

**KARAKTERISASI UKURAN DAN BENTUK AMONIUM PERKLOLAT
CHINA, KOREA SELATAN DAN INDONESIA SERTA POTENSI
PENGARUHNYA TERHADAP KARAKTERISTIK PROPELAN
(SIZE AND SHAPE CHARACTERIZATION OF AMMONIUM
PERCHLORATE PARTICLE FROM CHINA, SOUTH KOREA AND
INDONESIA AND POTENTIAL EFFECT ON THE PROPELLANT
CHARACTERISTICS)**

Jones Hutauruk¹, Romie Oktovianus Bura², Heri Budi Wibowo³

¹Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan

²Fakultas Teknologi Pertahanan Universitas Pertahanan

³Pusat Teknologi Roket LAPAN

¹e-mail: joneshutauruk5@gmail.com

Diterima : 5 Mei 2020; Direvisi : 5 Juni 2020; Ditetapkan : 29 Juni 2020 **ABSTRACT**

ABSTRACT

The aim of this study is to obtain characteristics of ammonium perchlorate particle that is used in Rocket Technology Center (LAPAN). Characterization began from the determination of particle size distribution with Particle Size Analyzer. The SEM is used to obtain information about the morphology of AP, furthermore, the results were reprocessed using ImageJ software to analyze the shape of AP particle, and Surface area was obtained by using BET. Characteristic of AP such as particle size, shape and surface area are important parameters, because those are directly related to propellant combustion energy. Ammonium perchlorate was procured from China, South Korea and Indonesia with a particle size of 200 μ m. This study reveals the particle size of APC200, APH200 and API200 which are 265 μ m, 236 μ m, and 242 μ m, with the particle shape aggregate value of 0,68, 0,38 and 0,33, roundness of 0,57, 0,79,0,63, and surface area of 1,104 m²/g, 5,561 m²/g, and 2,972 m²/g.

Keywords: *Characterization, ammonium perchlorate, propellant*

ABSTRAK

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini ialah untuk memperoleh karakteristik partikel amonium perklorat yang selama ini digunakan oleh PUSTEKROKET LAPAN. Karakterisasi dilakukan mulai dari penentuan distribusi ukuran partikel dengan Particle Size Analyzer. SEM digunakan untuk mendapatkan morfologi sampel dan selanjutnya hasil tersebut diolah kembali menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menganalisis bentuk partikel AP, dan BET digunakan untuk mendapatkan luas permukaan. Karakteristik amonium perklorat seperti ukuran partikel, bentuk, dan luas permukaan adalah parameter yang penting, karena berhubungan langsung terhadap energi pembakaran propelan. AP yang digunakan diperoleh dari China, Korea selatan, dan Indonesia dengan ukuran partikel 200 μm . Dari hasil penelitian ini ukuran partikel APC200, APH200 dan API200 yaitu 265 μm , 236 μm , dan 242 μm , dengan agregat nilai bentuk partikel ialah 0,68, 0,38 dan 0,33, roundness 0,57, 0,79 dan 0,63, dan luas permukaan 1,104 m²/g, 5,561 m²/g, dan 2,972 m²/g.

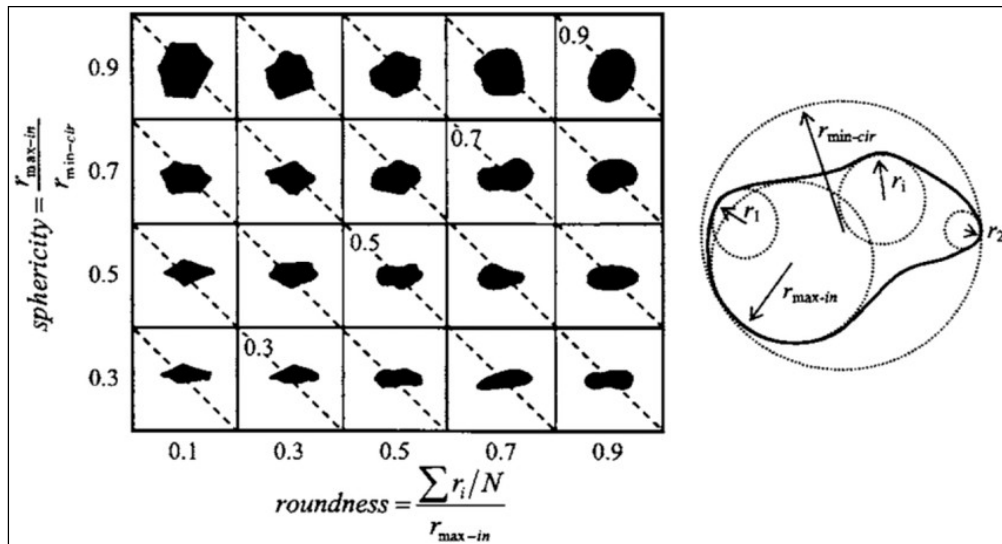
Kata kunci: Karakterisasi, Amonium Perlorat, Propelan

