

PEMODELAN KIMIA KOMPUTASI

Bayu Prianto

Peneliti Bidang Material Dirgantara, LAPAN

RINGKASAN

Sejak lahirnya penemuan mekanika kuantum, dalam ilmu kimia berkembang bidang baru yaitu kimia komputasi. Kimia komputasi adalah cabang kimia yang menggunakan hasil kimia teori yang diterjemahkan ke dalam program komputer untuk menghitung sifat-sifat molekul dan perubahannya. Kimia komputasi dapat pula melakukan simulasi terhadap sistem-sistem besar (seperti gas, cairan, padatan, dan kristal cair), dan menerapkan program tersebut pada sistem kimia nyata. Pemodelan kimia komputasi dapat membantu para kimiawan untuk : (1) Mendesain awal proses reaksi sintesis, (2) Mempelajari dan menjelajahi mekanisme reaksi, (3) Melakukan simulasi reaksi dalam komputer, dan (4) Menentukan sifat-sifat dari molekul pereaksi maupun produk yang dihasilkan.

1 PENDAHULUAN

Sejak dahulu kimia terkenal sebagai bidang ilmu yang berlandaskan pada percobaan/eksperimen. Karena memang semua penjelasan-penjelasan ilmiah yang dipaparkan selalu dilandaskan pada hasil percobaan. Dalam arti bahwa pemahaman kimia atau teori-teori baru timbul setelah melakukan pengamatan terhadap hasil-hasil percobaan. Begitu pula dengan bidang fisika, semua teori-teori baru timbul setelah melakukan pengamatan terhadap hasil-hasil percobaan.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, ilmu fisika mengalami perkembangan yang cukup pesat. Banyak teori-teori baru ditemukan, seperti penemuan bahwa partikel dapat bersifat seperti gelombang, atau sebaliknya gelombang dapat bersifat seperti partikel, sampai pada penemuan mekanika kuantum, dengan persamaannya yang terkenal adalah persamaan Schrödinger. Persamaan Schrödinger yang dihasilkan tersebut merupakan jantung bagi kebanyakan ilmu modern. Bentuk persamaan Schrödinger yang paling sederhana adalah

$$H\Psi = E\Psi \quad (1-1)$$

Semua penemuan tersebut di atas hanya berlaku bila suatu partikel berukuran kecil dan memiliki energi yang kecil pula.

Sejak saat itu, pemahaman ilmu kimia tidak hanya terjadi karena pengamatan hasil-hasil percobaan, tetapi juga pengembangan teori mekanika kuantum, yaitu untuk meramalkan sifat-sifat dari suatu atom ataupun molekul. Akan tetapi, penyelesaian persamaan mekanika kuantum tidaklah mudah jika hanya menggunakan kalkulator tangan. Seiring dengan perkembangan ilmu komputer, maka kemampuan dari suatu komputer dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan persamaan mekanika kuantum. Hal ini menyebabkan lahir subbidang baru yaitu kimia komputasi yang merupakan bagian dari kimia teori.

2 PENGERTIAN KIMIA KOMPUTASI

Kimia komputasi adalah cabang kimia yang menggunakan hasil kimia teori yang diterjemahkan ke dalam program komputer untuk menghitung sifat-sifat molekul dan perubahannya. Kimia komputasi dapat pula melakukan simulasi terhadap sistem-sistem besar (atau banyak molekul protein gas, cairan, padatan, dan kristal cair), dan menerapkan program tersebut pada sistem kimia nyata. Contoh sifat-sifat molekul yang dihitung antara lain struktur atom, energi dan selisih energi, muatan, momen dipol, kereaktifan, frekuensi getaran dan besaran spektroskopi lainnya. Simulasi terhadap makromolekul (seperti protein dan asam nukleat) dan sistem besar bisa

mencakup kajian konformasi molekul dan perubahannya (mis. proses denaturasi protein), perubahan fasa, serta peramalan sifat-sifat makroskopik (seperti kalor jenis) berdasarkan perilaku di tingkat atom dan molekul. Istilah *kimia komputasi* kadang-kadang digunakan juga sebagai ilmu komputer dan kimia. Oleh karena itu para kimiawan komputasi dituntut untuk dapat mengembangkan *hardware* maupun *software* dalam meningkatkan kemampuan komputer untuk menyelesaikan permasalahan kimia, serta untuk dapat mengubah data hasil perhitungan komputer menjadi data yang dapat divisualisasikan (seperti bentuk molekul) sehingga lebih mudah dipahami oleh para kimiawan lainnya.

