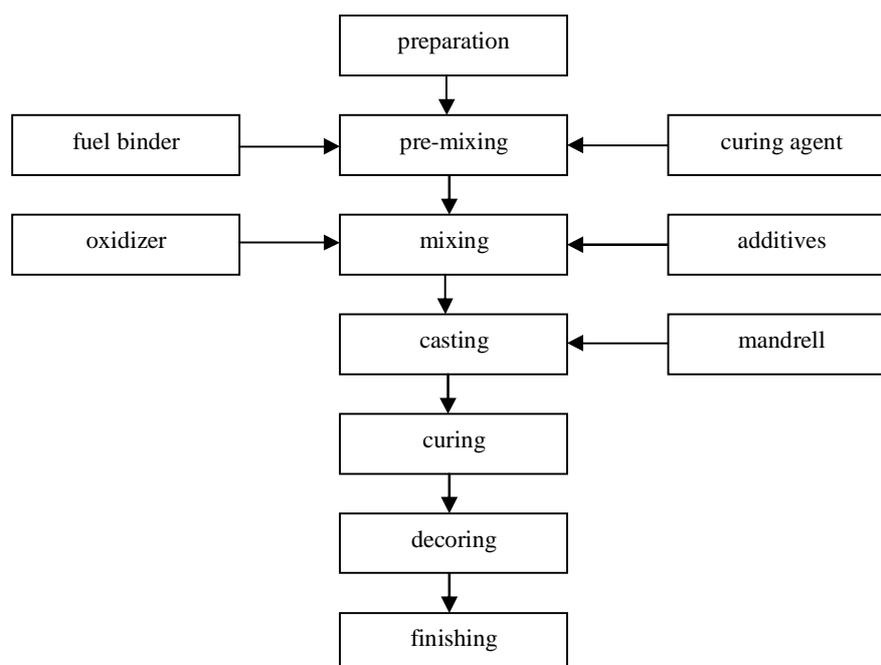
Namun demikian, jika propelan sudah akan dibentuk batangan/"*grain*" untuk keperluan suatu motor roket, maka persyaratan yang diminta tidak hanya Isp yang tinggi, melainkan harus memenuhi kriteria lain seperti sifat balistik, sifat mekanis, sifat fisis yang diinginkan dalam perancangan motor roket, sehingga roket dapat diterbangkan dengan aman. Sifat-sifat atau karakteristik batang propelan harus dapat memenuhi kriteria atau persyaratan dari perancangan sistem propulsi (*propulsion design*) seperti kecepatan pembakaran, waktu bakar, Isp, density, sifat mekanis, kekeroposan propelan (*porosity*) dan sebagainya.

Beberapa kriteria sifat propelan yang diharapkan untuk keperluan motor roket adalah sebagai berikut:

- *Performance (Specific Impulse, Isp)* tinggi, memerlukan T tinggi dan M rendah,
- Menghasilkan kurva *Thrust-Time* sesuai dengan rancangan,
- *Reproducible, safe, low cost, controllable, low-hazard manufacturing*,
- Memiliki konstanta eksponen kecepatan pembakaran dan koefisien suhu yang rendah,
- Kerapatan/densiti yang tinggi,
- Memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik, dapat beroperasi pada lingkungan yang ekstrim,
- Tidak mudah rusak selama penyimpanan (*good ageing characteristics*),
- Gas hasil pembakaran tidak bersifat racun.

2.3 Proses pembuatan propelan padat komposit

Pembuatan propelan padat jenis komposit melewati beberapa tahapan proses sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2-5.



Gambar 2-3: Proses pembuatan propelan komposit

Secara umum proses pembuatan propelan komposit terdiri dari tujuh tahapan yaitu:

- *Preparation*, yang merupakan proses penyiapan bahan baku berupa penghalusan oksidator (*ginding process*), pengayakan dan penimbangan,
- *Pre-mixing*, merupakan proses pencampuran *fuel* dan *curing agent* agar terjadi reaksi polimerisasi membentuk rantai polimer yang lebih panjang,
- *Mixing*, adalah proses pencampuran komponen padat berupa *oxidizer* dan *additives* ke dalam *fuel binder* sehingga terbentuk *slurry*,
- *Casting*, merupakan proses pencetakan *slurry* propelan ke dalam tabung cetakan/*motor case* dengan bantuan mandrel untuk membentuk konfigurasi grain,
- *Curing*, adalah proses pemanasan propelan, sehingga terjadi pematangan propelan dimana terjadi perubahan *slurry* menjadi fase padat,
- *Decorating*, yaitu pencabutan mandrel dari propelan sehingga terbentuk konfigurasi grain,
- *Finishing*, adalah proses akhir setelah propelan tercetak sehingga siap untuk digunakan.

