



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET  
BIDANG PROPELAN, PIROTEKNIK, DAN  
MATERIAL PENAHAN PANAS**



# **SISTEM FORMULASI PROPELAN TERPADU UNTUK MENDUKUNG PENGEMBANGAN ROKET**



**OLEH:  
HERI BUDI WIBOWO**

**LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL  
RUMPIN, 23 NOVEMBER 2017**

## DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
PRAKATA PENGUKUHAN.....	vii
I. PENDAHULUAN.....	1
II. PERKEMBANGAN SISTEM FORMULASI PROPELAN PADAT DALAM PROSES DISAIN MOTOR ROKET.....	4
2.1. Formulasi Propelan dalam Pembuatan Prototip Roket.....	4
2.2. Perkembangan Sistem Formulasi Propelan.....	6
2.3. Permasalahan Dalam Sistem Formulasi Propelan.....	10
III. PENGEMBANGAN SISTEM FORMULASI PROPELAN TERPADU.....	12
3.1. Pengembangan Basis Data Formulasi dan Pembuatan Bahan Baku Propelan.....	12
3.2. Penelitian Bahan Baku Propelan Alternatif.....	14
3.3. Analisis Karakteristik Propelan.....	15
3.4. Pengembangan Sistem Aplikasi Formulasi Terpadu.....	17
IV. TANTANGAN KE DEPAN SISTEM FORMULASI PROPELAN DALAM Mendukung Penguasaan TEKNOLOGI ROKET.....	18
V. KESIMPULAN.....	20
VI. PENUTUP.....	21
UCAPAN TERIMA KASIH.....	22
DAFTAR PUSTAKA.....	24

LAMPIRAN.....	36
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH .....	46

## I. PENDAHULUAN

Penguasaan teknologi roket di Indonesia memiliki nilai strategis dalam rangka penguasaan antariksa untuk kemakmuran rakyat seperti diamanatkan Undang-Undang Antariksa Nomor 21 Tahun 2013<sup>1</sup>. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) mengembangkan teknologi roket yang diharapkan mampu meluncurkan satelit sendiri pada tahun 20402. Pengembangan roket juga dilakukan untuk mendukung pertahanan nasional. Beberapa tipe roket pertahanan yang sedang dikembangkan antara lain roket Rhan-122 dan Rhan-450<sup>3</sup>.

Penguasaan teknologi roket di Indonesia menghadapi kendala sulitnya mendapatkan teknologi dari negara maju dan mendapatkan sumber rujukan internasional karena teknologi roket bersifat *dual use* (dapat digunakan untuk kepentingan sipil dan militer). Negara-negara pengembang roket yang tergabung dalam MTCR (*Missile Technology Controll Regime*) membatasi alih teknologi roket. Oleh karena itu, penguasaan teknologi roket harus dilakukan secara mandiri. Kebutuhan roket ukuran kecil semakin meningkat dan digunakan untuk pelayanan publik seperti roket 70 mm untuk lomba muatan roket antar mahasiswa dan roket petir. Roket ukuran lebih besar dimanfaatkan untuk pertahanan antara lain roket RHan-

122, RHan-350, dan RHan-450. Pengembangan roket sonda ditujukan untuk menguasai roket pengorbit satelit dimulai dari roket RX-100, RKX-200, RX-250, RX-320, RX-420, dan RX-550 (Lampiran 1)<sup>3</sup>. Roket sonda adalah roket yang ditujukan untuk mempelajari parameter atmosfer.

Roket merupakan wahana peluncur berkecepatan tinggi, terdiri dari badan roket, muatan, dan motor roket. Motor roket sebagai sumber pendorong roket terdiri atas tabung motor beserta noselnya dan propelan sebagai bahan bakar<sup>4</sup>. Teknologi

propelan merupakan kunci penguasaan teknologi roket. Teknologi pembuatan propelan mengalami perkembangan dari teknologi mencetak dengan *free standing* (propelan dicetak terpisah dari tabung) menuju proses *case bonded* (propelan dicetak langsung di dalam tabung). Teknologi formulasi propelan bertujuan mendapatkan formula propelan dan cara pembuatannya dengan karakteristik sesuai misi roket. Perkembangan teknologi formulasi propelan dilakukan dari model pendekatan empirik menuju pendekatan numerik. Koneksitas antara bahan baku, desain, dan pengujian ada dalam lini proses suatu lembaga peroketan di negara maju. Sistem ini dapat mempercepat proses formulasi dan mengurangi biaya percobaan-percobaan untuk validasi. Sistem formulasi propelan tersebut belum dapat diaplikasikan di Indonesia karena keterbatasan informasi data bahan baku propelan yang masih diimpor, keterbatasan ketersediaan material bahan baku roket, keterbatasan basis data formula propelan, dan keterbatasan peralatan yang dimiliki<sup>4</sup>. Hal ini menyebabkan formulasi propelan memiliki tingkat kesalahan perkiraan yang tinggi dan membutuhkan waktu yang lama<sup>5,6</sup>.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka Tim Roket LAPAN membangun sistem formulasi propelan terpadu roket padat dari hulu ke hilir, yaitu membangun teknologi pembuatan bahan baku propelan, desain formulasi secara numerik, membuat sistem informasi dan basis data formula propelan sebagai acuan disain.

Orasi ini mengulas perjalanan penelitian penulis bersama Tim Roket di LAPAN dalam bidang propelan, piroteknik, dan material penahan panas, khususnya pengembangan sistem formulasi propelan terpadu untuk pengembangan roket. Pengembangan sistem formulasi propelan dimulai dengan dibangunnya teknologi bahan baku propelan komposit yaitu teknologi pembuatan oksidator amonium perklorat (AP), teknologi pembuatan *binder Hydroxy Terminated*

*Polybutadiene* (HTPB), dan teknologi pembuatan bahan baku propelan *double base* yang menggunakan dua komponen pokok yaitu nitroselulosa dan nitrogliserin<sup>6</sup>. Selanjutnya sistem formulasi propelan telah dikembangkan dengan membangun formulasi propelan terpadu menggunakan bahan baku lokal, baik untuk propelan komposit maupun propelan *double base*.

Pembahasan dimulai dengan pemaparan pengembangan sistem formulasi propelan dalam proses desain motor roket, pengembangan sistem formulasi propelan terpadu, dan tantangan ke depan dalam sistem formulasi propelan untuk mendukung penguasaan teknologi roket. Sistem formulasi propelan terpadu telah dibangun dan diaplikasikan untuk formulasi propelan roket-roket yang dikembangkan LAPAN. Tantangan dan solusi dalam mengaplikasikan sistem formulasi propelan untuk mendukung penguasaan roket juga dibahas dalam orasi ini.

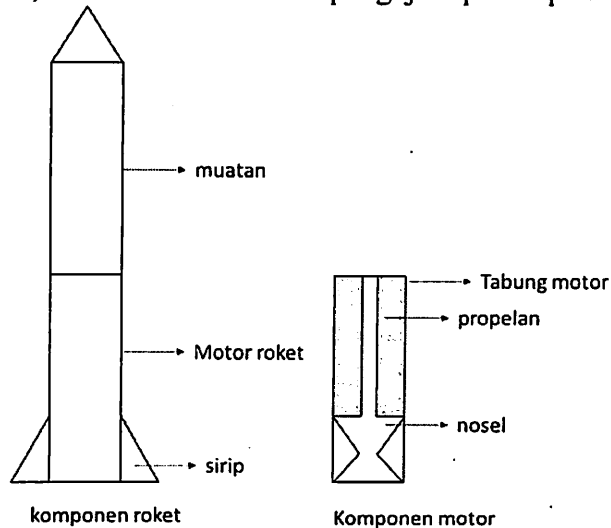
## II. PERKEMBANGAN SISTEM FORMULASI PROPELAN PADAT DALAM PROSES DISAIN MOTOR ROKET

### 2.1. Formulasi Propelan dalam Pembuatan Prototip Roket

Roket merupakan suatu wahana peluncur untuk meluncurkan muatan ke ketinggian atau jarak tertentu dengan kecepatan sangat tinggi. Roket secara umum terdiri dari muatan roket, motor pendorong, sirip pengendali penerbangan, dan sistem kendali (untuk roket kendali), seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Motor roket sebagai pendorong utama terdiri dari tabung motor, nosel sebagai tempat keluar gas hasil pembakaran, dan propelan sebagai bahan bakar utama. Propelan yang terbakar akan menghasilkan energi pembakaran yang dikonversi menghasilkan gaya dorong roket. Propelan padat dibedakan menjadi propelan komposit dan propelan *double base*. Propelan komposit terdiri dari oksidator seperti amonium perklorat dan pengikat sekaligus bahan bakar (*fuel binder*). Bahan *fuel binder* yang banyak digunakan adalah *Hydroxyl Terminated Polybutadiene* (HTPB). Propelan *double base* adalah propelan homogen dengan bahan utama nitrogliserin dan nitroselulosa. Propelan *double base* banyak digunakan untuk propelan roket militer jarak dekat dan munisi.

Proses pembuatan suatu prototip roket dimulai dengan penentuan misi roket yang diinginkan (beban guna dan jangkauan), selanjutnya dilakukan proses disain roket menghasilkan dimensi roket dan motor roket yang akan digunakan. Proses desain motor roket meliputi kegiatan mendisain dimensi, material, dan propelan yang digunakan untuk menghasilkan gaya dorong yang sesuai desain roket. Proses selanjutnya adalah formulasi propelan untuk mendapatkan propelan dengan karakteristik sesuai yang diinginkan. Proses desain dilakukan sampai diperoleh desain

final, kemudian dilakukan manufaktur dan pengujian prototip motor roket, manufaktur roket dan pengujian prototip roket.



**Gambar 1.** Komponen pokok sebuah roket

Formulasi propelan bertujuan mendapatkan formula komposisi bahan baku dan kondisi proses pembuatan propelan agar memiliki karakteristik propelan yang dibutuhkan pendisain motor roket. Proses formulasi propelan di LAPAN dimulai dengan menelusuri basis data formula propelan LAPAN yang memiliki karakteristik sama dengan yang dibutuhkan dan ketersediaan bahan baku tersebut. Bila tidak ditemukan basis datanya, kegiatan formulasi baru dilakukan melalui proses desain komposisi, pembuatan propelan uji, dan pengujian yang dilakukan berulang-ulang sampai diperoleh formula yang sesuai target.

Formulasi propelan adalah suatu proses panjang yang dimulai dengan (1) penentuan karakteristik propelan yang ditargetkan, (2) identifikasi termokimia dan data sheet bahan baku propelan yang digunakan, (3) penentuan komposisi



propelan yang memenuhi persyaratan karakteristik target. Karakteristik propelan menggunakan parameter pokok impuls jenis ( $I_{sp}$ ) yang menyatakan energi propelan, laju bakar yang menyatakan sifat balistik, nilai *pot life* (rentang waktu yang dibutuhkan suatu campuran polimer mencapai viskositas efektif) yang menyatakan viskoelastisitas propelan, kuat tarik dan kekerasan yang menyatakan sifat mekanik, serta homogenitas, keretakan, dan kekeroposan yang menyatakan sifat fisik.

Sistem formulasi propelan yang lengkap terdiri dari komponen-komponen berikut: a) unit bahan baku propelan dan lembar data spesifikasi; b) unit desain perkiraan karakteristik propelan; c) unit pembuatan dan pengujian karakteristik propelan; dan d) pengolah data dan basis data formula propelan .

## 2.2. Perkembangan Sistem Formulasi Propelan

Pembahasan perkembangan sistem formulasi propelan dimulai dari perkembangan teknologi propelan, perkembangan manufaktur propelan, dan perkembangan ilmu formulasi karakteristik propelan. Perkembangan roket di negara maju sudah sampai pada roket pengorbit satelit dengan ketinggian puluhan ribu kilometer. Pengembangan roket saat ini sudah menggunakan kombinasi roket padat dan roket cair. Indonesia juga memiliki program untuk mengembangkan roket pengorbit satelit. Program roket nasional jangka menengah adalah penguasaan roket pengorbit satelit orbit rendah menggunakan roket padat, melalui penguasaan teknologi roket sonda dengan diameter 320, 420, dan 550 mm. Pola pengembangan ini sejalan dengan model pengembangan roket pengorbit satelit Jepang yang mengembangkan roket padat dengan diameter 310 dan 520 mm untuk ketinggian 400 km<sup>3</sup>.

### 2.2.1. Perkembangan Teknologi Propelan

Perkembangan manufaktur propelan telah mengalami transformasi sesuai dengan kebutuhan produk roket yang semakin banyak jumlah dan variannya. Mula-mula manufaktur propelan menggunakan reaktor *batch* (reaksi berlangsung satu kali proses) yang terbatas kapasitas produksinya, kemudian berkembang menjadi proses kontinu (reaksi berlangsung beberapa kali dalam satu proses) sehingga proses pembuatan propelan dapat dilakukan sepanjang waktu tanpa jeda. Proses reaksi dalam reaktor kontinu membutuhkan formula propelan yang memiliki *pot life* lebih lama daripada reaktor *batch*<sup>10</sup>. Metode pencetakan propelan terpisah dari tabung (*free standing*) beralih ke metode pencetakan propelan langsung ke dalam tabung (*case bonded*). Proses ini dapat menghasilkan propelan dalam jumlah banyak dalam waktu cepat dan propelan yang dihasilkan lebih seragam. LAPAN telah membangun *production line* (alur produksi) propelan berbasis *case bonded* dengan kapasitas 400 unit per tahun pada tahun 2015 dan mulai digunakan untuk memenuhi kebutuhan roket RHan-122 pada tahun 2017<sup>10,11</sup>.