Istilah kimia teori dapat didefinisikan sebagai deskripsi matematika untuk kimia, sedangkan kimia komputasi biasanya digunakan ketika metode matematika dikembangkan dengan cukup baik untuk dapat digunakan dalam program komputer. Perlu dicatat bahwa kata "tepat" atau "sempurna" tidak muncul di sini, karena sedikit sekali aspek kimia yang dapat dihitung secara tepat. Hampir semua aspek kimia dapat digambarkan dalam skema komputasi kualitatif atau kuantitatif hampiran.

Kimia komputasi kini menjadi salah satu bidang dengan pertumbuhan tercepat dalam kimia. Walaupun terdapat spesialis dalam bidang ini, penerapan teknik-tekniknya oleh kimiawan dalam percobaan semakin meningkat sejalan dengan berkembangnya kemampuan *software*.

3 METODE KOMPUTASI MOLEKUL

Metode komputasi molekul tidak selalu menggunakan teori ikatan kimia modern dan mekanika kuantum seperti dijelaskan sebelumnya. Komputasi molekul, dapat dipakai untuk penanganan molekul yang kompleks, bila memakai teori ikatan kimia modern dan mekanika kuantum.

Selain itu, dikembangkan metode lain, yang tidak dilandasi oleh ikatan kimia modern dan mekanika kuantum. Misalnya, metode mekanika molekul, yang mengabaikan kehadiran elektron dalam molekul. Ikatan kimia tidak lagi diperhitungkan sebagai akibat interaksi elektron-

elektron, melainkan disederhanakan dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika klasik (hukum-hukum fisika klasik). Molekul dianggap tersusun atas atom-atom yang berinteraksi satu sama lain melalui model interaksi yang sesuai dengan hukum-hukum mekanika klasik (hukum-hukum fisika klasik).

Jadi metode komputasi molekul secara sistematis dapat digolongkan dalam berbagai pendekatan berikut :

- Metode mekanika molekul, metode ini menggunakan dasar hukum-hukum fisika klasik sebagai perhitungannya.
- Metode mekanika kuantum, metode ini menggunakan dasar hukum-hukum fisika kuantum sebagai perhitungannya.
 - Pendekatan teori struktur elektron
 - Metode semi empiris
 - Metode *ab initio*
 - Pendekatan teori fungsional kerapatan (DFT= *Density Functional Theory*)

Untuk mendapatkan hasil perhitungan komputasi dengan akurasi tinggi maka pada umumnya pendekatan yang digunakan (metode *ab initio*) adalah teori struktur elektron. Tetapi, pendekatan ini memiliki kekurangan, yaitu waktu perhitungan komputasinya lama dibandingkan dengan perhitungan yang menggunakan pendekatan mekanika molekul. Sedang Kelebihannya adalah pada umumnya menghasilkan perhitungan yang mendekati penyelesaian sebenarnya, karena semua pendekatan yang telah dibuat dapat dianggap cukup kecil secara numerik relatif terhadap penyelesaian sebenarnya. Secara umum, perhitungan dengan pendekatan struktur elektron (*ab initio*) memberikan hasil kualitatif yang sangat baik dan dapat memberikan kenaikan keakuratan hasil kuantitatif jika molekul yang dikaji semakin kecil.

Dalam metode struktur elektron ini menggunakan hukum mekanika kuantum sebagai dasar komputasinya.

