

# ASPAL BUTON DAN PROPELAN PADAT.

*Agus Nuryanto*

## 1. PENDAHULUAN.

P 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 didunia, bila dibandingkan dengan Negara-2 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 propinsi 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 kususny jenis komposit, pada dasarnya tersusun oleh oksidator (>80%), binder yang biasanya senyawa polimer (< 20 %) dan adiditive ( $\pm$  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 masa, tentang pemanfaatan aspal buton sebagai bahan bakar roket padat.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

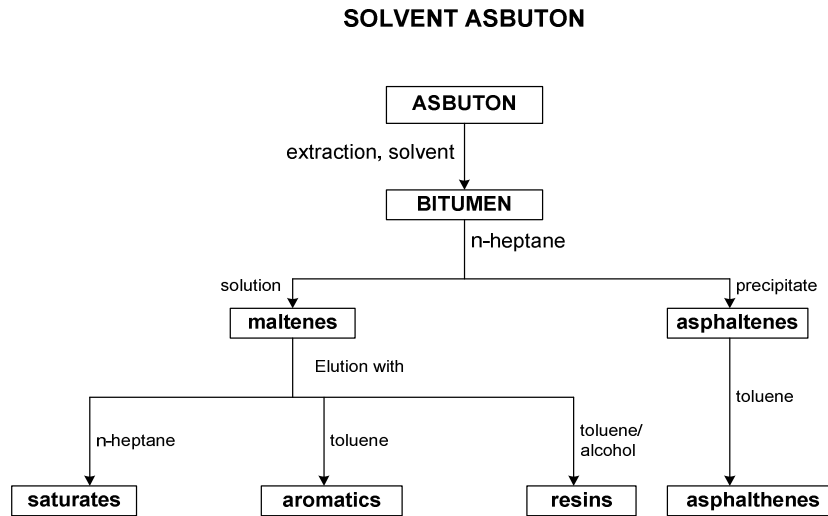
### 2.1. Aspal Buton

Aspal Batu Buton atau Asbuton yang terdapat di P 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 adalah sebagai berikut:



**Gambar 2-1: Diagram pemisahan asbuton**

**Tabel 2-1: Kandungan mineral asbuton Lawele dan Kabungka**

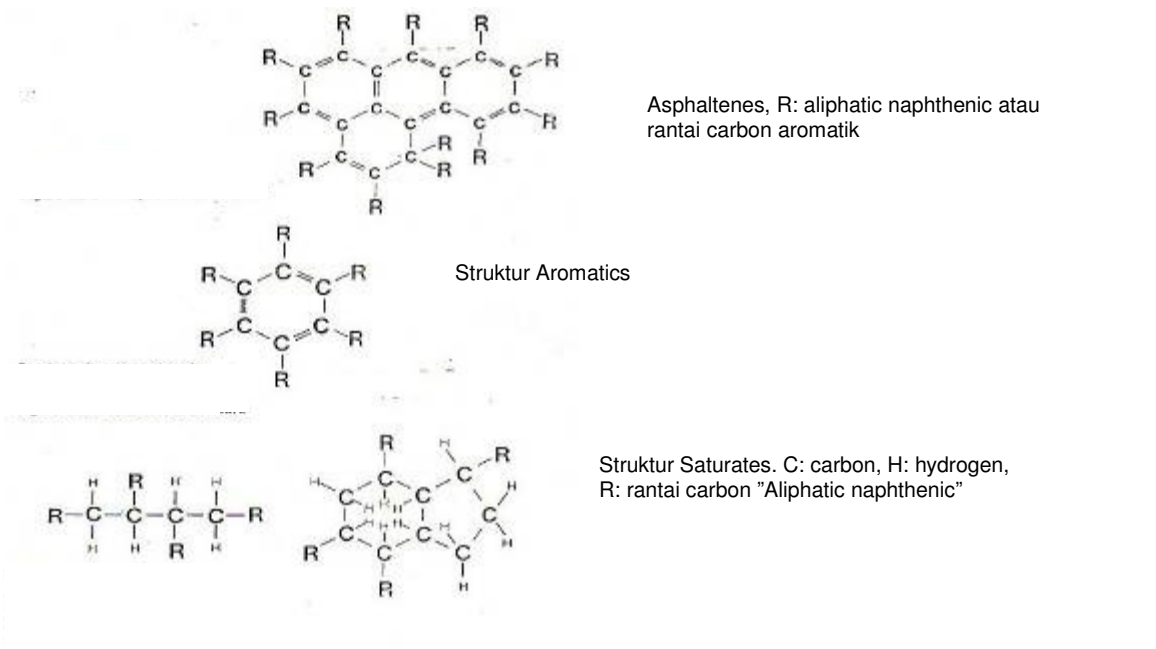
| <b>Chemical Composition of Mineral of Lawele and Kabungka</b>   |                   |                 |
|---|-------------------|-----------------|
| <b>Composition</b>  | <b>Values (%)</b> |                 |
|   | <b>Lawele</b>     | <b>Kabungka</b> |
| CaCO <sub>3</sub>   | 72.9              | 86.66           |
| MgCO <sub>3</sub>   | 72.9              | 1.43            |
| CaSO <sub>4</sub>   | 1.94              | 1.11            |
| CaS   | 0.52              | 0.36            |
| H <sub>2</sub> O  | 2.94              | 0.99            |
| SiO <sub>2</sub>  | 17.06             | 5.64            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.31              | 1.52            |
| Residu  | 1.05              | 0.96            |