Perkembangan teknologi propelan sudah sangat maju dengan ditemukannya senyawa-senyawa energetik (berenergi tinggi) baru. Propelan pada prinsipnya terdiri atas bahan utama oksidator dan bahan bakar berupa hidrokarbon. Bahan oksidator propelan komposit yang biasa digunakan adalah amonium perklorat (AP). Bahan bakar sekaligus pengikat propelan komposit yang banyak digunakan adalah *Hydroxy Terminated Polybutadiene* (HTPB) dan *Carboxy Terminated Polybutadiene* (CTPB)<sup>6,7,8</sup>. Beberapa senyawa energetik baru ditambahkan untuk meningkatkan energi propelan seperti *Cyclotrimethylene Trinitramine* (RDX), *Cyclotetramethylene Tetranitramine* (HMX), *Pentaerythritol Tetranitrate* (PETN), *Nitroglycerine* (NG), dan *Guanidine Acrylic Pentaerythritol* (GAP). Propelan

dengan komposisi baru dari perusahaan Yuzhnoye Ukraina memiliki impuls jenis ( $I_{sp}$ ) mencapai 290 detik. Propelan yang digunakan untuk roket buatan perusahaan Avibras Brasil dan Hanwa Korea menggunakan campuran sekitar 12 senyawa memiliki impuls jenis mencapai 249 detik<sup>14</sup>. LAPAN belum mampu mengadopsi penggunaan material energetik baru karena keterbatasan kondisi peralatan proses. Formula propelan dengan beberapa material baru telah dieksplorasi dan dapat diperoleh propelan dengan  $I_{sp}$  mencapai 224 detik<sup>12,13,14</sup>.

Beberapa *plasticizer* telah digunakan untuk memperpanjang *pot life* propelan, seperti *Dibutyl Sebacate* (DOS), *Dioctyl Adipate* (DOA), dan *Triphenyl Bismuth* (TPB)<sup>8</sup>. Penambahan *plasticizer* digunakan untuk memperlama waktu pengentalan sehingga propelan menjadi homogen sebelum dicetak<sup>14</sup>. Propelan yang digunakan untuk roket buatan Jepang S-310 dan S-510 memiliki *pot life* mencapai 7 hari, propelan produksi perusahaan Hanwa Korea memiliki *pot life* lebih dari 7 jam. Formula propelan LAPAN yang semula memiliki *pot life* 2 jam telah dapat ditingkatkan menjadi 4 jam dengan menggunakan bahan-bahan DOA, DOS, dan TPB<sup>14</sup>.

## 2.2.2. Perkembangan Industri Bahan Baku

Penguasaan teknologi propelan biasanya didukung oleh industri bahan bakunya. Bahan baku utama untuk propelan komposit adalah AP dan HTPB, bahan baku utama propelan *double base* adalah nitrogliserin dan nitroselulosa. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan strategis karena diproduksi hanya untuk produk propelan dan munisi. Negara pengembang roket biasanya membangun industri bahan baku propelan seperti AP, HTPB, dan NG dengan bantuan pemerintah karena penggunaannya adalah pemerintah sendiri<sup>3</sup>. Adanya industri bahan baku propelan dapat menjamin dukungan bahan baku propelan yang kontinu dengan kualitas terjamin. Indonesia belum

memiliki industri pendukung bahan AP dan HTPB, pengadaan bahan baku propelan masih melalui impor dengan beberapa penyedia barang<sup>15</sup>. Keterbatasan mendapatkan bahan baku dan spesifikasi teknisnya menyulitkan dalam formulasi propelan. Alih teknologi pembuatan bahan baku AP, HTPB, nitroselulosa dan nitrogliserin belum ada sampai saat ini<sup>10,11</sup>. Dampaknya adalah proses formulasi propelan membutuhkan waktu lama dan biaya mahal<sup>12</sup>. Upaya penggunaan material-material baru yang ada di Indonesia terus diusahakan oleh LAPAN dalam rangka kemandirian bahan baku propelan seperti penggunaan aspal dan minyak jarak untuk *binder* propelan<sup>13,14</sup>.

### 2.2.3. Perkembangan Metode Perkiraan Karakteristik Propelan

Karakteristik propelan ditentukan berdasarkan karakteristik termodinamika pembakaran propelan dan kinetika reaksinya. Perubahan signifikan dalam metode perkiraan karakteristik terjadi dari pendekatan secara empirik menjadi pendekatan secara numerik, sehingga proses perkiraan menjadi lebih cepat. Data-data termokimia bahan baku propelan yang semakin lengkap dapat memperbaiki nilai kesalahan perkiraan sampai di bawah 10 persen<sup>14</sup>.

Perkiraan impuls jenis formula propelan mula-mula menggunakan acuan pembandingan basis data dari grafik hubungan impuls jenis dengan laju bakar, data tabel segitiga komposisi (AP, HTPB, dan aluminium) terhadap impuls jenis propelan yang diperoleh dari sejumlah percobaan peneliti di Amerika Serikat<sup>12,13,14</sup>. Tabel segitiga komposisi menjadi tidak relevan digunakan lagi karena bertambahnya penggunaan bahan-bahan baru. Keterbatasan data segitiga komposisi untuk bahan-bahan baru telah diatasi dengan menggunakan perkiraan karakteristik propelan secara numerik dengan menggunakan program-program simulasi. Beberapa program simulasi juga

dikembangkan untuk memperkirakan viskoelastisitas dan sifat mekanik *binder* propelan seperti POLYLAB dan LABCHEM8. Pengembangan formulasi propelan di Indonesia masih menggunakan pendekatan empirik karena keterbatasan laboratorium propelan, basis data spesifikasi bahan baku dan formula propelan belum banyak tersedia. Bahan baku propelan impor sering tidak memiliki data termokimia yang dibutuhkan untuk program simulasi analisis formulasi propelan. Proses formulasi secara empirik membutuhkan waktu lama dan biaya besar karena membutuhkan serangkaian pengujian untuk validasi.

### 2.3. Permasalahan Dalam Sistem Formulasi Propelan

Berdasarkan perkembangan teknologi propelan dan formulasinya di dunia dan di Indonesia, ternyata Indonesia masih tertinggal dibandingkan dengan negara lain yang mengembangkan roket. Teknologi propelan di negara maju sudah menggunakan bahan energetik sangat tinggi seperti RDX dan HMX sehingga memiliki impuls jenis di atas 250 detik, menggunakan sistem pencetakan *case bonded*, menggunakan sistem formulasi propelan berbasis sistem aplikasi, dan menggunakan material *plasticizer* baru yang memiliki *pot life* sangat panjang<sup>14</sup>. Program formulasi propelan yang efektif dan efisien harus dibangun sendiri oleh peneliti-peneliti LAPAN karena keterbatasan sumber acuan dan alih teknologi dari negara lain. Pengembangan formula propelan di Indonesia pada awalnya dimulai dengan penemuan formula baru karena tidak adanya sumber acuan. Pengembangan dimulai dengan penggunaan *binder* polisulfida, poliuretan, dan akhirnya ditemukan polibutadien HTPB sebagai *binder* propelan komposit dalam rentang 20 tahun sejak tahun 1980an<sup>4</sup> (Lampiran 10).

Tahapan formulasi propelan di LAPAN mencakup proses pengadaan bahan baku, pengujian bahan baku untuk mendapatkan spesifikasinya, formulasi *binder* propelan yang memenuhi syarat manufaktur, formulasi propelan untuk mendapatkan karakteristik sesuai target, dan *scale up* dari skala laboratorium menjadi skala manufaktur.

Permasalahan dalam formulasi propelan di Indonesia dapat disarikan sebagai berikut: a) keterbatasan data termokimia bahan baku propelan impor; b) keterbatasan basis data formula propelan; c) belum ada industri bahan baku propelan di Indonesia; d) keterbatasan peralatan produksi; dan e) sistem formulasi bersifat parsial. Permasalahan dan solusinya dibahas dalam bab III.

### **III. PENGEMBANGAN SISTEM FORMULASI PROPELAN TERPADU**

Sistem formulasi propelan terpadu dikembangkan untuk menjawab permasalahan dalam formulasi propelan di Indonesia. Sistem formulasi propelan terpadu mengoptimalkan sumber daya yang ada dan membangun sinergi antar lini untuk proses formulasi propelan yang lebih cepat dan akurat. Sistem formulasi ini menyempurnakan formulasi propelan yang telah ada dengan menambahkan suatu proses pembuatan basis data formulasi propelan menggunakan bahan baku propelan yang dibuat sendiri dalam skala laboratorium (Lampiran 2). Basis data formulasi propelan diperoleh dengan membuat bahan AP dan HTPB sendiri dengan berbagai karakteristiknya (ukuran dan bentuk AP, serta konfigurasi struktur, fungsionalitas, dan panjang rantai HTPB), kemudian dilakukan pembuatan propelan uji skala laboratorium dan pengujian karakteristiknya. Sejumlah formula propelan dapat diperoleh dengan cepat dan murah. Basis data propelan menjadi aset penting dari penelitian roket karena menjadi rahasia kesuksesan desain roket. Basis data formula propelan akan dijadikan acuan penelusuran formulasi propelan sebelum dilakukan formulasi propelan yang baru.

#### **3.1. Pengembangan Basis Data Formulasi dan Pembuatan Bahan Baku Propelan**

Teknologi pembuatan AP telah berhasil dikembangkan dan dibangun fasilitas pembuatan AP kapasitas 100 kg per minggu, seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a)<sup>19,20</sup>. Bahan baku pembuatan AP yang digunakan adalah garam dapur. AP yang dihasilkan memiliki kemurnian 99% dengan ukuran partikel dapat diatur dari 100, 200, sampai 400 mesh sesuai dengan persyaratan pembuatan propelan. AP tersebut telah digunakan

untuk roket mandiri LOCON dan berhasil diujiterbang pada tahun 2007 di Pamengpeuk Garut (Lampiran 3)<sup>18</sup>. Data uji kualitas dan spesifikasi AP yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran 4 dan 5<sup>3</sup>.

Teknologi pembuatan HTPB telah dikembangkan dan dihasilkan teknologi pembuatan HTPB skala laboratorium, seperti ditunjukkan pada Gambar 2(b). HTPB yang diperoleh telah memenuhi persyaratan *binder* propelan, dengan variasi jumlah rantai monomer, fungsionalitas, dan struktur konfigurasinya<sup>22,23,24,25,26</sup>. Optimasi metode pembuatan HTPB telah dilakukan dengan menggunakan katalis logam natrium, litium, dan hidrogen peroksida untuk mendapatkan konversi terbaik<sup>27,28,29,30</sup>. Bahan baku pembuatan HTPB adalah butadien yang diperoleh dari PT. SINTETIKA Cilegon. HTPB dengan konversi 40% telah diperoleh dengan peralatan ditunjukkan pada Lampiran 6. Pengembangan reaktor pembuatan HTPB dari proses *batch* menjadi proses kontinu telah berhasil dilakukan. Propelan dengan HTPB produk LAPAN telah diujicoba dengan hasil baik, memiliki  $I_{sp}$  sampai 214 detik<sup>31,32,33,34,35,36,37,38</sup>. Data uji kualitas dan spesifikasi HTPB yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran 8 dan 9<sup>45,65</sup>.

Penguasaan teknologi pembuatan nitrogliserin dan nitroselulosa sebagai bahan baku propelan *double base* juga dieksplorasi pada skala laboratorium, dapat dilihat detilnya pada lampiran 11, 12, 13, dan 14<sup>45,65</sup>. Teknologi pembuatan nitrogliserin skala laboratorium telah diperoleh dan mampu dihasilkan nitrogliserin murni. Metode pembuatan nitrogliserin telah diadopsi dan diaplikasikan untuk roket *double base* 70 mm dan senjata lawan tank oleh PT. DAHANA<sup>39,40,41,42</sup>. Teknologi pembuatan nitroselulosa skala laboratorium telah dikuasai dan mampu diperoleh nitroselulosa spesifikasi *pyro* yang dibutuhkan untuk bahan baku propelan *double base*<sup>43,44,45,46</sup>. Fasilitas pembuatan nitrogliserin dan nitroselulosa skala laboratorium ditunjukkan pada Gambar 2(c) dan 2(d). Propelan komposit



mandiri dan propelan *double base* beserta hasil uji statiknya buatan LAPAN dapat ditunjukkan pada Lampiran 16 dan 17<sup>55</sup>.



(a) Fasilitas produksi AP kapasitas 100 kg/minggu



(b) Fasilitas produksi HTPB secara kontinu



(c) Fasilitas pembuatan nitrogliserin skala laboratorium



(d) Fasilitas pembuatan nitroselulosa skala laboratorium

**Gambar 2.** Fasilitas produksi propelan di LAPAN<sup>19,30,43</sup>

### 3.2. Penelitian Bahan Baku Propelan Alternatif

Dalam rangka peningkatan kualitas propelan telah dilakukan eksplorasi penggunaan bahan-bahan alternatif. Beberapa bahan *binder* alternatif telah dieksplorasi sebagai pengganti HTPB seperti karet, aspal, *Crude Palm Oil* (CPO), dan minyak jarak<sup>47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,59</sup>, demikian pula bahan oksidator lain untuk substitusi AP seperti ammonium nitrat<sup>60</sup>. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa karet alam, aspal,

dan CPO kurang bagus digunakan untuk binder propelan. Minyak jarak yang dialkoholisis memiliki potensi dikembangkan menjadi binder propelan dengan penambahan dialkohol<sup>50,51,52</sup>.

Penggunaan bahan *plasticizer* baru seperti DOA, DOS, dan TPB telah dilakukan untuk memperpanjang *pot life* propelan. Optimasi telah dilakukan dan formulasi optimal dapat meningkatkan *pot life* propelan dari 2 jam menjadi lebih dari 4 jam<sup>61,62,63,64,65</sup>.

### 3.3. Analisis Karakteristik Propelan

Analisis karakteristik propelan yang mendasar meliputi laju bakar, impuls jenis, sifat mekanik, dan *pot life*. Perkiraan laju bakar propelan telah dilakukan dengan mengaplikasikan fenomena termodinamika, kinetika reaksi, dan proses transfer selama reaksi pembakaran propelan. Pendekatan empirik dilakukan dengan membandingkan laju bakar propelan yang memiliki komposisi mirip. Tingkat akurasi perkiraan ditingkatkan melalui banyak pengujian dan menggunakan pembanding propelan HANWA dan AVIBRAS<sup>18</sup>. Pengaruh kesetimbangan gas-gas hasil pembakaran terhadap laju bakar telah dipelajari untuk mendapatkan data empirik yang dibutuhkan<sup>66,67</sup>. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap laju bakar seperti ukuran partikel oksidator AP dan amonium nitrat telah diteliti<sup>68</sup>.