4 PEMODELAN MOLEKUL

Model didefinisikan sebagai gambaran sederhana atau gambaran ideal dari suatu

sistem atau proses, seringkali dalam bentuk persamaan matematika, atau perencanaan yang digunakan untuk memfasilitasi perhitungan dan prediksi. Oleh karena itu pemodelan molekul tersebut terkait dengan cara untuk meniru perilaku molekul dan sistem molekul. Jika dahulu pemodelan molekul cukup dengan menggunakan mekanika fisika klasik dengan menggunakan sebuah pensil, kertas, dan kalkulator tangan. Kini pemodelan molekul terkait erat dengan pemodelan komputer, karena komputasi telah mengevolusi pemodelan molekul menjadi lebih luas lagi, sehingga banyak perhitungan yang tidak dapat dilakukan tanpa menggunakan sebuah komputer.

Para kimiawan komputasi sering berusaha memecahkan persamaan Schrödinger non-relativistik, dengan penambahan koreksi relativistik, walaupun beberapa perkembangan telah dilakukan untuk memecahkan persamaan Schrödinger yang sepenuhnya relativistik. Pada prinsipnya persamaan Schrödinger dapat diselesaikan secara teoritis dengan bergantung-waktu atau tak-bergantung-waktu yang disesuaikan dengan masalah yang dikaji, tetapi pada prakteknya tidak mungkin kecuali untuk sistem yang amat kecil. Karena itu, sejumlah besar metode hampiran dikembangkan untuk mencapai kompromi terbaik antara ketepatan perhitungan dan biaya komputasi.

Dalam kimia teori, kimiawan dan fisikawan secara bersama-sama mengembangkan algoritma dan program komputer untuk memungkinkan peramalan sifat-sifat atom dan molekul, dan/atau lintasan reaksi untuk reaksi kimia, serta simulasi sistem makroskopis. Kimiawan komputasi kebanyakan "sekedarnya" menggunakan program komputer dan metodologi yang ada dan menerapkannya untuk permasalahan kimia tertentu. Di antara sebagian besar waktu yang digunakan untuk hal tersebut, kimiawan komputasi juga dapat terlibat dalam pengembangan algoritma baru, maupun pemilihan teori kimia yang sesuai, agar diperoleh proses komputasi yang paling efisien dan akurat.

Terdapat beberapa pendekatan yang dapat dilakukan:

- Kajian komputasi dapat dilakukan untuk menemukan titik awal untuk sintesis dalam laboratorium. Dalam arti bahwa ketika kita ingin mensintesis senyawa tertentu, banyak kemungkinan pereaksi yang dapat membentuk senyawa yang kita ingin sintesiskan tersebut. Begitu pula dengan pelarut, pelarut cukup banyak mempengaruhi reaksi. Peran komputasi disini adalah meramalkan dari sekian banyak pereaksi dan pelarut yang mungkin, pereaksi dan pelarut mana yang paling efektif dan efisien untuk membentuk senyawa yang kita inginkan. Sehingga para kimiawan tidak perlu melakukan *try and error* untuk mencari pereaksi dan pelarut yang efektif dan efisien untuk mensintesis senyawa yang kita inginkan.

Contoh :

Untuk sintesis Ammonium Perkhlorat (AP) (NH_4ClO_4)

Kemungkinan pereaksi yang mungkin :