Dari tahapan proses pembuatan propelan komposit tersebut, pada saat pencampuran awal (*pre-mixing*) antara *fuel binder* dan *curing agent*, akan terjadi proses pembentukan polymer dengan berat molekul yang lebih panjang sehingga polymer yang semula berupa cairan akan berubah viskositasnya menjadi sangat tinggi (cenderung padat). Waktu yang diperlukan untuk terjadinya perubahan ini disebut sebagai *pot-life*. Lamanya *pot-life* ini sangat penting untuk diketahui, karena dalam rentang waktu tersebut semua partikel padat seperti oksidator dan additives lainnya dapat dicampurkan kedalam fuel binder secara maksimal, untuk membentuk campuran yang homogen yang dilakukan pada tahap *mixing*.

Campuran homogen yang berbentuk *slurry*, kemudian dicetak (*casting*) sesuai dengan bentuk rancangan, dan dilanjutkan dengan *curing* supaya batang propelan menjadi padat.

3 ASPAL BUTON (ASBUTON) SEBAGAI BAHAN PROPELAN PADAT

Kandungan asbuton yang berupa *asphaltene* dan *resine* yang sama-sama bersifat polar, dapat bercampur satu sama lain dan mempunyai sifat rekat,

dan terdispersi dalam *saturates* dan *aromatics*. Dengan demikian aspal/bitumen biasanya berupa cairan sangat kental berwarna hitam. Dalam aplikasi pembuatan jalan, aspal tersebut dicampur dengan berbagai "*filler*" seperti pasir dan batuan kecil. Untuk memudahkan pencampuran, maka aspal dibuat menjadi lebih encer (viskositasnya rendah) dengan cara pemanasan. Setelah campuran dianggap baik, kemudian dituangkan untuk pembuatan jalan, dan dibiarkan dingin untuk menjadi keras kembali. Proses pemanasan ini berbeda dengan proses pemanasan pembentukan propelan padat komposit, karena pemanasan diperlukan untuk mematangkan polimer, sehingga menjadi padat.

Dilihat dari komposisi aspal/bitumen dari aspal buton, nampaknya penyusun utama adalah hidrokarbon baik aromatik maupun alifatik, walaupun ada kandungan oksigen, namun jumlahnya sangat sedikit. Dengan demikian, aspal ini tidak layak untuk dijadikan jenis propelan yang homogen, disebabkan oleh perbandingan antara hidrokarbon sebagai bahan fuel dan oksigen yang masih jauh dari stokiometri.

Pembuatan propelan padat dari asbuton yang mempunyai Isp tinggi dapat dilakukan dengan penambahan bahan oksidator dan additives dari luar. Pembuatan propelan asbuton dapat dilakukan seperti proses pembuatan propelan komposit dimana pencetakan propelan dilakukan pada saat campuran masih panas (encer). Alternatif lain, aspal dibuat seperti *powder* (jika aspal berupa padatan yang keras), kemudian dicampur dengan oksidator dan *additives*. Pencampuran sistem padat-padat relatif lebih sulit untuk menghasilkan campuran yang homogen, bila dibandingkan dengan sistem padat-cair atau cair-cair. Pada dasarnya campuran padat aspal-oksidator ini sudah dapat dikatakan propelan sejenis *Black-Powder* yaitu campuran C,S dan Nitrat, yang dapat digunakan sebagai isian mesiu atau lainnya.

4 PEMBAHASAN

Kandungan oksigen pada asbuton masih rendah untuk digunakan sebagai propelan. Untuk membuat propelan dengan menggunakan aspal/bitumen dari asbuton, maka masih perlu penambahan oksidator dan *additives* tertentu jika dikendaki untuk memenuhi karakteristik perancangan. Oleh karena aspal sudah berupa cairan yang sangat kental, maka proses pencampuran dengan oksidator yang berupa butiran padat, dapat dilakukan sebagaimana pada proses pembuatan jalan, yaitu dengan pemanasan. Namun demikian pemanasan pada saat pencampuran tidak bisa dilakukan terlalu tinggi, karena dapat menyebabkan terjadinya pembakaran, mengingat campuran sudah mengandung oksidator. Di sisi lain aspal tidak dapat mencapai kekentalan yang cukup encer sehingga bisa menampung jumlah oksidator yang banyak, maka dari itu jumlah oksidator yang dapat diisikan kedalam campuran tidak bisa terlalu banyak guna memenuhi perbandingan yang baik sebagaimana propelan komposit dengan polimer sebagai *fuel binder* (kandungan oksidator dapat mencapai 80%). Sebagai akibatnya, maka *performance* propelan asbuton yang dihasilkan akan kurang baik, Isp rendah.