Perkiraan sifat energetik selama ini menggunakan pendekatan empirik dengan menggunakan data tabel segitiga komposisi propelan yang dikembangkan sejak tahun 1960. Tabel tersebut tidak bisa digunakan lagi secara akurat dengan semakin bertambahnya jumlah komponen propelan<sup>12</sup>. Perkiraan impuls jenis dengan menggunakan data termokimia bahan baku propelan terkendala data termokimia bahan baku impor tidak terdapat dalam tabel termokimia bahan yang dikeluarkan oleh

lembaga antariksa Amerika *Joint Army-Navy-NASA-Air Force* (JANNAF)<sup>12,13,14</sup>. Sebagai contoh, perubahan struktur isomer polimer HTPB dan TDI memberikan perubahan impuls jenis yang besar. Dengan kerja keras peneliti LAPAN, data termokimia senyawa HTPB dan TDI telah dapat diperkirakan nilainya dengan menggunakan metode kontribusi gugus yang dikembangkan, sehingga dapat menurunkan tingkat kesalahan perkiraan sampai 5%<sup>69,70,71,72</sup>.

Perkiraan sifat mekanik bertujuan untuk memastikan propelan kuat dan fleksibel, tidak mengalami deformasi atau keretakan pada kondisi operasional<sup>73,74,75,76,77</sup>. Persyaratan propelan yang layak digunakan untuk roket adalah memiliki kuat tarik sekitar 4-12 kg/cm<sup>2</sup>, suhu transisi gelas berada pada daerah antara -50°C dan 50°C. Pendekatan empirik telah mulai digantikan dengan mengaplikasikan ilmu reologi dan kinetika reaksi pematangan *binder* propelan. Pengaruh isomer, struktur, berat molekul rata-rata polimer, ikatan silang dan percabangan rantai polimer yang terjadi telah dieksplorasi dengan baik<sup>78,79,80,81,82</sup>.

Metode perkiraan *pot life binder* propelan telah diteliti dengan mengaplikasikan kinetika reaksi pematangan dan ilmu reologi. Beberapa faktor-faktor berpengaruh seperti isomer, fungsionalitas, panjang rantai, dan struktur polimer HTPB telah diidentifikasi dan terpetakan dengan baik. Tingkat kesalahan perkiraan dapat diturunkan mencapai 5 persen dengan menggunakan metode tersebut. Komposisi HTPB/TDI telah diperoleh dengan *pot life* bisa mencapai di atas 2 jam. Beberapa bahan DOA, DOS, dan TPB telah diobservasi sehingga dapat diperoleh komposisi propelan yang memiliki *pot life* lebih dari 4 jam<sup>80,81,82</sup>.

### **3.4. Pengembangan Sistem Aplikasi Formulasi Terpadu**

Sistem formulasi propelan terpadu adalah integrasi dari pembuatan bahan baku propelan, pembuatan basis data formulasi, metode perkiraan karakteristik propelan, proses penelusuran perkiraan formula dalam basis data, dan verifikasi pengujian karakteristik propelan skala laboratorium dan skala prototip menjadi satu rangkaian proses formulasi propelan yang terintegrasi. Selama proses formulasi akan terjadi perulangan untuk semakin menyempurnakan formula. Dengan demikian, maka basis data formula propelan sangat cepat diperoleh dalam jumlah banyak, proses pencarian formula dengan acuan banyak lebih cepat diperoleh dalam waktu singkat<sup>81</sup>. Sistem aplikasi ini sudah dibakukan dan diterapkan dalam proses desain roket di LAPAN. Sistem ini dikembangkan terus secara berkelanjutan menyesuaikan perkembangan teknologi dan material energetik terkini.

#### IV. TANTANGAN KE DEPAN SISTEM FORMULASI PROPELAN DALAM Mendukung Penguasaan TEKNOLOGI ROKET

Sistem formulasi propelan ke depan memegang peranan penting dalam penguasaan teknologi roket di Indonesia karena semakin banyaknya permintaan jumlah dan varian roket untuk sipil maupun pertahanan. Tantangan lain dalam sistem formulasi propelan adalah mengatasi kesulitan pengadaan bahan baku propelan impor dengan spesifikasi yang sama, perkembangan material-material baru untuk meningkatkan kinerja propelan, dan penstandaran produk propelan.

Kebutuhan nasional akan prototip roket yang semakin banyak jumlah dan variannya membutuhkan formulasi yang efektif dan efisien. LAPAN mengembangkan prototip roket yang cukup banyak dalam rangka penguasaan teknologi roket sonda (roket penelitian) dan roket pengorbit satelit. Beberapa prototip yang dikembangkan antara lain RX-70, RX-100, RX-150, RXX-200, RX-320, RX-420, dan RX-550. LAPAN juga mengembangkan roket untuk pelayanan publik seperti roket komurindo, roket modifikasi cuaca, dan roket petir. Beberapa roket pertahanan juga dikembangkan seperti RHan-122B dan RHan-450. Kementerian Pertahanan juga mengembangkan roket pertahanan berbasis *double base* seperti roket anti tank (SLT), roket kendali anti tank (ATGM), dan roket anti pesawat terbang MANPADS<sup>8,83</sup>.

Perkembangan teknologi propelan sangat pesat, dimulai dari penggunaan 4 jenis bahan baku propelan (AP, HTPB, Al, TDI) menjadi penggunaan 12 jenis bahan baku. Penambahan material energetik dapat meningkatkan daya jangkau roket secara signifikan. Sebagai contoh, roket diameter 122 mm buatan Roxel dapat ditingkatkan jangkauannya dari 38 km menjadi 50 km dengan merubah komposisi bahan bakunya<sup>84</sup>.

Bahan baku propelan adalah bahan kimia strategis yang sampai saat ini masih diimpor dari China dan Korea. Proses impor dibatasi oleh negara produsen. Ketersediaan bahan baku tidak hanya dipengaruhi oleh persediaan produsen, tapi juga kebijakan negara produsen. Beberapa penyedia barang tidak menyediakan data spesifikasi yang lengkap untuk formulasi propelan. Teknologi pembuatan HTPB dan AP yang telah dikuasai perlu dikembangkan skalanya menjadi lebih besar untuk memenuhi kebutuhan litbang roket. Peralatan produksi AP kapasitas 100 kg per minggu dapat ditingkatkan menjadi 20 ton per tahun untuk memenuhi kebutuhan propelan litbang di LAPAN dan Kementerian Pertahanan. Demikian pula teknologi pembuatan HTPB perlu ditingkatkan skalanya dari skala laboratorium menjadi 2 ton per tahun<sup>5</sup>.

Penstandaran produk propelan menjadi kebutuhan pokok litbang roket untuk meningkatkan kualitas hasil penelitian dan menghasilkan produk berstandar industri. Upaya standarisasi produk propelan telah dilakukan dengan dibangunnya alur produksi propelan di LAPAN. Tantangan lain adalah perlunya dibangun sistem kontrol proses dan kualitas bahan baku propelan yang kuat. Bahan baku propelan impor dari berbagai penyedia barang perlu dilakukan kontrol kualitasnya secara berkala untuk memastikan sesuai persyaratan. Bahan baku propelan mudah rusak dan turun kualitasnya seiring dengan waktu<sup>85</sup>.

## V. KESIMPULAN

Sistem formulasi propelan terpadu dapat memangkas waktu formulasi dan mempersingkat proses-proses pengujian. Sistem formulasi propelan terpadu merupakan sistem yang mensinergikan penguasaan teknologi pembuatan bahan baku propelan, proses pembuatan basis data formula propelan, perkiraan karakteristik propelan, pengujian, dan kontrol kualitas bahan baku. Sistem ini telah dibuat dan diterapkan di LAPAN untuk mencapai proses formulasi yang efisien.

Teknologi pembuatan bahan baku propelan telah berhasil dikuasai untuk membuat basis data formulasi propelan. Teknologi pembuatan AP skala 100 kg per minggu telah dihasilkan dan dapat beroperasi dengan baik. Teknologi pembuatan HTPB skala laboratorium telah diperoleh dan dapat menghasilkan HTPB sesuai spesifikasi *binder* propelan.

Penelitian material energetik baru untuk memperpanjang *pot life* telah dilakukan untuk mendapatkan propelan yang homogen dan memiliki *pot life* lebih dari 4 jam. Metode analisis karakteristik propelan telah dipelajari dengan menggunakan gabungan termodinamik, termokimia, dan kinetika reaksi. Pengaruh spesifikasi material oksidator, *binder*, dan bahan aditif lain telah dipelajari dan diketahui fenomenanya, sehingga akurasi perkiraan karakteristik propelan dapat mencapai 5 persen.

## VI. PENUTUP

Sistem formulasi propelan terpadu dibangun dan diterapkan secara berkelanjutan untuk membangun landasan yang kuat dalam menguasai teknologi roket. Tantangan yang dihadapi oleh peneliti sistem formulasi propelan semakin besar dengan permintaan jumlah dan jenis prototip roket yang semakin banyak sehingga membutuhkan sistem formulasi yang cepat tanggap. Upaya meningkatkan kemampuan formulasi propelan yang diakui dunia internasional perlu dilakukan sebagai pemicu semangat litbang propelan. Keterbatasan pengadaan bahan baku propelan dari luar negeri merupakan tantangan yang harus diselesaikan dengan membangun kemandirian dalam produksi bahan baku propelan dengan memanfaatkan teknologi pembuatan AP dan HTPB yang dikuasai. Beberapa skema terobosan diperlukan untuk mengatasi kendala tersebut, seperti kerjasama produksi dengan industri yang menggunakan bahan baku sejenis yang sudah ada atau membangun industri dengan bantuan pemerintah. Upaya mendapatkan propelan yang memiliki kualitas standar industri perlu ditingkatkan dengan menerapkan kontrol kualitas bahan baku selama proses produksi dan menggunakan alur produksi propelan yang tepat.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian akhir dari orasi ini, saya ingin menyampaikan bahwa pencapaian sebagai Profesor Riset ini bukanlah hasil upaya sendiri semata, namun berkat dukungan, bantuan, dan dorongan dari berbagai pihak.

Pertama, saya menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Presiden Republik Indonesia yang telah menetapkan saya sebagai Peneliti Utama bidang Propelan, Piroteknik, dan Material Penahan Panas. Terima kasih dan penghargaan saya sampaikan kepada Kepala LAPAN Bapak Prof. Dr. Thomas Djamaluddin yang mendorong, memotivasi, dan memfasilitasi hingga terselenggaranya pengukuhan Profesor Riset ini. Terima kasih dan penghargaan juga disampaikan kepada Pelaksana Tugas Kepala LIPI Bapak Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M.Agr selaku Ketua Majelis, Kapusbindiklat LIPI sekaligus Sekretaris Majelis Bapak Prof. Dr. Ir. Dwi Eny Djoko Setyono, M.Sc., dan para Anggota Majelis sekaligus Tim Penilai naskah orasi (Prof. Dr. Thomas Djamaluddin, Prof. Dr. Ratno Nuryadi, M.Eng, dan Prof. Dr. Subyakto, M.Sc.).

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Panitia Penyelenggara acara pengukuhan ini di LAPAN serta ketua dan anggota TP2I LAPAN yang telah bekerja sejak proses pengajuan hingga penyelenggaraan acara pengukuhan ini. Terima kasih saya haturkan kepada Sestama LAPAN, Kepala Biro Sumber Daya Manusia, Organisasi, dan Hukum, Kepala Bagian Sumber Daya Manusia, dan Kasubbag Administrasi Sumber Daya Manusia beserta staf atas bantuan, fasilitasi dan dukungannya.

Terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan kepada Deputi Bidang Teknologi, Kepala Pusat Teknologi Roket, Kepala Pusat Teknologi Penerbangan, para Kabid dan Kasubbag TU di Pustekroket dan Pustekbang, yang telah memberikan kesempatan dan memfasilitasi untuk melakukan penelitian dan mempublikasikan hasil-hasil penelitian saya. Terima kasih juga kepada para peneliti dan perekayasa di lingkungan Pustekroket atas kerjasama dan dukungannya.

Terima kasih yang mendalam saya ucapkan kepada teman-teman kelompok penelitian HTPB yang telah rela dan ikhlas membantu bekerja bersama-sama bertahun-tahun menekuni penelitian HTPB.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, ijinkan pula saya untuk menghaturkan hormat, penghargaan, dan doa untuk kedua orang tua saya alm. Bapak Suwandi dan Ibu Sumiati, yang telah mendidik dan mengantarkan saya hingga mencapai pendidikan tinggi. Terima kasih juga kepada istri dan anak-anakku tersayang yang dengan pengertiannya selalu memberi semangat dalam menjalani karier sebagai peneliti hingga kini.

*Wa billaahittaufiq wal hidaayah.*

*Wassalaamualaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.*

## DAFTAR PUSTAKA

1. UU No. 21 Tahun 2013 Tentang Undang Undang Antariksa.
2. Kementerian Pertahanan. 2012. Buku Putih Pengembangan Roket di Indonesia, Balitbang Kemhan, Jakarta.
3. LAPAN, LAKIP 2015, Jakarta.
4. **Wibowo, H.B.** 2008. Prospek Ekonomis Produksi Bahan Strategis (Bahan Baku Propelan Roket Padat LAPAN): Prosiding Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia (JASAKIAI) Yogyakarta, Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 227-232.
5. **Wibowo, H.B.** 2007. Potensi Pabrikasi Propelan Homogen di Indonesia: Berita Dirgantara, Vol. 8, No. 1, Maret 2007, ISSN 14118920, hal 1-5.
6. **Wibowo, H.B.** 2010. Material Eksplosif dan Penggunaannya: Berita Dirgantara LAPAN, Vol. 11, No. 1, Maret 2010, ISSN 14118920, hal. 13-17.
7. Sutton, G.P. dan Blibarz, C. 2008. Rocket Propulsion Elements, Ed. 8<sup>th</sup>, ISBN 9780470080245, John Wiley & Sons, New York, hal. 978-999.
8. **Wibowo, H.B.** 2004. Pemilihan Material Penyusun *Fuel Binder* Propelan Berdasarkan Panas Pembakaran: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 17-18 Maret 2004, hal. 179-185.
9. Timnat, J. 1980. Chemical Propulsion of Rocket, Elsevier, New York, hal. 188.
10. LAPAN, LAKIP 2014, Jakarta.