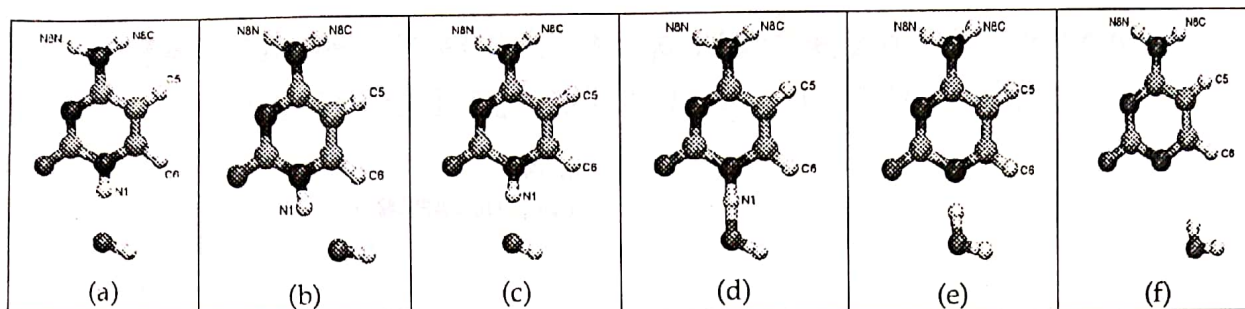
- NaClO_4 dengan NH_4Cl
- NaClO_4 dengan NH_4NO_3
- NaClO_4 dengan NH_4SO_4

maka dengan bantuan kimia komputasi, ternyata pereaksi NaClO_4 dengan NH_4Cl lebih efektif dan efisien untuk membentuk AP dilihat dari nilai kereaktifannya (nilai energi bebas Gibbs yang lebih kecil). Barulah kimiawan mensintesisnya dalam laboratorium, tanpa harus menguji dengan pereaksi-pereaksi yang lain.

- Kajian komputasi dapat digunakan untuk menjelajahi mekanisme reaksi dan menjelaskan pengamatan pada reaksi di laboratorium.

Contoh :

Proses penuaan dapat terjadi karena kerusakan pada basa DNA, kimiawan komputasi mengkajinya dengan mempelajari mekanisme kerusakan basa sitosin karena penyerangan radikal OH. Hasil simulasinya ditampilkan pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1: (a) hingga (f) adalah potongan-potongan gambar yang diambil dari video simulasi reaksi dehidrogenasi radikal OH terhadap molekul sitosin, reaksinya berlangsung selama 576 femto detik (576×10^{-15} detik)

- Kajian komputasi dapat digunakan untuk memahami sifat dan perubahan pada sistem makroskopis melalui simulasi yang berlandaskan hukum-hukum interaksi yang ada dalam sistem. Sifat-sifat molekul, seperti energi, struktur, momen dipol, keterpolaran, atau *hyperpolarizability* merupakan beberapa besaran yang dapat dihitung lewat perhitungan.

Terdapat beberapa bidang utama dalam topik kajian tersebut di atas, antara lain:

- Penyajian komputasi atom dan molekul.
- Pendekatan dalam penyimpanan dan pencarian spesi kimia (Basisdata kimia).
- Pendekatan dalam penentuan pola dan hubungan antara struktur kimia dan sifat-sifatnya (QSPR, QSAR).
- Elusidasi struktur secara teoritis berdasarkan pada simulasi gaya-gaya.
- Pendekatan komputasi untuk membantu sintesis senyawa yang efisien.
- Pendekatan komputasi untuk merancang molekul yang berinteraksi lewat cara-cara yang khusus, khususnya dalam perancangan obat.
- Simulasi proses transisi fasa
- Simulasi sifat-sifat bahan seperti polimer, logam, dan kristal (termasuk kristal cair).

5 KESIMPULAN

Kimia komputasi adalah salah satu cabang ilmu kimia yang kini menjadi salah satu bidang dengan pertumbuhan tercepat dalam kimia. Walaupun terdapat spesialis dalam

bidang ini, penerapan teknik-tekniknya oleh kimiawan percobaan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya kemampuan dan semakin murahannya komputer. Pemodelan kimia komputasi dapat membantu para kimiawan untuk : (1) Mendesain awal proses reaksi sintesis yang diinginkan, (2) Mempelajari dan menjelajahi mekanisme reaksi yang mungkin terjadi dari desain yang telah dibuat, (3) Melakukan simulasi reaksi dalam komputer, dan (4) Menentukan sifat-sifat dari molekul pereaksi maupun produk yang dihasilkan.