1 PENDAHULUAN

Propelan padat hingga saat ini masih dominan digunakan sebagai bahan bakar pada roket peluncur satelit, pendorong dan penopang motor dalam propulsi peralatan militer, dan lainnya. Perkembangan teknologi propelan secara signifikan terjadi selama perang dunia kedua hingga sampai saat ini (Wibowo, 2018). Kemajuan ini ditandai dengan penemuan bahan baku baru yang lebih energetik untuk meningkatkan kinerja propelan atau dikenal sebagai impuls spesifik (ISP).

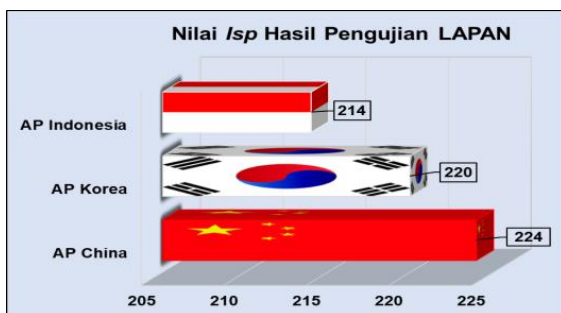
Amonium perklorat adalah yang sangat kuat dan memiliki kadar oksigen tinggi sehingga digunakan sebagai bahan baku utama pada formulasi propelan padat. Dengan begitu, sebagai komposisi utama yang menempati persentase berat dalam campuran propelan tentu memiliki pengaruh penting terhadap karakteristik propelan yang dihasilkan. Karakteristik propelan yang baik memiliki hubungan linier yang tetap antara komposisi dan nilai spesifik impuls (ISP) (Restasari, Budi, & Hartaya, 2017).

Karakteristik amonium perklorat pada penelitian ini meliputi ukuran partikel, bentuk partikel, dan luas permukaan partikel. Ukuran partikel merupakan penentu bagi sifat-sifat propelan, baik sifat fisika maupun kimia dari bahan amonium perklorat tersebut. Pengaruh ukuran partikel AP terlihat dari perubahan viskositas pada saat pembuatan (*mixing*) (Ashish, Swaroop, & Balasubramanian, 2019). Sejauh ini istilah dalam mendeskripsikan bentuk partikel AP menggunakan kata *sphericity* (bulat). Sementara itu, terdapat nilai agregat (0,1-0,9) untuk mendeskripsikan tingkat kebulatan suatu partikel. Misalnya, partikel AP yang lebih *rounded* atau *sphericity* mendekati nilai 1 menghasilkan campuran yang homogen dan porositas campuran rendah sehingga memberikan kecepatan pembakaran yang merata dibandingkan karakteristik partikel AP yang berbentuk segitiga (Pinalia, 2011). Krumbein dan Sloss (1963), menerbitkan grafik yang mudah untuk menentukan parameter *sphericity* dan *roundness* suatu batuan dengan perbandingan. Dapat dilihat pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1: Grafik Sphericity dan Roundness

Dari gambar di atas oleh Krumbein dapat dilakukan dengan cara membandingkan kenampakan butiran dengan tabel visual sketsa atau tabel visual foto. Hasil penelitian selama ini dengan menggunakan bahan impor dan AP buatan LAPAN sendiri belum mampu mencapai ISP minimal 250. Menurut Wibowo (Wibowo, 2018), nilai ISP 250 detik merupakan standar ISP minimal roket-roket Eropa, baik roket sipil maupun militer. Pada Gambar 1-2 dapat dilihat bahwa nilai ISP yang diperoleh melalui uji lab statis di LAPAN masih belum seperti yang ditargetkan, sehingga perlu terus dilakukan langkah- langkah teknis dimulai dari pengumpulan data ilmiah hingga proses pembuatan kristal AP menjadi lebih baik.