11. Kementerian Pertahanan RI, 2016. Pembangunan Pabrik Propelan di Indonesia. Kementerian Pertahanan RI, Jakarta.
12. **Wibowo, H.B.** 2004. Perkiraan  $I_{sp}$  Propelan Berdasarkan Struktur Kimianya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 2-3 Juli 2004, ISSN 979984, hal. 21-28.
13. **Wibowo, H.B.** 2001. Perkiraan Impuls Jenis ( $I_{sp}$ ) Propelan Komposit Padat, Berdasarkan Pengaruh *Binder Sistem*: Jurnal Iptek Material, Vol. 1, Desember 2001, ISSN 1412-2898, hal. 12-17.
14. **Wibowo, H.B., I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati.** 2001. Perkiraan Impuls Jenis ( $I_{sp}$ ) Propelan Komposit Padat I. Pemilihan Jenis Bahan Pengikat Propelan: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan 2001, Yogyakarta, 30-31 Januari 2001, ISSN 08544778, hal. 167-172.
15. **Wibowo, H.B.** 2015. Formulasi Propelan Formulasi Propelan Padat Menggunakan HTPB Lokal Untuk Mendapatkan Komposisi Propelan Yang Memenuhi Persyaratan Proses Produksi: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 21 November 2013, ISSN 08544778, hal 223-229.
16. **Wibowo, H.B.** 2016. Kontrol Kualitas Bahan Baku Propelan: Penerbit Indonesia Book Project, Jakarta, ISBN 9786027477117, hal. 134-139.
17. **Wibowo, H.B.** 2004. Analisis Baku Mutu Bahan Isosianat untuk Curing Agent Propelan: Jurnal Iptek Material, Vol. 3, No. 2, Juni 2004, ISSN 14122898, hal. 27-33.
18. **Wibowo, H.B.** 2011. Penentuan Komposisi Butiran AP Untuk Mendapatkan Komposisi Optimum pada Propelan Padat Menggunakan Teori Volume Kantung (Pocket Volume Theory): Prosiding Seminar Ilmu Pengetahuan dan

Teknologi Dirgantara (SIPTEKGAN) XV-2011, November 2011, ISBN 9789791458511, hal. 36-42.

19. Priyanto, B., Pinalia, A., dan Puspitasari, R.R. 2015. The Effect of Spray Gas Flow Rate and Concentration on Modification Ammonium Perchlorate Using Spray Drying: Advances in Science and Technology of Indonesian Aircraft, Rocket, and Satellite, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9766027035379, Jakarta, hal. 22-31.
20. Wibowo, H.B. 2008. Bahan Strategis untuk Mesiu, Propelan, dan Munisi: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 809-812.
21. Pinalia, A., 2011. Penentuan Metode Rekristalisasi Yang Tepat Untuk Meningkatkan Kemurnian Kristal Amonium Perklorat (AP), Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara, Vol. 6, No.2, Juni 2011, hal. 30-35.
22. Wibowo, H.B. 2015. Pemisahan Polimer HTPB Melalui Kolom Resin Berpori Untuk Merubah Distribusi Berat Molekul HTPB: Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol .13, No. 1, Juni 2015, terakreditasi LIPI No 474/AU2/P2MI-LIPI/08/2012, hal. 15-24.
23. Wibowo, H.B. 2015. Reduksi Struktur Vynil Untuk Peningkatan Kualitas HTPB Dengan Penggeseran Keseimbangan Penataulangan Isomer: Buku Bunga Rampai Teknologi Pesawat Terbang Sebagai Mitra Pengembang Teknologi Roket dan Satelit Nasional, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786027035331, hal. 291-306.
24. Wibowo, H.B. 2012. Struktur Polimer Polibutadien dan Teknik Pengendalian Produksi: Chemistry Progress, Vol. 5, No. 1, Mei 2012, ISSN 19795920, hal. 1-5.

25. **Wibowo, H.B.** 2010. Branching and Crosslinking Modelling in Butadiene Polymerization: Indonesian Polymer Journal, Vol. 13, No. 2, ISSN 14107864, hal. 52-57.
26. **Wibowo, H.B.** 2010. Upaya Mendapatkan Distribusi Berat Molekul Yang Sempit: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Universitas Pamulang ke-1 Tahun 2010, Tangerang, ISSN 9772086796002, hal. 228-232.
27. **Wibowo, H.B.** 2007. Polimerisasi Butadien dengan Katalis Hidrogen Peroksida Sistem Fasa Tunggal (Homogen): Jurnal Ilmiah Teknologi, Vol. 3, No. 7, Oktober 2007, ISSN 18584993, hal. 25-32.
28. **Wibowo, H.B.** 2005. Activity Concept Approach on Non Ideal Polymerization Mechanism of Butadiene Jurnal Iptek Material: Jurnal Iptek Material, Vol. 4, No. 2, Juni 2005, ISSN 14122898, hal. 17-22.
29. **Wibowo, H.B.** dan Rosita, G. 2005. Pengembangan Mekanisme Reaksi Polimerisasi Butadien Secara Molekuler: Buku Ilmiah Teknologi Dirgantara, ISSN 18299032, hal. 267-273.
30. **Wibowo, H.B.** 2004. Aktivasi Litium Sebagai Katalisator Pada Reaksi Pembentukan HTPB: Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 2, No. 2, 2004 ISSN 14128063, hal. 89-94.
31. **Wibowo, H.B.** 2004. Polimerisasi Anionik Butadien Secara Bulk untuk Mendapatkan HTPB dengan Distribusi Berat Molekul yang Lebih Sempit: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, Desember 2004, ISSN 08544778, hal. 219-224.
32. **Wibowo, H.B.** dan Henny S. 2004. Polimerisasi Butadiena Secara Anionik Dengan Menggunakan Katalis Yang Didispersikan dalam Serbuk Karbon: Prosiding JASAKIAI

Yogyakarta, Desember 2004, ISSN 14108313, hal. 122-129.

33. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2001. Pengaruh Jenis Diisosiannat Terhadap Sifat mekanik Poliuretan Berbasis HTPB dalam Rangka Pemilihan Komposisi Propelan Komposit Padat: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 27-28 Maret 2001, ISSN 08544778, hal. 207-206.
34. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2000. Kinetika Polimerisasi Butadien Secara Emulsi dengan Inisiator  $H_2O_2/Fe(II)$ : Prosiding Seminar Nasional JNK Jakarta, Januari 2000, ISSN 08546541, hal. 81-84.
35. **Wibowo, H.B.,** Rochmadi, dan Hary Sulisty. 2000. Polimerisasi Butadien secara Emulsi: Majalah LAPAN, Vol. 2, No. 3, Juli 2000, ISSN 01260480, hal. 322-329.
36. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 1994. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Poliuretan Berbasis HTPB untuk Propelan Padat: Prosiding Lomba Karya Ilmiah Terbaik 1994 No 2/ANSIS/94. ISBN 9798554000, hal. 14-20.
37. **Wibowo, H.B.** 2016. Penguasaan Teknologi Produksi Nitrogliserin Sebagai Bahan Baku Propelan dan Munisi: Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786027477100, hal. 78-81.
38. **Wibowo, H.B.** 2012. Disain Dan Rekayasa Reaktor Proses Pembuatan Nitrogliserin: Prosiding SIPTEKGAN XVI, Tahun 2012, Jakarta, hal. 122-129.
39. **Wibowo, H.B.** 2009. Penentuan Kualitas Nitrogliserin Secara Volumetri Sederhana Dengan Analisis Struktur Komponen Penyusunnya: Prosiding SIPTEKGAN XIII Tahun 2009, ISBN 9789791458306, hal. 88-94.

40. **Wibowo, H.B.** 2009. Pembuatan Nitrogliserin dan Mekanisme Hasil Reaksi Nittrasi Gliserol: Prosiding SIPTEKGAN XIII Tahun 2009, ISBN 9789791458306.
41. **Wibowo, H.B.** 2011. Pembuatan Nitroselulosa dan Mekanisme Hasil Reaksi Nittrasi Selulosa: Seminar Nasional Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri (SNPPTI) 2010, Jakarta, ISSN 20862156, hal. 497-502.
42. **Wibowo, H.B.** 2011. Pembuatan Nitroselulosa Sebagai Bahan Baku Propelan *Double Base*: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 15 Juli 2010, ISSN 08544778, hal. 772-779.
43. **Wibowo, H.B.** 2010. Penentuan Kualitas Nitroselulosa Secara Volumetri: Prosiding Seminar Nasional Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri (SNPPTI) 2010, Jakarta, ISSN, hal. 166-170.
44. **Wibowo, H.B.** 2012. Upaya Meningkatkan Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis CPO untuk *Binder* Propelan: Jurnal Antariksa, Vol. 25, No. 1, Maret 2012, hal. 8-13.
45. Elly R dan **Wibowo, H.B.** 2005. Nilai Kalor Poliuretan Dari TDI dan Minyak Jarak Sebagai *Binder* Propelan: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 13 Agustus 2005, ISSN 08544778, hal. 120-129.
46. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2004. Formulasi Filler untuk Meningkatkan Performansi Perekat dari Minyak Jarak: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 23-24 Juli 2004, ISSN 08544778, hal. 178-182.
47. **Wibowo, H.B., I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati.** 2004. Kinetika Reaksi Polimerisasi Pembentukan Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan TDI (Toluen Diisosiyanat). Pengaruh Ikatan Silang: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, Yogyakarta, 27-28 Januari 2004, hal. 216-220.



48. **Wibowo, H.B., I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati.** 2004. Perbaikan Sifat Mekanik Elastomer Poliuretan dari Minyak Jarak dengan Alkoholisasi: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, Yogyakarta, 27-28 Januari 2004, hal. 221-225..
49. **Wibowo, H.B., Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa.** 2003. Kinetika Reaksi Polimerisasi Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan Toluena Diisosiannya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 16-17 Desember 2003, ISSN 08544778, hal. 100-105.
50. **Wibowo, H.B.,** 2003. Kemungkinan Penggunaan Poliuretan dari Minyak Jarak Sebagai *Fuel Binder* Propelan Padat: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 16-17 Desember 2003, ISSN 08544778, hal. 205-211.
51. **Wibowo, H.B., Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa.** 2003. Kinetika Reaksi Polimerisasi Pembentukan Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan TDI (Toluena Diisosiannya): Pengaruh Berat Molekul Rata-Rata: Jurnal Material Vol 3 No 1, Desember 2003, ISSN 14122898, hal 50-56.
52. **Wibowo, H.B. dan Tri Yoga.** 2003. Pembuatan Epoksida dari Ester CPO. I. Studi Kinetika Reaksi: Jurnal Iptek Material, Vol. 2, No. 2, Juli 2003, ISSN 14122898, hal. 12-19.
53. **Wibowo, H.B. dan Tri Yoga.** 2003. Pembuatan Epoksida dari CPO. 2. Sifat Mekanik Elastomer dengan Adanya Sisipan Epoksida CPO: Jurnal Iptek Material, Vol. 2, No. 2, Juli 2003, ISSN 14122898, hal. 25-30.
54. **Wibowo, H.B., Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa.** 2002. Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan Toluena Diisosiannya. I. Kinetika Reaksi

- dengan Pendekatan Larutan Ideal: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 23-24 Juli 2002, ISSN 08544778, hal. 178-188.
55. Elly R dan Wibowo, H.B. 2001. Perbaikan Mutu Elastomer Poliuretan dari Minyak Jarak dengan Penambahan Glikol dan Gliserol: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 6-7 November 2001, ISSN 08544778, hal. 120-128.
  56. Wibowo, H.B. 2009. Pengembangan Propelan Roket Berbasis Amonium Nitrat yang Aman untuk Mempelajari Karakteristik Propelan: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 6 Agustus 2009, ISSN 08544778, hal. 347-352.
  57. Wibowo, H.B. 2015. Pengembangan Propelan Mandiri untuk Roket Komposit: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta 21 November 2013, ISSN 08544778, hal. 157-162.
  58. Wibowo, H.B. 2011. Karakteristik Viskoelastisitas *Binder* Propelan Komposit Mandiri Berbasis HTPB: Prosiding SIPTEKGAN XV-2011, November 2011, ISBN 9789791458511, hal. 220-228.
  59. Wibowo, H.B. 2011. Penentuan Kriteria Material Energetik Baru Untuk Pengembangan Bahan Peledak, Propelan, dan Mesiu: *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara (MSTD)*, Vol. 6, No. 2, Juni 2011, ISSN 19070713, hal. 53-63.
  60. Wibowo, H.B. 2010. Perubahan Kesempurnaan Morfologi Grain Propelan dengan Penambahan Plasticizer: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 11 November 2010, ISSN: 08544778, hal. 571-578.
  61. Wibowo, H.B. Henny S., dan Sumargono. 2000. Penentuan Waktu Crosslink Optimum *Fuel Binder* Propelan Berdasarkan Distribusi Viskositas: *Jurnal Antariksa* Vol. 1 No. , Maret 2000, ISSN 14115042, hal. 120-129.