DAFTAR RUJUKAN

- Foresman, J. B., Frisch, A.E., 1993. *Exploring Chemistry with Electronic Structure Method*. 2nd edition. Gaussian, Inc., Pittsburg, PA, 3-7, 61-69, 97-99.
- Leach, Andrew R., 2001. *Molecular Modelling : Principles and Applications*. 2nd edition. Pearson Education Limited.
- Martoprawiro, Muhammad A., Grant & Richards, 1998. *Kimia Komputasi*. Penerbit ITB.
- Prianto, Bayu, 2005. *Irradiasi Sitosin : Studi Dehidrogenasi dengan Kehadiran Radikal OH Menggunakan Program CPMD*. Skripsi.

UPAYA KEMANDIRIAN AMMONIUM PERKHLORAT SEBAGAI BAHAN OKSIDATOR PROPELAN

Henny Setyaningsih
Peneliti Bidang Material Dirgantara, LAPAN

RINGKASAN

Ammonium Perkhlorat (AP) merupakan bahan oksidator propelan untuk bahan bakar roket padat. Saat ini Ammonium Perkhlorat yang dipakai LAPAN masih diimpor dari negara lain. Dengan adanya embargo bahan strategis dari negara lain, pasokan Ammonium Perkhlorat menjadi terhambat, sehingga AP yang dibutuhkan bergantung pada tersedianya bahan di pasar. Hal ini sangat mempengaruhi unjuk kerja propelan yang dihasilkan, karena spesifikasi bahan selalu berubah-ubah. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan upaya pembuatan Ammonium Perkhlorat, sehingga diharapkan ketersediaan dan spesifikasi bahan terjamin.

1 PENDAHULUAN

Salah satu bahan baku propelan padat sebagai bahan bakar roket yang dikembangkan LAPAN saat ini adalah Ammonium Perkhlorat. Fungsi dari Ammonium Perkhlorat adalah sebagai oksidator, yaitu penyedia oksigen untuk membakar fuel, dimana jumlahnya mencapai kurang lebih 80% dari berat propelan. Hingga saat ini pemenuhan kebutuhan akan AP di LAPAN banyak mengalami kendala. Selain harus diimpor, pengadaan bahan ini sering terhambat akibat kebijakan negara lain.

Pengalaman impor bahan baku Ammonium Perkhlorat oleh LAPAN menimbulkan masalah karena Ammonium Perkhlorat diperoleh dari negara yang berbeda-beda (Perancis, India, Cina dan lain-lain), ini bergantung pada tersedianya bahan di pasar. Beraneka macam bahan yang berasal dari negara yang berbeda-beda akan mengakibatkan spesifikasi bahan juga berbeda, bisa dari bahan pelapisnya, kemurnian dan juga ukuran butirannya. Hal ini mengakibatkan unjuk kerja propelan selalu berubah-ubah.

Untuk mengantisipasi persoalan tersebut, LAPAN khususnya Pusterapan dengan adanya Bidang Material Dirgantara telah memulai penelitian pembuatan Ammonium Perkhlorat. Dengan adanya Ammonium Perkhlorat buatan

LAPAN, diharapkan pemenuhan pasokan bahan dapat terjamin baik spesifikasinya maupun ketersediaan bahannya.

Upaya memproduksi sendiri bahan ini mempunyai konsekuensi biaya tinggi, karena investasi dan biaya produksi sangat mahal dibanding harga bahannya per kg di pasar, sebagai contoh biaya bahan saja dari NaCl menjadi NaClO₄ dibutuhkan biaya Rp.500.000,- sedangkan harga Ammonium Perkhlorat dipasar sekitar Rp.120.000,- (data harga import bahan LAPAN).

2 TINJAUAN UMUM

Ammonium Perkhlorat adalah oksidator yang biasa digunakan dalam pembuatan propelan. Fungsi utama oksidator adalah menyediakan oksigen untuk proses pembakaran fuel. Karakteristik oksidator akan mempengaruhi sifat balistik dan mekanik propelan. Untuk itu perlu diupayakan bahan oksidator yang mempunyai karakteristik yang tetap, sehingga sifat propelan akan konstan.