Gambar1-2: Nilai ISP Hasil Pengujian LAPAN

AP memiliki pengaruh besar dalam ketidaktercapaiannya nilai ISP

tersebut, khususnya pada saat terjadinya reaksi pembakaran propelan. Reaksi pembakaran tentunya dipengaruhi oleh luas permukaan, di mana luas permukaan sendiri dipengaruhi kedua karakteristik yang telah disebutkan, ketika ukuran partikel rendah, maka luas permukaan area partikel tersebut tinggi, dan meningkatkan reaksi pembakaran propelan. Latar belakang tersebut menunjukkan pentingnya penelitian ini untuk dilakukan, dengan mengidentifikasi karakteristik partikel AP dari China, Korea Selatan dan Indonesia (dalam hal ini Pustekroket Lapan).

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Bahan

Lokasi penelitian dilaksanakan di Universitas Pertahanan dan Laboratorium Amonium Perklorat Pusat Teknologi Roket (Pustekroket) LAPAN, Rumpin, Bogor.

Penelitian ini hanya menggunakan 1 jenis bahan namun berasal dari 3 negara yang berbeda, yaitu dari China, Korea Selatan dan Indonesia, dalam hal ini Lapan. Ukuran partikel amonium perklorat yang digunakan ialah 200 µm. Sumber sampel yang akan dilakukan pengujian dengan tujuan mengidentifikasi karakteristik sampel

dari masing-masing negara tersebut seperti ukuran partikel, bentuk partikel, dan luas permukaan. Tiap sampel dari negara berbeda tersebut diberi kode untuk mencegah kekeliruan saat pengujian. Kode sampel tersebut dijabarkan pada Tabel 2-1 berikut

No	Kode Sampel	Negara
1	APC200	China
2	APK200	Korea Selatan
3	API200	Indonesia

2.2 Metode Penelitian

Penelitian kuantitatif yang akan dilakukan ialah penelitian kuantitatif variabel terukur langsung. Secara ilmiah, variabel terukur langsung adalah variabel yang datanya dapat diukur langsung dengan peralatan atau instrumentasi. Penelitian kuantitatif dilakukan dengan membandingkan dua kelompok/variabel sasaran penelitian dengan memberikan batasan-batasannya. Penelitian kuantitatif ini peneliti mulai dengan menjajaki permasalahan yang akan menjadi pusat perhatian peneliti dan kemudian peneliti mendefinisikan serta memformulasikan masalah penelitian tersebut dengan pihak LAPAN.

2.3 Karakterisasi Ukuran Partikel

Analisis ukuran partikel memberikan informasi tentang distribusi ukuran partikel. Ini dapat digunakan untuk menghitung sifat-sifat partikel yang berbeda dan bagaimana mereka berkontribusi dalam kondisi tertentu. Data ini menjadi penting dalam penelitian, dan industri-industri seperti

farmasi dan industri kimia untuk mencapai tujuan yang berbeda.

Lazimnya, ukuran partikel AP ditentukan dengan menggunakan analisis saringan. Meski demikian saat ini telah hadir

teknologi khusus yang mampu mengukur ukuran partikel terkecil sekalipun. Teknologi tersebut memanfaatkan difraksi laser (LD) dengan mengukur variasi sudut dalam intensitas cahaya yang tersebar ketika sinar laser melewati partikel yang tersebar. Namun, pada saat preparasi bahan, penting untuk melakukan penyaringan ukuran partikel bahan yang diharapkan, sehingga ukuran partikel yang tidak diinginkan dapat dihindari. Hal ini dapat menyukkseskan perhitungan rasio penggunaan ukuran partikel bimodal dan trimodal AP.