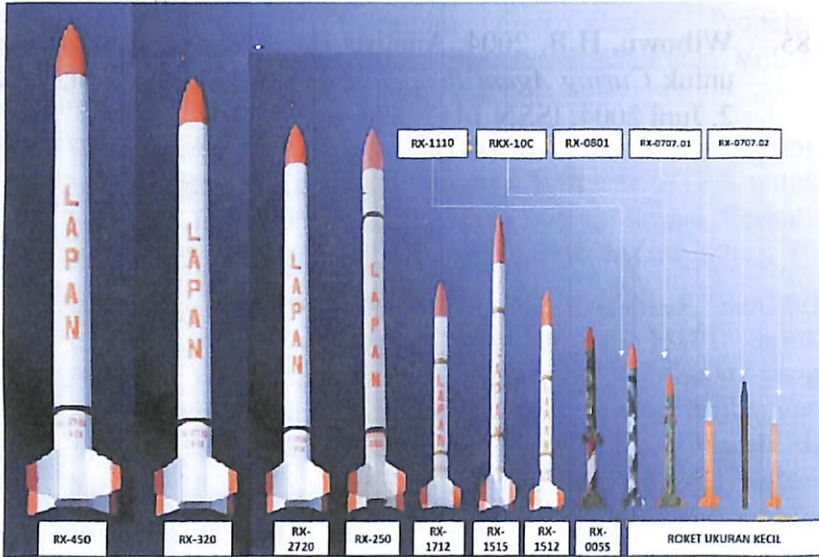
62. **Wibowo, H.B.** 2011. Pengaruh Formulasi Terhadap Kecepatan Pembakaran Propelan *Double Base*: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional UNPAM Tahun 2011, Pamulang, ISSN 9772086796002, hal. 12-20.
63. **Wibowo, H.B.** 2010. Pemilihan Stabiliser yang Tidak Sensitif Terhadap Kecepatan Bakar Propelan: Prosiding SIPTEKGAN XIV-2010, Jakarta, November 2010, ISSN 9789791458429, hal. 296-302.
64. **Wibowo, H.B.** 2015. Pengaruh Tekanan Terhadap Perbedaan Titik Didih Polimer Dalam Sistem Campuran Polimer Homolog Menggunakan Prediksi Keseimbangan Gas-Cair Dengan Kontribusi Gugus: Buku Bunga Rampai Hasil penelitian : Teknologi Roket Sonda Indonesia 2015, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786021946398, hal. 125-131.
65. **Wibowo, H.B.** 2004. Penentuan Fraksi Terlarut Butadien dalam Tabung untuk Sistem Butadien-Pelarut-Inisiator: Jurnal Iptek Material, Vol. 4, No. 1, Desember 2004, ISSN 14122898, hal. 12-20.
66. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2000. Perkiraan Koefisien Aktivitas Larutan Polimer Dengan Metode UNIFAC Termodifikasi: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 21-22 November 2000, ISSN 08544778, hal. 322-329.
67. **Wibowo, H.B.** 1999. Perkiraan Nilai Difusivitas Polibutadien pada Berbagai Pelarut Menggunakan Teori Volume Bebas: Warta LAPAN, Vol. 1, No. 2, April 1999, ISSN 01269754, hal. 19-25.
68. **Wibowo, H.B.** 2016. Polimer HTPB Pengembangan *Binder* Propelan Komposit Di Indonesia: Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 978-602-7477117, hal. 120-129.

69. **Wibowo, H.B.** 2015. Pengaruh Gugus Hidroksil Sekunder Terhadap Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis HTPB: Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 13, No. 2, Desember 2015, ISSN 14128063, terakreditasi LIPI No 670/AU3/P2M-LIPI/07/2015, hal. 103-112.
70. **Wibowo, H.B.** 2015. Peningkatan Sifat Mekanik Propelan Mandiri Berbasis Pengaruh Bilangan OH terhadap Kinerja Propelan: Teknologi Roket Sonda Indonesia 2015, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786021946398, hal. 273-290.
71. **Wibowo, H.B.** 2013. Peningkatan Kinerja Propelan Berbasis HTPB Lokal dengan Mengatur Struktur HTPB: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta 21 November 2013, ISSN 08544778, hal. 223-229.
72. **Wibowo, H.B.** 2011. Penentuan Sifat Mekanik Elastomer Poliuretan dengan Pendekatan Ikatan Molekuler: Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia 2011, Serpong 24 Mei 2011, HKI, ISSN 20889828, hal. 112-129.
73. **Wibowo, H.B.** 2010. Penentuan Ikatan Silang Poliuretan Berdasarkan Data Kinetiknya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 15 Juli 2010, ISSN 08544778, hal. 515-520.
74. **Wibowo, H.B.** 2008. Pengaruh Berat Molekul Terhadap Reaksi Pembentukan Poliuretan: Prosiding SIPTEKGAN XI-2007, November 2007, ISBN 97897814580805
75. **Wibowo, H.B.** 2004. Molecular Controll of Molecular Weight Distribution on Polyurethane Forming: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, Desember 2004, ISSN 08544778, hal. 212-219.
76. **Wibowo, H.B.** 2004. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Sifat Mekanik *Binder* Poliuretan Berbasis HTPB: Prosiding

- JASAKIAI Yogyakarta, 12-13 Desember 2004, hal. 112-120.
77. **Wibowo, H.B.** Henny S., dan Sumargono. 2000. Penentuan Waktu Crosslink Optimum *Fuel Binder* Propelan Berdasarkan Distribusi Viskositas: Jurnal Antariksa, Vol. 1, No. 1, Maret 2000, ISSN 14115042, hal. 220-225.
  78. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 1994. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Poliuretan Berbasis HTPB untuk Propelan Padat: Prosiding Lomba Karya Ilmiah Terbaik 1994 No 2/ANSIS/94. ISBN 9798554000, hal. 80-87.
  79. **Wibowo, H.B.,** I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati. 2001. *Pot Life* Poliuretan dari HTPB untuk Propelan Komposit Padat. Pengaruh Diisosiadat yang Digunakan: Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan 2001, Yogyakarta, 30-31 Januari 2001, ISSN 08544778, hal. 108-16.
  80. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2000. Perkiraan *Pot Life Fuel Binder* Propelan Dasar Poliuretan Berdasarkan Distribusi Viskositas: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 21-22 November 2000, ISSN 08544778, hal. 67-77.
  81. **Wibowo, H.B.** dan Handoko. SR. 2008. Unjuk Kerja Roket Uji Muatan (RUM) dengan menggunakan bahan bakar propelan komposit: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta Desember 2008, ISSN 08544778, hal. 98-102.
  82. Kementerian Pertahanan RI, 2014. Buku Putih Industri Pertahanan 2014-2019, Kementerian Pertahanan RI, Jakarta.
  83. **Wibowo, H.B.** 2016. Kontrol Kualitas Bahan Baku Propelan: Penerbit Indonesia Book Project, 2015, ISBN 9786027477117, hal. 33-39.

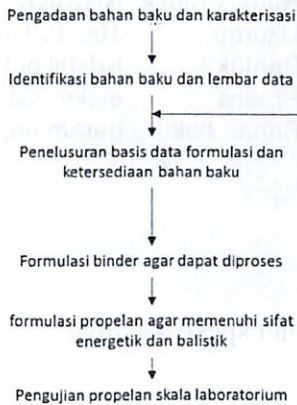
84. **Wibowo, H.B.** 2008. **Prospek Ekonomis Produksi Bahan Strategis (Bahan Baku Propelan Roket Padat LAPAN):** Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 90-97.
85. **Wibowo, H.B.** 2004. **Analisis Baku Mutu Bahan Isosianat untuk *Curing Agent Propelan*:** Jurnal Material, Vol. 3, No. 2, Juni 2004, ISSN 14122898, hal. 34-38.

# LAMPIRAN

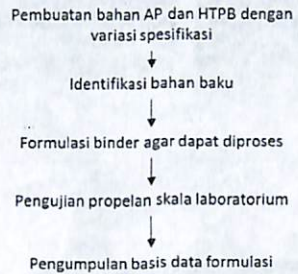


Lampiran 1. Raket Produk LAPAN<sup>6</sup>

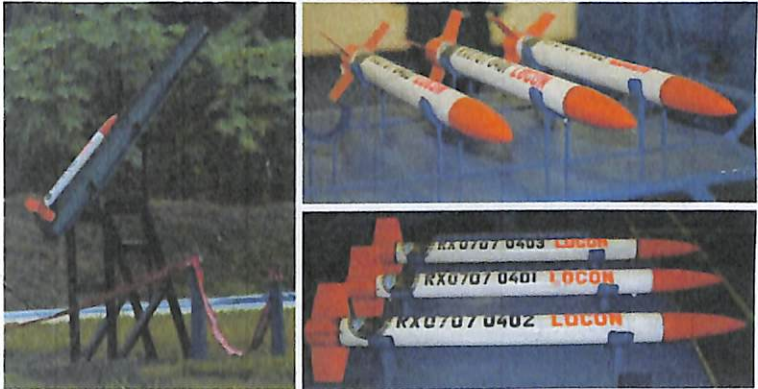
## PROSES FORMULASI PROPELAN



## PROSES PEMBUATAN BASIS DATA



## Lampiran 2. Sistem Formulasi Propelan Terpadu



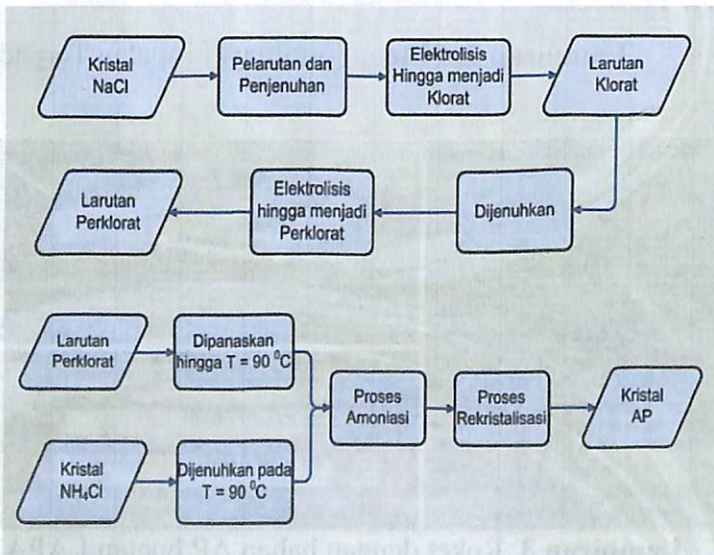
Lampiran 3. Roket dengan bahan AP buatan LAPAN diuji terbang tahun 2007 di Pamengpeuk Garut<sup>19</sup>





Kemurnian : 99,9%  
 Rumus Kimia:  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$   
 Ukuran : 100/400 mesh  
 Bentuk : Kristal putih  
 Proses : elektrolisis  
 Bahan baku : garam dapur

Lampiran 4. Produk AP dan spesifikasinya<sup>3</sup>





Lampiran 5. Peralatan produksi AP dan prosesnya<sup>3</sup>



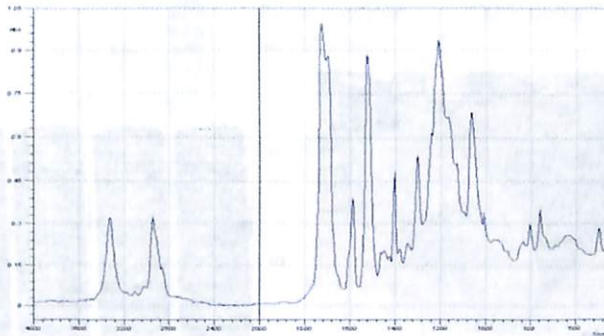
(a) Peralatan Pembuatan HTPB proses batch





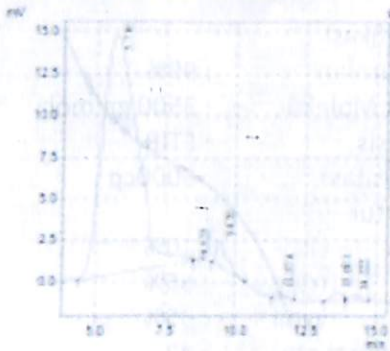
Spesifikasi	
Kemurnian	: 99%
Berat Molekul	: 3500 gr/mol
Analisis	: FTIR
Viskositas	: 6000cp
Struktur	:
	cis : 10%
	trans : 55%
	vynil : 35%
Panjang rantai	: 42

### Lampiran 8. Spesifikasi HTPB produk LAPAN<sup>45</sup>

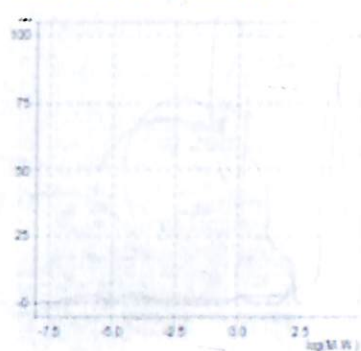


(a) Hasil Uji FTIR HTPB produk LAPAN, menunjukkan adanya senyawa HTPB<sup>43</sup>

Chromatogram & Calibration Curve

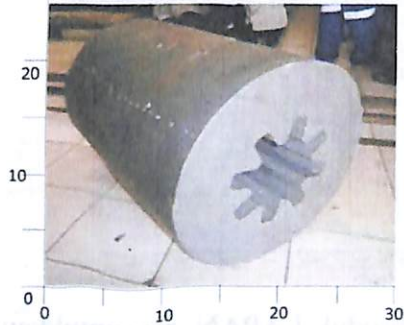


Molecular Weight Distribution Curve

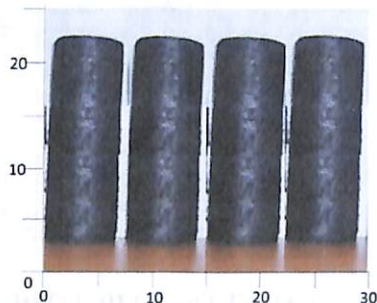


(a) Hasil Uji GPC HTPB LAPAN, menunjukkan berat molekul rata-rata 3500 gr/mol

### Lampiran 9. Hasil Uji HTPB Produk LAPAN<sup>65</sup>



(a) Propelan komposit diameter 300 mm



(b) Propelan *double base* diameter 50 mm

### Lampiran 10. Propelan komposit dan propelan *double base* produksi LAPAN<sup>6</sup>



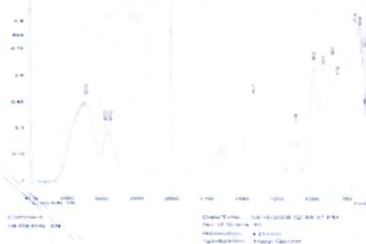
**Lampiran 11.** Peralatan pembuatan nitroglicerín<sup>45</sup>



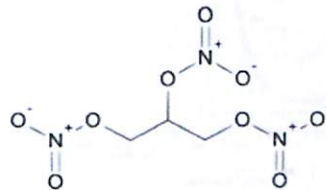
(a) Produk nitroglicerín

Spesifikasi :  
 Kemurnian : 99,9%  
 Rumus kimia :  $C_3H_5(ONO_2)_3$   
 Berat molekul : 227 kg/kgmol  
 Struktur Kimia :