Ammonium Perkhlorat dibuat dari proses elektrolisis Sodium Klorida (NaCl) menjadi Sodium Klorat (NaClO₃) dan dilanjutkan dengan elektrolisis menjadi Sodium Perkhlorat (NaClO₄). Setelah proses elektrolisis selesai dilanjutkan proses amoniasi dengan

menambahkan Ammonium Khlorida (NH_4Cl) sehingga menjadi Ammonium Perkhlorat (NH_4ClO_4).

Dengan adanya penelitian pembuatan Ammonium Perkhlorat, maka akan didapat beberapa aspek yang menguntungkan Negara kita antara lain

- Ammonium Perkhlorat yang dihasilkan dapat mensuplai kebutuhan dalam negeri baik untuk keperluan persenjataan maupun kebutuhan industri. Dilihat dari fungsi propelan maka kedudukannya untuk persenjataan adalah sangat strategis, karena menyangkut pertahanan Negara.
- Kebutuhan bahan baku pembuatan Ammonium Perkhlorat sangat mudah ditemukan di pasar dalam negeri, dimana NaCl (garam) bisa disuplai dari PN Garam atau dari garam tambang. Permasalahan yang mendasar adalah dalam proses produksinya diperlukan teknologi dan biaya investasi yang besar, sehingga kalau dibuat untuk skala pabrik belum mencapai nilai ekonomis. Sehingga diperlukan "political will" dari Pemerintah untuk *memback-up* biaya investasi pendirian pabrik ini.
- Dengan diproduksinya Ammonium Perkhlorat di dalam negeri, maka ketergantungan dengan negara lain akan berkurang, sehingga kalau terjadi embargo dari negara lain, industri persenjataan dan pertahanan tetap berkembang.
- Ammonium Perkhlorat yang dihasilkan di samping untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dapat dijual ke negara lain, sehingga kemungkinan terjadi kerjasama dengan negara lain lebih terbuka.
- Di samping terhindar dari ketergantungan dengan negara lain, faktor kecepatan dan kemudahan dalam penyediaan bahan akan terpenuhi, hal ini akan lebih membuka peluang pengembangan industri persenjataan dan pertahanan di Indonesia.

3 TINJAUAN PROSES

Dalam pelaksanaan pembuatannya, Ammonium Perkhlorat dibuat melalui beberapa tahapan proses antara lain :

- Proses elektrolisis pada pembuatan AP dilakukan dalam dua tahap yaitu proses NaCl menjadi NaClO_3 dilanjutkan menjadi NaClO_4 . Dalam proses elektrolisis ini hal yang paling utama mempengaruhi hasil adalah jenis elektrode yang digunakan dalam sel, besarnya arus yang digunakan dan juga waktu yang diperlukan. Dalam elektrolisis ini digunakan sel tanpa diaphragma dengan elektrode platina dan *stainless steel*. Reaksi kimia pembentukan khlorat berlangsung bukan hanya di daerah dekat elektroda, tapi juga di seluruh sel. Sehingga dalam proses, larutan elektrolit disirkulasi dengan cepat melewati sel dan ditampung dalam satu penampung untuk memungkinkan reaksi berlangsung sempurna. Sekali terbentuk, khlorat sangat stabil dan elektrolit dapat diresirkulasikan ke dalam sel untuk memaksimalkan konsumsi klorida. Sel elektrolisis perkhlorat tidak jauh berbeda dengan sel khlorat, untuk elektrode juga sama yaitu platina dan *stainless steel*, namun *voltage* yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolisis khlorat. Hasil akhir dari elektrolisis ini dilakukan penghilangan dikromat yang ada di dalam larutan dan dilanjutkan dengan kristalisasi.
- Proses Ammoniasi
Ammoniasi adalah proses pembentukan Ammonium Perkhlorat menggunakan Ammonium Khlorida dalam bentuk larutan pada suhu 90°C , reaksi berlangsung cepat. Di dalam larutan tidak boleh ada Sodium Khlorat, karena akan terbentuk Amonium Khlorat yang pada suhu 106°C menjadi senyawa yang tidak stabil setelah melalui proses kristalisasi maka didapat kristal Ammonium Perkhlorat yang siap untuk dilakukan proses *coating*.
- Proses *Coating*
Proses *coating* adalah pelapisan kristal Ammonium Perkhlorat dengan senyawa lain yang dapat membentuk ikatan kimia dengan Ammonium Perkhlorat. Senyawa yang dapat digunakan adalah amine yang memiliki tingkat kebasaan tertentu sehingga dapat bereaksi dengan Ammonium perkhlorat