Dari diagram gambar 2-1, bitumen hasil ekstraksi asbuton pada dasarnya disusun 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, 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%.

Struktur dari saturates, aromatics, resins dan asphaltenes adalah sbb:

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 malekul 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



**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-2 senyawa penyusun bitmen**

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

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 carbon 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, khlorat 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:

- Extruded double base (EDB); penyusun utamanya adalah nitrocellulose dan nitroglycerine yang konfigurasi diperoleh secara ekstrusi.
- Cast double base (CDB); penyusunnya sama seperti EDB yang pembuatannya dilakukan dengan cara mencetak ke dalam cetakan propelan.
- Composite modified cast double base (CMDDB); propelan ini dibuat dari CDB dengan menambahkan RDX, HMX atau ammonium perklorat (AP) sewaktu pencampuran komponen penyusunnya.
- Composite propellant; penyusun utamanya adalah non energetic binder (polyurethane, polybutadiene) dan AP yang dapat mengandung bubuk aluminium (Al) atau aditif yang lain.
- 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 dibawah ini.

**Tabel 2-4. Karakteristik Beberapa Jenis Propelan**

| Propellant Type | Isp (sec) | Flame Temp (K) | Density (lb/in <sup>3</sup> ) | Burning Rate (in/sec) | Pressure exponent (n) | Stress (psi) / Strain (%) |
|-----------------|-----------|----------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| 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 realtif 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.

**Tabel 2-5: Sifat dari beberapa oksidator**

| <u>OXIDIZER</u>       | <u>CHEMICAL SYMBOL</u>           | <u>MOLECULAR MASS</u> | <u>DENSITY (Kg/m3)</u> | <u>OXYGEN CONTENT (%)</u> | <u>REMARKS</u>                       |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Ammonium Perchlorate  | NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> | 117.49                | 1949                   | 54.5                      | Low n, Low cost, readily available   |
| Potassium Perchlorate | KClO <sub>4</sub>                | 138.55                | 2519                   | 46.2                      | Low burning rate, medium performance |
| Sodium Perchlorate    | NaClO <sub>4</sub>               | 122.44                | 2018                   | 52.3                      | Hygroscopic, high performance        |
| Ammonium Nitrate      | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>  | 80.0                  | 1730                   | 60.0                      | Smokless, medium performance         |
| Potassium Nitrate     | KNO <sub>3</sub>                 | 101.10                | 2109                   | 47.5                      | Low cost, Low performance            |

Performance propelan diukur dengan harga Spesifik Impul (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.