(b) Spesifikasi nitroglicerín



(c) Spektra FTIR dari nitroglicerín



(d) Struktur kimia nitroglicerín

**Lampiran 12.** Produk Nitroglicerín dan Spesifikasinya<sup>45</sup>



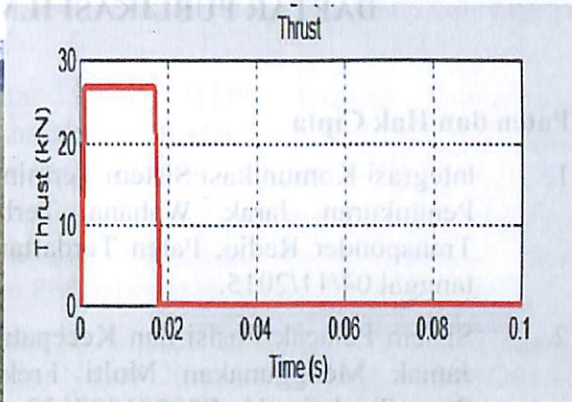
**Lampiran 13. Peralatan Pembuatan nitroselulosa<sup>65</sup>**



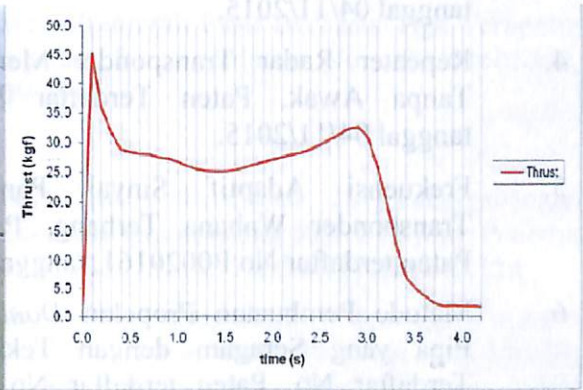
Nama : nitroselulosa  
Kadar N : 12,5 (pyro grade)



**Lampiran 14. Produk nitroselulosa dan hasil uji FTIR<sup>65</sup>**



Lampiran 15. Propelan Double Base dan Hasil Uji statiknya<sup>55</sup>



Lampiran 16. Propelan komposit mandiri dan hasil uji statik<sup>55</sup>



## DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

### Paten dan Hak Cipta

1. Integrasi Komunikasi Sistem Terminasi Penerbangan dan Pengukuran Jarak Wahana Terbang Menggunakan Transponder Radio, Paten Terdaftar No P0020160/100, tanggal 04/11/2015.
2. Sistem Pelacak Posisi dan Kecepatan Peluncuran Roket Jamak Menggunakan Multi Frekuensi Transponder, Paten Terdaftar No P00201507158, tanggal 04/11/2015.
3. Aktifitas Sistem Terminasi Penerbangan Menggunakan Kode Perintah Suara, Paten Terdaftar No P00201507159, tanggal 04/11/2015.
4. Repeater Radar Transponder Menggunakan Pesawat Tanpa Awak, Paten Terdaftar No P00201597157, tanggal 04/11/2015.
5. Frekuensi Adaptif Sinyal Pandu untuk Radar Transponder Wahana Terbang, Paten Terdaftar No. Paten terdaftar No P0020161, tanggal 04/11/2015.
6. Metode Pembuatan Propelan *Double Base* Berbentuk Pipa yang Seragam dengan Teknik Casting, Paten Terdaftar No. Paten terdaftar No P0020169, tanggal 04/11/2015.
7. Metode Pembuatan Propelan *Cast Double Base* dengan Sistem Parit Aliran Larutan Casting, Paten Terdaftar No. Paten terdaftar No P002016701, tanggal 04/11/2015.
8. Sistem Pengatur Berat Molekul HTPB Hasil Polimerisasi Butadien Sistem Kontinyu Secara Radial dengan

- Membran, Paten Terdaftar No. P00201606338, tanggal 22/09/2016.
9. Sistem Daur Ulang HTPB Dengan Penyaringan Membran untuk Fuel Binder Propelan Komposit, Paten Terdaftar No P00201606341, tanggal 22/09/2016
  10. Pembuatan HTPB Spesifikasi Fuel Binder Propelan dengan Hidrogen Peroksida Kadar Rendah, Paten Terdaftar No P00201606339, tanggal 22/09/2016.
  11. Sistem Otomatis Pelacak Optik-RF Wahana Terbang, Paten Terdaftar No P00201606337, tanggal 22/09/2016.
  12. Sistem Penyemaian Hujan Buatan Model Blasting ke Awan Dengan Roket Terintegrasi Radar Cuaca, Paten Terdaftar No P00201606340, tanggal 22/09/2016.
  13. Sistem Seeker Inframerah Pasif Berbasis Tiga Teropong Refraksi Berputar, Paten terdaftar No. P00201606342, tanggal 22/09/2016.

#### **Buku**

14. **Wibowo, H.B.** 2016. Penelitian dan Pengembangan Propelan *Double Base* Untuk Motor Roket 70 mm: Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786027477124, hal. 125.
15. **Wibowo, H.B.** 2016. Penguasaan Teknologi Produksi Nitrogliserin Sebagai Bahan Baku Propelan dan Munisi: Buku Ilmiah, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786027477100, hal. 78-81.
16. **Wibowo, H.B.** 2016. Polimer HTPB Pengembangan *Binder* Propelan Komposit Di Indonesia: Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 978-602-7477117, hal. 120-129.

17. **Wibowo, H.B.** 2016. Kontrol- Kualitas Bahan Baku Propelan: Penerbit Indonesia Book Project, 2015, ISBN 9786027477117, hal. 33-39.
18. **Wibowo, H.B.** 2015. Reduksi Struktur Vynil Untuk Peningkatan Kualitas HTPB dengan Penggeseran Keseimbangan Penataulangan Isomer: Buku Bunga Rampai Teknologi Pesawat Terbang Sebagai Mitra Pengembang Teknologi Roket dan Satelit Nasional, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786027035331, hal. 291-306.
19. **Wibowo, H.B.** 2015. Peningkatan Sifat Mekanik Propelan Mandiri Berbasis Pengaruh Bilangan OH Terhadap Kinerja Propelan: Teknologi Roket Sonda Indonesia 2015, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786021946398, hal. 273-290.
20. **Wibowo, H.B.** 2015. Pengaruh Tekanan Terhadap Perbedaan Titik Didih Polimer dalam Sistem Campuran Polimer Homolog Menggunakan Prediksi Keseimbangan Gas-Cair Dengan Kontribusi Gugus: Buku Bunga Rampai Hasil Penelitian: Teknologi Roket Sonda Indonesia 2015, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786021946398, hal. 125-131.
21. **Wibowo, H.B.** 2015. Pengaruh Distribusi Fungsionalitas Polimer Terhadap Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis HTPB, Bunga Rampai Hasil Litbangyasa Teknologi Roket: Satelit dan Penerbangan, Penerbit Indonesia Book Project, ISBN 9786027035386, hal. 65-69.
22. **Wibowo, H.B.** 2015. Formulasi Propelan Mandiri Berbasis Ammonium Nitrat: Bunga Rampai Hasil Litbangyasa Teknologi Roket, Satelit dan Penerbangan, Penerbit Indonesia Book Project ISBN 9786027035386, hal. 90-95.

23. **Wibowo, H.B.** 2005. Penentuan Fraksi Cairan dalam Tabung Butadien dengan Persamaan Keadaan Adachi-Lu: Buku Ilmiah Teknologi Dirgantara, 2005, ISSN 18299032, hal. 67.
24. **Wibowo, H.B.** dan Rosita, G. 2005. Pengembangan Mekanisme Reaksi Polimerisasi Butadien Secara Molekuler: Buku Ilmiah Teknologi Dirgantara, ISSN 18299032, hal. 267-273.

### **Jurnal Ilmiah**

25. **Wibowo, H.B.** 2015. Pemisahan Polimer HTPB Melalui Kolom Resin Berpori Untuk Merubah Distribusi Berat Molekul HTPB: Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol .13, No. 1, Juni 2015, terakreditasi LIPI No 474/AU2/P2MI-LIPI/08/2012, hal. 15-24.
26. **Wibowo, H.B.** 2015. Pengaruh Gugus Hidroksil Sekunder Terhadap Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis HTPB: Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 13, No. 2, Desember 2015, ISSN 14128063, terakreditasi LIPI No 670/AU3/P2M-LIPI/07/2015, hal. 103-112.
27. **Wibowo, H.B.** 2015. Strategi Penguasaan Teknologi *Cast Double Base* dalam Rangka Menunjang Litbang Propelan Roket dan Membangun Industri Propelan di Indonesia: Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol.1, No. 1, Juni 2015, ISSN 19070713, hal. 29-35.
28. **Wibowo, H.B.** dan Luthfia, H. 2014. Penentuan Tetapan Kecepatan dan Suhu Reaksi Untuk Memilih Proses Pembuatan Butadien: Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 9, No. 1, Juni 2014, ISSN 19070713, hal. 78-85.
29. **Wibowo, H.B.** 2013. Analisis Berat Molekul *Fuel Binder* HTPB dengan GPC: Jurnal GAMATECH, Vol. 1,

- No.2, Tahun Ke II, ISSN 23028572,-hal. 17-25.
30. **Wibowo, H.B.** 2012. Struktur Polimer Polibutadien dan Teknik Pengendalian Produksi: Chemistry Progress, Vol. 5, No. 1, Mei 2012. ISSN: 19795920, hal. 1-5.
  31. **Wibowo, H.B.** 2012. Upaya Meningkatkan Sifat Mekanik Poliuretan Berbasis CPO untuk *Binder* Propelan: Jurnal Antariksa, Vol. 25, No. 1, Maret 2012, hal. 8-13.
  32. **Wibowo, H.B.** 2012. Pengembangan Sistem *Quality Control* Bahan HTPB: Jurnal GAMATECH, Vol. 1, No. 1, Tahun ke 1, ISSN 23028572, hal. 54-59.
  33. **Wibowo, H.B.** 2011. Branching and Crosslinking Modelling in Butadiene Polymerization: Indonesian Polymer Journal, Vol. 13, No. 2, ISSN 14107864, hal. 52-57.
  34. **Wibowo, H.B.** 2011. Penentuan Kriteria Material Energetik Baru Untuk Pengembangan Bahan Peledak, Propelan, dan Mesiu: Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara (MSTD), Vol. 6, No. 2, Juni 2011, ISSN 19070713, hal. 53-63.
  35. **Wibowo, H.B.** 2011. Analisis Metode Produksi Butadiena yang Efisien Diterapkan di Indonesia: Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, Vol. 6, N.o 3, September 2011, LAPAN, ISSN 19070713, hal. 81-88.
  36. **Wibowo, H.B.** 2010. Material Eksplosif dan Penggunaannya: Berita Dirgantara LAPAN, Vol. 11, No. 1, Maret 2010, ISSN 14118920, hal. 13-17.
  37. **Wibowo, H.B.** 2010. Pemisahan Inhibitor dan Air dari Butadien: Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, LAPAN, Vol. 5, No. 3, September 2010, ISSN 19070713, hal. 12-19.
  38. **Wibowo, H.B.** 2010. Rancang Bangun Modul Treatment dalam Stock TDI (*Toluene Diisocyanate*): Jurnal Antariksa Jurnal Antariksa Nasional, No 20, September,

- Tahun 2010, hal. 33-39.
39. **Wibowo, H.B.** 2010. Analisis Kuantitatif Isomer 2,4-Tdi Dan 2,6-TDI Dalam Bahan Toluene Diisocyanat (TDI) Untuk Pengembangan Propelan Komposit Padat: Jurnal Antariksa Jurnal Antariksa Nasional, No. 20, September 2010, hal. 29-35.
  40. **Wibowo, H.B.** 2009. Kebutuhan Nitrogliserin di Indonesia: Jurnal Ilmiah Teknologi, Vol. 5, No. 11, Februari 2009, ISSN 1858-4993, hal. 25-30.
  41. **Siswahyanti, Wibowo, H.B. Rochmadi.** 2008. Estimasi Suhu Udara, Titik Embun, dan Tekanan Udara Pilot Balon Berbasis Data Pengamatan Rawinsonda: Jurnal Ilmiah Teknologi, Vol. IV, No. 10, Oktober 2008, ISSN 18584993, hal. 12-17.
  42. **Wibowo, H.B.** 2007. Potensi Pabrikasi Propelan Homogen di Indonesia: Berita Dirgantara Vol. 8, No. 1, Maret 2007, ISSN 14118920, hal. 70-77.
  43. **Wibowo, H.B.** 2007. Polimerisasi Butadien dengan Katalis Hidrogen Peroksida Sistem Fasa Tunggal (Homogen): Jurnal Ilmiah Teknologi, Vol 3, No. 7, Oktober 2007, ISSN 18584993, hal. 25-32.
  44. **Wibowo, H.B.** 2006. Raney Catalyst for Continuous Process Simulation on Reduction Nitrotoluene: Jurnal IPTEK Material Jurnal Material, Vol. 6, No. 1, Desember 2006, hal. 16-20.
  45. **Wibowo, H.B.** 2006. Reactor Selection Hydrogenation of Dinitrotoluene: Jurnal IPTEK Material Jurnal Material, Vol. 6, No. 1, Desember 2006, hal. 33-37.
  46. **Wibowo, H.B.** 2006. Aplikasi Teori Flory Pada Kinetika Reaksi Pembentukan Poliuretan: Jurnal Iptek Material, Vol. 5, No. 2, Juni 2006, ISSN 14122898, hal. 44-49.