dengan cara menggantikan posisi ammonia pada ammonium perkhlorat. Dari sekian jenis senyawa amine, amino silane merupakan jenis yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan jenis lain, yaitu dengan adanya gugus trifungsional dan memiliki kemampuan untuk membentuk *crosslinked siloxan coating*. *Coating* yang merupakan hasil *crosslinking* ini sangat menguntungkan karena partikel yang dilapisi tidak saling menempel satu dengan lainnya, di samping itu pelapis siloxan ini ternyata juga bisa meningkatkan kecepatan pembakaran propelan.

4 UPAYA KEMANDIRIAN AMMONIUM PERKHLORAT

Keberhasilan dari upaya kemandirian Ammonium Perkhlorat ditentukan oleh:

- Kemauan politik negara untuk mandiri dalam penyediaan bahan baku propelan, yang pada akhirnya adalah untuk kepentingan pertahanan dan persenjataan, sehingga perlu penyediaan anggaran yang besar untuk investasi pabrik Ammonium Perkhlorat.
- Ketersediaan dalam hal keahlian, proses pengembangan produk dan kedekatan lokasi dengan produksi propelan.
- Efisiensi dan fleksibilitas proses produksi.

Adapun untuk mencapai upaya kemandirian di atas teknologi dan peralatan yang dipilih harus memenuhi kriteria antara lain:

- Murah dalam aspek investasi;
- Aman bagi tenaga kerja dan lingkungan;
- Efisien dalam aspek operasi;
- Fleksibel dalam menghasilkan produk dan memenuhi standar mutu.

5 PENUTUP

Sebagaimana telah diuraikan, bahwa ditinjau dari kelayakan aspek bisnis dan keuangan tidak layak, maka untuk mengatasi kendala di atas perlu campur tangan pemerintah dalam hal:

- Dana investasi disediakan oleh Pemerintah;
- Asset dimiliki oleh Pemerintah;
- Pengoperasian dilakukan oleh LAPAN, dimana operasional dibiayai dari anggaran LAPAN.

Dengan adanya kemandirian Ammonium Perkhlorat ini diharapkan :

- Spesifikasi bahan selalu konstan;
- Ketersediaan bahan akan berkesinambungan;
- Berkurangnya ketergantungan dari negara lain;
- Berkembangnya industri pertahanan dan persenjataan khususnya berkembangnya teknologi peroketan di Indonesia.

DAFTAR RUJUKAN

- Dotson, R, L, 1993. *A Novel Electrochemical Process for the Production of Ammonium Perchlorat*, J. of Applied Electrochemistry, 23,897-904.
- Grotheer, MP., 1970. *Bipolar Electrolytic Cell*, US Patent No 3518180.
- Janssen, L. J. J., 1995. *Physical Properties of Aqueous Solution*, J. Appl. Electroche, 25, 291-293.
- Tanrikulu, S. U., Eroglu, I, Bulutcu, A. N, and Ozkar, S., 2000. *Crystalization Kinetics of Ammonium Perchlorate in MSMPR Crystallizer*, J, of Crystal Growth, 208,5.