Cara lain untuk menurunkan viskositas aspal yaitu dengan penambahan *solvent*/pelarut. Aspal/bitumen dapat larut dalam berbagai jenis *solvent* organik, dengan penambahan *solvent* maka viskositas aspal dapat diturunkan sesuai dengan yang dikehendaki, dengan mengatur jumlah *solvent* yang digunakan. Penambahan oksidator maupun *additives* lainnya dapat dilakukan, dan pencampuran dapat dilakukan sampai homogen. Untuk memadatkan kembali, maka diperlukan pemanasan untuk menguapkan *solvent* dari campuran. Cara ini biasanya tidak mudah, karena penguapan *solvent* dari campuran padat akan memerlukan waktu dan panas yang tidak sedikit. Di samping itu, pada saat proses penguapan terjadi, maka

campuran propelan akan menjadi berpori-pori, yang hal ini sangat tidak dikehendaki untuk suatu batang propelan padat komposit. Bentuk retakan sedikit saja dalam batang propelan (*propellant grain*) dapat menimbulkan pecahnya motor roket waktu terjadi pembakaran propelan, yang disebabkan oleh tidak terkendalinya tekanan ruang bakar dalam motor roket.

Apabila propelan asbuton dibuat seperti *black powder* maka pembakarannya akan sulit dikontrol. Propelan ini tidak dapat dibuat *grain propellant* dengan pembakaran radial dan mempunyai waktu bakar yang cukup tinggi dibandingkan dengan propelan komposit. Pembakaran propelan *black powder* dari asbuton sangat sulit untuk dikontrol sehingga mudah meledak. Jika campuran ini dikehendaki untuk dibentuk batangan propelan/*propellant grain* seperti pada propelan komposit maka perlu ditambahkan *binder*, sehingga persentase oksidator dalam propelan menjadi turun. Sebagai akibatnya maka propelan yang dihasilkan akan memiliki *performance* yang kurang baik, dilihat dari harga Isp maupun sifat yang lainnya.

5 KESIMPULAN

Dari kajian tersebut, maka beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- Estraksi aspal/bitumen dari asbuton dapat dilakukan dengan menggunakan *solvent* tertentu, dan akan menghasilkan aspal yang berupa cairan kental berwarna hitam,
- Kandungan utama aspal adalah *saturates, asphaltenes, resin* dan *aromatic*, yang disusun utamanya oleh hydrocarbon baik dalam bentuk *aromatic* maupun *aliphatic*,
- Sifat lengket aspal disebabkan oleh campuran *resins* dan *asphaltenes*. Sedangkan sifat rheologi aspal sangat dipengaruhi oleh kandungan *asphaltenes*,
- Propelan padat pada dasarnya terdiri dari *fuel/fuel-binder* dan oksidator sebagai sumber oksigen,

- Beberapa cara pencampuran antara aspal dan oksidator maupun *additives*, dapat dilakukan dengan pemanasan, atau penambahan *solvent*. Kedua cara ini bertujuan untuk menurunkan kekentalan aspal, sehingga dapat dilakukan pencampuran yang baik dengan oksidator. Cara lain adalah mencampur aspal dalam keadaan serbuk dengan oksidator, yang kemudian ditambahkan perekat untuk membentuk batang propelan,
- Propelan dengan menggunakan asbuton, belum dapat menghasilkan *performance* sebaik propelan campuran polimer dan oksidator seperti propelan jenis polibutadiena,
- Namun demikian, usaha pemanfaatan asbuton sebagai bahan strategis perlu mendapatkan apresiasi dan dukungan, sehingga akan memberikan nilai tambah pada asbuton yang cadangannya masih melimpah. Propelan dengan bahan baku asbuton dapat terus dikembangkan, dan pemanfaatannya disesuaikan dengan *performance* yang dihasilkan.

DAFTAR RUJUKAN

- Davenas, Alain, 1993. *Solid Rocket Propulsion Technology*, 1st edition, Pergamon Press, Oxford.
- Jensen, Gordon E. and Netzer, David W., 1996. *Tactical Missile Propulsion*, Volume 170, Progress In Astronautics and Aeronautics, Massachusetts.
- Kuo, Kenneth K and Summerfield, Martin, 1984. *Fundamentals of Solid Propellant Combustion*, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol 90, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, 1633.
- Sarner, Stanley F., 1966. *Propellant Chemistry*, Reinhold Publishing Corporation, New York.
- Sutton, George P and Ross, Donald M, 1976. *Rocket Propulsion Elements, An Introduction to The Engineering of Rockets*, 4th ed, John Wiley and Sons, New York.
- The Shell Bitumen Industrial Handbook*, Published by Riversdell House, Guildford Street, Chertsey, Surrey, KT16 9AU.