47. **Wibowo, H.B.** 2005. Pembuatan Elastomer Styren-Butadiene Rubber (SBR) Secara *Graft Polyblending*: Jurnal Iptek Material, Vol. 5, No. 1, Desember 2005, ISSN 14122898, hal. 38-45.
48. **Wibowo, H.B.** 2005. Activity Concept Approach on Non Ideal Polymerization Mechanism of Butadiene: Jurnal Iptek Material, Vol. 4, No. 2, Juni 2005, ISSN 14122898, hal. 17-22.
49. **Wibowo, H.B.** 2004. Aktivasi Litium Sebagai Katalisator Pada Reaksi Pembentukan HTPB: Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 2, No. 2, 2004, ISSN 14128063, hal. 89-94.
50. **Wibowo, H.B.** 2004. Penentuan Fraksi Terlarut Butadien dalam Tabung untuk Sistem Butadien-Pelarut-Inisiator: Jurnal Iptek Material, Vol. 4, No. 1, Desember 2004, ISSN 14122898, hal. 12-20.
51. **Wibowo, H.B.** 2004. Analisis Baku Mutu Bahan Isosianat untuk Curing Agent Propelan: Jurnal Iptek Material, Vol. 3, No. 2, Juni 2004, ISSN 14122898, hal. 27-33.
52. **Wibowo, H.B.,** Geni R, dan Henny S. 2003. Pengembangan Perekat Tahan Panas Poliuretan dari Minyak Kelapa Sawit Curah (CPO) IV: Jurnal Iptek Material, Vol. 2, No. 2, Juli 2003, ISSN 14122898, hal. 32-36.
53. **Wibowo, H.B.** dan Tri Yoga. 2003. Pembuatan Epoksida dari Ester CPO. I. Studi Kinetika Reaksi: Jurnal Iptek Material, Vol. 2, No. 2, Juli 2003, ISSN 14122898, hal. 12-19.
54. **Wibowo, H.B.** dan Tri Yoga. 2003. Pembuatan Epoksida dari CPO. 2. Sifat Mekanik Elastomer dengan Adanya Sisipan Epoksida CPO: Jurnal Iptek Material, Vol. 2, No. 2, Juli 2003, ISSN 14122898, hal. 25-30.

55. **Wibowo, H.B.**, Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa. 2003. Kinetika Reaksi Polimeriasi Pembentukan Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan TDI (Toluen Diisosiyanat): Pengaruh Berat Molekul Rata-Rata: *Jurnal Iptek Material*, Vol. 3, No. 1, Desember 2003, ISSN 14122898, hal 50-56.
56. **Wibowo, H.B.** 2001. Perkiraan Impuls Jenis (Isp) Propelan Komposit Padat, Berdasarkan Pengaruh *Binder Sistem*: *Jurnal Iptek Material*, Vol. 1, Desember 2001, ISSN 1412-2898, hal. 12-17.
57. **Wibowo, H.B.** Henny S., dan Sumargono. 2000. Penentuan Waktu Crosslink Optimum *Fuel Binder* Propelan Berdasarkan Distribusi Viskositas: *Jurnal Antariksa* Vol. 1 No. 1, Maret 2000, ISSN 14115042, hal. 120-129.
58. **Wibowo, H.B.**, Rochmadi, dan Hary Sulisty. 2000. Polimerisasi Butadien secara Emulsi: *Majalah LAPAN*, Vol. 2, No. 3, Juli 2000, ISSN 01260480, hal. 322-329.
59. **Wibowo, H.B.** 1999. Perkiraan Nilai Difusivitas Polibutadien pada Berbagai Pelarut Menggunakan Teori Volume Bebas: *Warta LAPAN*, Vol. 1, No. 2, April 1999, ISSN 01269754, hal. 19-25.

### **Prosiding**

60. **Wibowo, H.B.**, Sanggra, R., 2016. Non Energetic Binder Application for RDBP Propellant Based Large Caliber Munition: International Seminar ISAST IV, Bali 2016, ISBN 9786026465030, hal. 33-39.
61. **Wibowo, H.B.** 2015. Formulasi Propelan Formulasi Propelan Padat Menggunakan HTPB Lokal Untuk Mendapatkan Komposisi Propelan Yang Memenuhi Persyaratan Proses Produksi: Prosiding JASAKIAI,



- Yogyakarta, 21 November 2013, ISSN 08544778, hal 223-229.
62. **Wibowo, H.B.** 2015. Pengembangan Propelan Mandiri untuk Roket Komposit: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta 21 November 2013, ISSN 08544778, hal. 157-162.
  63. **Wibowo, H.B.** 2013. Peningkatan Kinerja Propelan Berbasis HTPB Lokal dengan Mengatur Struktur HTPB: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta 21 November 2013, ISSN 08544778, hal. 223-229.
  64. **Wibowo, H.B.** 2012. Pengembangan Metode Uji Struktur TDI (*Toluene Diisocyanate*) Dengan FTIR (Fourier Transform Infra Red): Prosiding SIPTEKGAN XVI, Jakarta, Tahun 2012, hal. 120-129.
  65. **Wibowo, H.B.** 2012. Disain Dan Rekayasa Reaktor Proses Pembuatan Nitrogliserin: Prosiding SIPTEKGAN XVI, Tahun 2012, Jakarta, hal. 122-129.
  66. **Wibowo, H.B.** 2012. Disain Dan Rekayasa Reaktor Proses Pembuatan Nitrogliserin: Prosiding SIPTEKGAN XVI, Jakarta, Tahun 2012, hal. 200-208.
  67. **Wibowo, H.B.** 2011. Pengembangan *Keramik Slip Casting* untuk Blastube Motor Roket: Prosiding Seminar Nasional Keramik, Bandung, 20 Juli 2011, ISSN 20889828, hal. 105-110.
  68. **Wibowo, H.B.** 2011. Penentuan Sifat Mekanik Elastomer Poliuretan dengan Pendekatan Ikatan Molekuler: Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia 2011, Serpong 24 Mei 2011, ISSN 20889828, hal. 112-129.
  69. **Wibowo, H.B.** 2011. Pembuatan Nitroselulosa dan Mekanisme Hasil Reaksi Nitrasasi Selulosa: Seminar Nasional Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri (SNPPTI), Jakarta, 2010, ISSN 20862156, hal. 497-502.

70. **Wibowo, H.B.** 2011. Pembuatan Nitroselosa Sebagai Bahan Baku Propelan *Double Base*: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 15 Juli 2010, ISSN 08544778, hal. 772-779.
71. **Wibowo, H.B.** 2011. Analisis Ketidakstabilan Pembakaran (*Chuffing*) pada Propelan *Double Base*: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional UNPAM Tahun 2011, Pamulang, ISSN 9772086796002, hal. 45-49.
72. **Wibowo, H.B.** 2011. Pengaruh Formulasi Terhadap Kecepatan Pembakaran Propelan *Double Base*: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional UNPAM Tahun 2011, Pamulang, ISSN 9772086796002, hal. 12-20.
73. **Wibowo, H.B.** 2011. Penentuan Komposisi Butiran AP Untuk Mendapatkan Komposisi Optimum pada Propelan Padat Menggunakan Teori Volume Kantung (*Pocket Volume Theory*): Prosiding SIPTEKGAN XV-2011, Jakarta, November 2011, ISBN 9789791458511, hal. 36-42.
74. **Wibowo, H.B.** 2011. Karakteristik Viskoelastisitas *Binder* Propelan Komposit Mandiri Berbasis HTPB: Prosiding SIPTEKGAN XV-2011, Jakarta, November 2011, ISBN 9789791458511, hal. 220-228.
75. **Wibowo, H.B.** 2011. Penentuan Area Pengujian Pembakaran Propelan Roket yang Aman: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 16 Juni 2011, ISSN 08544778, hal. 120-129.
76. **Wibowo, H.B.** 2011. Upaya Meningkatkan Berat Jenis Propelan *Double Base* untuk Mendapatkan Energi Pembakaran yang Optimum: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 16 Juni 2011, ISSN 08544778, hal. 130-138.
77. Kendra Hartaya, Geni R., **Wibowo, H.B.**, dan Mabe Siahaan. 2010. Rekayasa Nosel Roket Alumina: Prosiding seminar nasional keramik IX, Bandung 14 Juli 2010, ISSN 16937163, hal. 33-38.

78. **Wibowo, H.B.** 2010. Penentuarr Ikatan Silang Poliuretan Berdasarkan Data Kinetiknya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 15 Juli 2010, ISSN 08544778, hal. 515-520.
79. **Wibowo, H.B.** 2010. Peningkatan Kerapatan Propelan dengan Optimasi Kondisi *Casting*: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 11 November 2010, ISSN 08544778, hal. 28-33.
80. **Wibowo, H.B.** 2010. Perubahan Kesempurnaan Morfologi Grain Propelan dengan Penambahan *Plasticizer*: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 11 November 2010, ISSN: 08544778, hal. 571-578.
81. **Wibowo, H.B.** 2010. Pemilihan Material Absorber Untuk Pengambilan Inhibitor Butadien Segar: Prosiding SIPTEKGAN XIV-2010, Jakarta, November 2010, ISSN 9789791458429, hal. 98-103.
82. **Wibowo, H.B.** 2010. Upaya Mendapatkan Distribusi Berat Molekul Yang Sempit: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Universitas Pamulang ke-1 Tahun 2010, Tangerang, ISSN 9772086796002, hal. 228-232.
83. **Wibowo, H.B.** 2010. Pemilihan Stabiliser yang Tidak Sensitif Terhadap Kecepatan Bakar Propelan: Prosiding SIPTEKGAN XIV-2010, Jakarta, November 2010, ISSN 9789791458429, hal. 296-302.
84. **Wibowo, H.B.** 2010. Uji Kelayakan Pembuatan Butadien Dari Gas LPG (Liquid Petroleum Gas): Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Universitas Pamulang ke-1 Tahun 2010, Tangerang, ISSN 9772086796002, hal. 33-39.
85. **Wibowo, H.B.** 2010. Pengujian Kelayakan Disain Pembuatan Buadien dari Butana: Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Universitas Pamulang ke-1 Tahun 2010, Tangerang, ISSN 9772086796002, hal. 45-49.

86. **Wibowo, H.B.** 2010. Penentuan Kualitas Nitroselulosa Secara Volumetri: Seminar Nasional Pengkajian dan Penerapan Teknologi Industri (SNPPTI) 2010, Jakarta, ISSN 772086796002, hal. 166-170.
87. **Wibowo, H.B.** 2009. Pembentukan Senyawa HTPB dengan Katalis Hidrogen Peroksida Sistem Redoks: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 03 Desember 2009, ISSN 08544778, hal. 55-59.
88. **Wibowo, H.B.** 2009. Polimerisasi Butadien Menjadi Polibutadien dalam Sistem Multi Fase Suhu Tinggi: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 03 Desember 2009, ISSN 08544778, hal. 120-129.
89. **Wibowo, H.B.** 2009. Penentuan Kualitas Nitrogliserin Secara Volumetri Sederhana dengan Analisis Struktur Komponen Penyusunnya: Prosiding SIPTEKGAN XIII Tahun 2009, ISBN 9789791458306, hal. 88-94.
90. **Wibowo, H.B.** 2009. Pengembangan Propelan Roket Berbasis Amonium Nitrat yang Aman untuk Mempelajari Karakteristik Propelan: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 6 Agustus 2009, ISSN 08544778, hal. 347-352.
91. **Wibowo, H.B.** 2009. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Yield DNT Hasil Nitration Toluene: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 6 Agustus 2009, ISSN 08544778, hal. 56-62.
92. **Wibowo, H.B.** 2009. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Yield Nitrogliserin Sebagai Bahan Baku Propelan *Double Base*: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 6 Agustus 2009, ISSN 08544778, hal. 120-129.
93. **Wibowo, H.B.** 2009. Pembuatan Nitrogliserin dan Mekanisme Hasil Reaksi Nitration Gliserol: Prosiding SIPTEKGAN XIII Tahun 2009, ISBN 9789791458306, hal. 27-33.
94. **Wibowo, H.B.** 2008. Preparation of Toluene

Diisocyanate from Foramida: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 12 Desember 2008, ISSN 08544778, hal. 77-83.

95. **Wibowo, H.B.** 2008. Non Phosgen Isocyanate Formation Route with Two Step Reaction from Amine: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, Desember 2008, ISSN 08544778, hal. 78-85.
96. **Wibowo, H.B.** 2008. The Kinetic Parameter Determination on Nitration of Toluene: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 14 Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 77-85.
97. **Wibowo, H.B.** 2008. Decomposition of Carbamat to Form Toluidyne Diisocyanate (TDI) Green Chemistry Route Design: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 14 Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 23-29.
98. **Wibowo, H.B.** 2008. Pengaruh Berat Molekul Terhadap Reaksi Pembentukan Poliuretan: Prosiding SIPTEKGAN XI-2007, 15 Nopember 2007, ISBN 97897814580805, hal. 70-79.
99. **Wibowo, H.B.** 2008. Vapor Phase for Nitration of Toluene: Prosiding SIPTEKGAN XII-2008, Jakarta, 12 Nopember 2008, ISBN 9789781458191, hal. 33-39.
100. **Wibowo, H.B.** 2008. Prospek Ekonomis Produksi Bahan Strategis (Bahan Baku Propelan Roket Padat LAPAN): Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 227-232.
101. **Wibowo, H.B.** 2008. Bahan Strategis untuk Mesiu, Propelan, dan Munisi: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, Juni 2008, ISSN 08544778, hal. 809-812.
102. **Wibowo, H.B.** dan Handoko. SR. 2008. Unjuk Kerja Roket Uji Muatan (RUM) dengan menggunakan bahan

- bakar propelan komposit: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta Desember 2008, ISSN 08544778, hal. 98-102.
103. **Wibowo, H.B.** 2008. Pengaruh Berat Molekul Terhadap Reaksi Pembentukan Poliuretan: Prosiding SIPTEKGAN XI-2007, Nopember 2007, ISBN 97897814580805, hal. 17-25.
  104. **Elly R dan Wibowo, H.B.** 2005. Nilai Kalor Poliuretan Dari TDI dan Minyak Jarak Sebagai *Binder* Propelan: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 13 Agustus 2005, ISSN 08544778, hal. 120-129.
  105. **Wibowo, H.B.** 2005. Pemanfaatan Poliuretan dari HTPB dan TDI Sebagai Pelapis Dasar *Colour Printing* Bahan Keramik: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 14 Agustus 2005, ISSN 08544778, hal. 120-129.
  106. **Wibowo, H.B.** 2004. Molecular Controll of Molecular Weight Distribution on Polyurethane Forming: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, Desember 2004, ISSN 08544778, hal. 212-219.
  107. **Wibowo, H.B.** 2004. Polimerisasi Anionik Butadien Secara *Bulk* untuk Mendapatkan HTPB dengan Distribusi Berat Molekul yang Lebih Sempit: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, Desember 2004 ISSN 08544778, hal. 219-224.
  108. **Wibowo, H.B.** 2004. Pemilihan Material Penyusun *Fuel Binder* Propelan Berdasarkan Panas Pembakaran: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 17-18 Maret 2004, hal. 179-185.
  109. **Wibowo, H.B.** 2004. Perkiraan Isp Propelan Berdasarkan Struktur Kimianya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 2-3 Juli 2004, ISSN 979984, hal. 21-28.
  110. **Wibowo, H.B.** 2004. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Sifat Mekanik *Binder* Poliuretan Berbasis HTPB:

Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 12-13 Desember 2004, hal. 112-120.