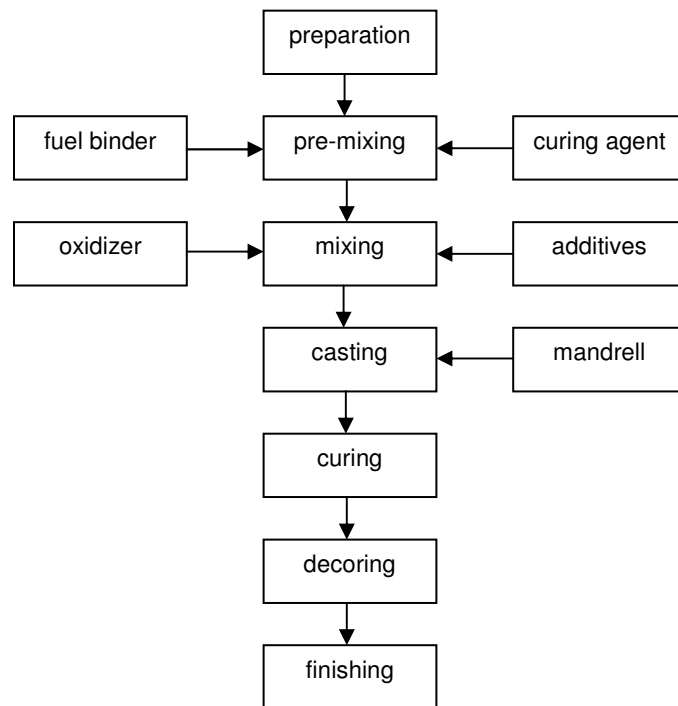
Namun demikian, jika propelan sudah akan dibentuk batangan/"grain" untuk keperluan suatu motor roket, maka persyaratan yang diminta tidak hanya Isp yang tinggi, melainkan harus memenuhi kriteria lain seperti sifat balistik, sifat mekanis, sifat fisis yang diinginkan dalam perancangan motor roket, sehingga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

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

- Performance tinggi/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 exponent kecepatan pembakaran dan koefisien suhu yang rendah.
- Kerapatan/density 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 berikut ini.



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 oksidizer 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, biasanya pada temperatur 60°C, sehingga terjadi pematangan propelan dimana terjadi perubahan *slurry* menjadi fase padat.
- *Decoring*, 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 terjadi 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.

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.

Asphalten dan resin 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.

Untuk membuat propelan dengan menggunakan aspal/bitumen dari asbuton, maka masih perlu penambahan oksidator, karena kandungan oksigennya yang masih sangat rendah, 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. Disisi 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. Disamping 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.

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. Jika campuran ini dikehendaki untuk dibentuk batangan propelan/propellant grain, maka perlu ditambahkan binder, sehingga prosentase 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.

#### **4. KESIMPULAN**

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

- Kandungan asbuton di P Buton, Sulawesi sangat besar, dan masih sedikit dimanfaatkan khususnya untuk pembangunan jalan-jalan di Indonesia. 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. Hanya sedikit kandungan O, S dan N maupun unsur logam tertentu.
- Asphaltenes dan resins yang sama-sama polar dapat bercampur membentuk koloid dan terdispersi dalam aromatics dan saturates. 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. Jika dalam satu molekul sudah tersusun oleh O dan fuel-binder yang terikat secara kimia, propelan tersebut sering dinamakan propelan homogen (NC,NG). Sedangkan jika antara O dan fuel-binder tercampur secara mekanis/fisis, disebut propelan komposit. Walaupun aspal sudah mengandung O didalam molekulnya, namun belum bisa dikatakan dalam katagori propelan homogen, karena kandungan O yang sangat kecil.
- Jika aspal ingin dimanfaatkan sebagai bahan propelan padat karena merupakan sumber hydrocarbon dan bersifat adhesive, maka masih diperlukan penambahan oksidator dan additives sesuai dengan kebutuhan perancangan.
- 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.
- Cara mana akan dipilih, masih banyak kelemahan-kelemahan jika dibandingkan dengan propelan padat komposit yang sekarang banyak digunakan (campuran polimer dan oksidator), sehingga akan menghasilkan propelan dengan performance tidak sebaik propelan campuran polimer dan oksidator.
  - 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

1. Davenas, Alain, 1993, ***Solid Rocket Propulsion Technology***, 1<sup>st</sup> edition, Pergamon Press, Oxford.
2. Jensen, Gordon E and Netzer, David W , 1996, ***Tactical Missile Propulsion***, Volume 170, Progress In Astronautics and Aeronautics, Massachusetts.
3. Sutton, George P and Ross, Donald M, 1976, ***Rocket Propulsion Elements, An Introduction to The Engineering of Rockets***, 4<sup>th</sup> ed, John Wiley and Sons, New York.
4. 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
5. Sarner, Stanley F, 1966, ***Propellant Chemistry***, Reinhold Publishing Corporation, New York.
6. The Shell Bitumen Industrial Handbook, Published by Riversdell House, Guildford Street, Chertsey, Surrey, KT16 9AU