111. **Wibowo, H.B.** 2004. Pembuatan Perekat dari Poliuretan Berbasis Minyak Jarak: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 12-13 Desember 2004, ISSN 979984, hal. 121-128.
112. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2004. Aplikasi Spektrometer Infra Merah (IR) untuk Mempelajari Kinetika Reaksi Polimerisasi Emulsi Butadien: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 2004, 12-13 Desember 2004, ISSN 979984, hal. 161-169.
113. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2004. Formulasi Filler untuk Meningkatkan Performansi Perekat dari Minyak Jarak: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 23-24 Juli 2004, ISSN 08544778, hal. 178-182.
114. **Wibowo, H.B.** dan Henny, S. 2004. Pembuatan HTPB Spesifikasi *Fuel Binder* Propelan Padat dan Implementasi untuk Industri Polimer: Seminar SIPTEKGAN VIII-2004, Jakarta, ISBN 9798554779, hal. 39-45.
115. **Wibowo, H.B.** dan Henny S. 2004. Polimerisasi Butadiena Secara Anionik dengan Menggunakan Katalis Yang Didispersikan dalam Serbuk Karbon: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, Desember 2004, ISSN 14108313, hal. 122-129.
116. **Wibowo, H.B.,** I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati. 2004. Kinetika Reaksi Polimerisasi Pembentukan Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholis dan TDI (Toluen Diisosiyanat). Pengaruh Ikatan Silang: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, Yogyakarta, 27-28 Januari 2004, hal. 216-220.
117. **Wibowo, H.B.,** I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati. 2004. Perbaikan Sifat Mekanik Elastomer Poliuretan dari Minyak Jarak dengan Alkoholisis:

Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, Yogyakarta, 27-28 Januari 2004, hal. 221-225.

118. Elly R dan Wibowo, H.B. 2003. Pengembangan Perekat Tahan Panas Poliuretan dari Minyak Kelapa Sawit Curah (CPO) V. Kinetika Reaksi Gliserolisis CPO untuk Mendapatkan Monogliserid: Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta, 8-9 April 2003, ISSN 08544778, hal. 66-72.
119. Wibowo, H.B. dan, Elly R. 2003. Pengembangan Perekat Tahan Panas Poliuretan dari Minyak Kelapa Sawit Curah (CPO) VI. Studi Banding Reaksi-Reaksi Alkoholisasi CPO untuk Mendapatkan Monogliserid: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 8-9 April 2003, ISSN 0854-4778, hal. 88-92.
120. Wibowo, H.B., Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa. 2003. Kinetika Reaksi Polimerisasi Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan Toluena Diisosiannya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 16-17 Desember 2003, ISSN 08544778, hal. 100-105.
121. Wibowo, H.B., Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa. 2003. Kinetika Reaksi Polimerisasi Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan Toluena Diisosiannya: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 16-17 Desember 2003, ISSN 08544778, hal. 100-105.
122. Wibowo, H.B., 2003. Kemungkinan Penggunaan Poliuretan dari Minyak Jarak Sebagai *Fuel Binder* Propelan Padat: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 16-17 Desember 2003, ISSN 08544778, hal. 205-211.
123. Elly R dan Wibowo, H.B. 2002. Unjuk Kerja Poliuretan dari Minyak Jarak sebagai Perekat: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 26-27 Maret 2002, ISSN 08544778, hal. 66-71.



124. Elly R dan **Wibowo, H.B.** 2002. Penggunaan Minyak Jarak sebagai Pelapis Primer Pengecatan (*Primer Coating*): Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 23-24 Juli 2002, ISSN 08544778, hal. 89-96.
125. Elly R dan **Wibowo, H.B.** 2002. Pengembangan Perekat Tahan Panas Poliuretan dari Minyak Kelapa Sawit Curah (CPO). I. Kinetika Reaksi Alkoholisis CPO dengan Sodium Hidroksid: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 22-23 Oktober 2002, ISSN 08544778, hal. 67-74.
126. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2002. Pemanfaatan Poliuretan Sebagai Matriks untuk Perekat Konduktor: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 26-27 Maret 2002, ISSN 08544778, hal. 67-75.
127. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2002. Pengembangan Perekat Tahan Panas Poliuretan dari Minyak Kelapa Sawit Curah (CPO). II. Kinetika Reaksi Alkoholisis Sebagian (Partially Alcoholysis) CPO dengan Sodium Hidroksid: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 22-23 Oktober 2002, ISSN 08544778, hal. 90-99.
128. **Wibowo, H.B.**, Sri Warnijati, Rochmadi, dan I Made Bendiyasa. 2002. Poliuretan dari Minyak Jarak Teralkoholisasi dan Toluena Diisosiannya. I. Kinetika Reaksi dengan Pendekatan Larutan Ideal: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 23-24 Juli 2002, ISSN 08544778, hal 178-188.
129. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2001. Pengaruh Jenis Diisosiannya Terhadap Sifat mekanik Poliuretan Berbasis HTPB dalam Rangka Pemilihan Komposisi Propelan Komposit Padat: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 27-28 Maret 2001, ISSN 08544778, hal. 207-206.
130. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2001. Polisiloksan Sebagai Bahan Alternatif *Binder* Propelan Komposit Padat Triple

Base: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 27-28 Maret 2001, ISSN 08544778, hal. 190-198.

131. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2001. Bahan-Bahan Polimer untuk Perekat Suhu Tinggi: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 27-28 Maret 2001, ISSN 08544778, hal. 78-82.
132. Elly R dan **Wibowo, H.B.** 2001. Perbaikan Mutu Elastomer Poliuretan dari Minyak Jarak dengan Penambahan Glikol dan Gliserol: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 6-7 November 2001, ISSN 08544778, hal. 120-128.
133. **Wibowo, H.B.** dan Elly R. 2001. Penentuan Berat Molekul Rata-Rata dalam Reaksi Pembentukan Komposit Poliuretan Triol Diisositrat: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 6-7 November 2001, ISSN 08544778, hal. 38-45.
134. **Wibowo, H.B.**, I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati. 2001. Perkiraan Impuls Jenis (Isp) Propelan Komposit Padat I. Pemilihan Jenis Bahan Pengikat Propelan: Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan 2001, Yogyakarta, 30-31 Januari 2001, ISSN 08544778, hal. 167-172.
135. **Wibowo, H.B.**, I Made Bendiyasa, Rochmadi, dan Sri Warnijati. 2001. *Pot Life* Poliuretan dari HTPB untuk Propelan Komposit Padat. Pengaruh Diisositrat yang Digunakan: Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan 2001, Yogyakarta, 30-31 Januari 2001, ISSN 08544778, hal. 108-116.
136. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2000. Kinetika Polimerisasi Butadien Secara Emulsi dengan Inisiator  $H_2O_2/Fe(II)$ : Prosiding Seminar Nasional JNK Jakarta, Januari 2000, ISSN 08546541, hal. 81-84.

137. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2000. Perkiraan *Pot Life Fuel Binder* Propelan Dasar Poliuretan Berdasarkan Distribusi Viskositas: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta 21-22 November 2000, ISSN 08544778, hal. 67-77.
138. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 2000. Perkiraan Koefisien Aktivitas Larutan Polimer Dengan Metode UNIFAC Termodifikasi: Prosiding JASAKIAI Yogyakarta, 21-22 November 2000, ISSN 08544778, hal. 322-329.
139. Rosita, G. dan **Wibowo, H.B.**, 1994. Pengaruh Suhu Terhadap Sifat Mekanik Poliuretan: Prosiding Program Penelitian Dirgantara dan Kolokium LAPAN, Jakarta, Januari 1994, ISBN 9798554, hal. 49-54.
140. **Wibowo, H.B.** dan Elly, R. 1994. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Poliuretan Berbasis HTPB untuk Propelan Padat: Prosiding Lomba Karya Ilmiah Terbaik 1994 No 2/ANSIS/94, Jakarta, ISBN 9798554000, hal. 14-20.
141. **Wibowo, H.B.** dan Rosita, G. 1994. Pembuatan Polistirena dengan Mekanisme Anionik dengan Inisiator Sodium Naftalena: Prosiding Program Penelitian Dirgantara dan Kolokium LAPAN, Januari 1994, ISBN 9798554, hal. 70-78.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### A. Data Pribadi

1. Nama Lengkap : Heri Budi Wibowo
2. Tempat /tgl Lahir : Boyolali 21 Juni 1969
3. Anak ke : 7 (Tujuh)
4. Nama Ayah Kandung : Suwandi
5. Nama Ibu Kandung : Sumiyati
6. Nama Istri : Eni Ratna Okasari
7. Jumlah Anak : 3 (Tiga)
8. Nama Anak : 1. Ratih Sanggra Murti Wibowo  
2. Pramesti Kusumadini Wibowo  
3. Herjuna Suryawan Wibowo
9. Nama Instansi : Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
10. Judul Orasi : Sistem Formulasi Propelan Terpadu untuk Mendukung Pengembangan Roket
11. Bidang Kepakaran : Propelan, Piroteknik, dan Material Penahan Panas
12. No. SK Pangkat Terakhir IV/d : Nomor 49/K tahun 2016, 10 November 2016
13. No. PAK Peneliti Utama Golongan IV/e : Nomor 1352/D.1/XII/2016, 31 Desember 2016

**B. Pendidikan Formal**

No	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN Karanggede	Boyolali, Indonesia	1983
2.	SMP	SMP1 Karanggede	Boyolali, Indonesia	1986
3.	SMA	SMA1 Boyolali	Boyolali, Indonesia	1989
4.	S1	UGM	Yogyakarta, Indonesia	1991
5.	S2	UGM	Yogyakarta, Indonesia	1995
6.	S3	UGM	Yogyakarta, Indonesia	1997

**C. Jabatan Struktural**

No	Tahun	Nama Jabatan/ Eselon	Nama Instansi
1.	2007-2010	Kepala Bidang Material Dirgantara/IVa	LAPAN

#### **D. Jabatan Fungsional**

<b>No.</b>	<b>Jenjang Jabatan</b>	<b>TMT Jabatan</b>
1.	Peneliti Pertama (Gol. III/a)	1 Maret 1995
2.	Peneliti Pertama (Gol. III/b)	1 Februari 1999
3.	Peneliti Muda (Gol. III/c)	1 Januari 2000
4.	Peneliti Muda (Gol. III/d)	1 September 2004
5.	Peneliti Madya (Gol. IV.a)	1 Januari 2005
6.	Peneliti Madya (Gol. IV/b)	1 Oktober 2009
7.	Peneliti Madya (Gol. IV/c)	1 Maret 2012
8.	Peneliti Utama (Gol. IV/d)	1 Oktober 2014
9.	Peneliti Utama (Gol. IV/e)	1 November 2016

#### **E. Karya Tulis Ilmiah**

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Penulis</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Penulis Tunggal	69
2.	Penulis Utama	46
3.	Penulis bersama Penulis lainnya	26
<b>Total</b>		<b>141</b>

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Bahasa</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Karya Tulis dalam bahasa Inggris	5
2.	Penulis Tulis dalam bahasa Indonesia	136
<b>Total</b>		<b>141</b>

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Publikasi</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Buku	11
2.	Jurnal Ilmiah	35
3.	Prosiding	82
<b>Total</b>		<b>128</b>

**F. Paten/Hak Cipta**

<b>No.</b>	<b>Kualifikasi Bahasa</b>	<b>Jumlah</b>
1.	Paten	13
<b>Total</b>		<b>13</b>

**G. Pembinaan Kader Ilmiah**

<b>No</b>	<b>Universitas/PT Tempat Membimbing</b>	<b>Jumlah yang Dibimbing</b>	<b>Tahun Membimbing</b>
1.	Program Sarjana S1, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan	8 mahasiswa	2005-2007
2.	Program Sarjana S2, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan	6 mahasiswa	2007-2009

<b>No</b>	<b>Universitas/PT Tempat Membimbing</b>	<b>Jumlah yang Dibimbing</b>	<b>Tahun Membimbing</b>
3.	Program Sarjana S2, Universitas Krisnadwipayana, Jakarta	16 mahasiswa	2010-2012
4.	Program Sarjana S3 Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta	1 mahasiswa	2012-2015
<b>H. Editor Majalah/Prosiding</b>			
<b>No</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Majalah/Prosiding</b>	<b>Tahun</b>
1.	Komite Makalah	Prosiding JASAKIAI	2008–2010
2.	Komite Makalah	Prosiding SIPTEKGAN	2008-2015
3.	Komite Makalah	Prosiding ISAST	2014-2017
4.	Editor	Jurnal Iptek Material	2006-2010
5.	Editor	Jurnal Antariksa	2008-2010
6.	Editor	Majalah GAMATECH	2010
7.	Reviewer	Jurnal Teknologi Dirgantara	2014-2015
8.	Chief Editor	Jurnal Teknologi Dirgantara	2016-2017
9.	Reviewer	Majalah Sains dan Dirgantara	2010-2014



**I. Organisasi Profesi**

No	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Ikatan Dosen Indonesia	2008-2015
2.	Anggota	Himpunan Kimia Indonesia	2014- Sekarang
3.	Ketua Cabang	Himpenindo Cabang LAPAN	2016- Sekarang

**J. Tanda Penghargaan**

No	Pejabat/Instansi yang Memberikan	Nama/Jenis Penghargaan	Tahun
1.	Kepala LAPAN	Peneliti Terbaik LAPAN	2000
2.	Presiden RI	Satya Lencana Karya Satya X Tahun	1999
3.	Presiden RI	Satya Lencana Karya Satya XX Tahun	2009