2.3.1 Karakterisasi Bentuk Partikel

Bentuk partikel adalah properti lain kristal atau butiran yang juga dapat memengaruhi sifat-sifat fisik produk hasil campuran seperti densitas, porositas, permeabilitas aliran, interaksi dengan cairan, dan lain-lain. Oleh karena itu, yang dibutuhkan saat ini tidak hanya untuk analisis ukuran partikel, tetapi juga pengukuran bentuk partikel. Bentuk partikel yang diharapkan ketika dicampur dengan fluida adalah bentuk partikel yang memiliki tingkat sphericity atau circularity dan roundness (kebulatan sudut). Proses pembentukan ini terjadi pada saat proses pembuatan AP dan proses kristalisasi amonium perklorat, sehingga penting menjaga proses pembentukan AP agar menghasilkan karakteristik partikel AP yang diharapkan. Ada beberapa parameter bentuk partikel yang telah dipelajari dan sering digunakan seperti roundness, chunkiness, irregularity, compactness, fractal dimensions, aspect ratio, sphericity, dan lain-lain. Umumnya, analisis bentuk partikel dilakukan menggunakan teknik pencitraan, di mana data yang dikumpulkan adalah proyeksi 2-dimensi dari profil partikel. Analisis bentuk partikel pada penelitian

dilakukan menggunakan hasil citra SEM, yang selanjutnya diproses lagi menggunakan perangkat lunak ImageJ. Tujuannya agar dapat memberikan deskripsi lengkap tentang dimensi partikel amonium perklorat. Dengan menggabungkan pengukuran ukuran partikel, seperti panjang dan lebar, dengan penilaian bentuk partikel, seperti circularity dan roundness, pencitraan morfologi sepenuhnya mencirikan partikel, baik berbentuk bola maupun tidak beraturan. circularity dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-1) berikut:

$$Circ = 4\pi x \frac{(Area)}{(Perimeter)^2} \quad (2-1)$$

Area adalah luas daerah pemilihan objek dengan satuan sesuai dengan pengaturan skala yang telah ditentukan. Perimeter ini merupakan panjang batas luar seleksi.

Nilai roundness juga dapat ditentukan dengan persamaan (2-2) berikut:

$$Roundness = 4x \frac{(Area)}{\pi(Major Axis)^2} \quad (2-2)$$

Major axis adalah nilai sumbu utama (garis terpanjang) sebuah objek partikel. Nilai area dan major axis diperoleh dari hasil pengukuran dengan perangkat lunak ImageJ (Ferreira & Rasband, 2012).

Diperlukan suatu perlakuan (treatment) dengan memanfaatkan beberapa fitur (tools) yang tersedia pada perangkat lunak ImageJ agar gambar yang dihasilkan lebih optimal. Tujuannya untuk memisahkan partikel atau objek yang bukan bagian dari sampel, membedakan antara bayangan hitam objek yang bersentuhan dengan latar belakang (background), serta mengeliminasi partikel yang

bersentuhan dengan batas gambar, karena partikel yang bersentuhan dengan batas gambar mengakibatkan bentuk partikel tidak sepenuhnya dapat diukur (Pons & Dodds, 2015).

2.3.2 Karakterisasi Luas Permukaan Partikel

Luas permukaan yang berhubungan langsung dengan ukuran partikel, memainkan peran utama dalam proses pembakaran propelan. Ketika ukuran partikel menurun, luas permukaan per satuan volume (atau massa) meningkat, dan sebaliknya. Luas permukaan menjadi penting dikarenakan luas permukaan sarana yang digunakan zat padat untuk berinteraksi dengan lingkungannya dan senyawa lain, baik itu gas, cairan atau benda padat lainnya.

Analisis luas permukaan partikel dilakukan dengan metode Brunauer–Emmett–Teller (BET) menggunakan alat Quanta Chrome SiQwin. Prinsip kerjanya yaitu dengan mekanisme adsorpsi dan desorpsi gas. Gas didistribusikan ke seluruh bagian permukaan sampel yang akan dikarakterisasi pada suhu konstan, lalu zat padat akan menyerap molekul-molekul gas tersebut hingga ruang kosong terisi oleh molekul gas. Alat ini akan mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh permukaan sampel pada tekanan dan suhu tertentu, sehingga luas permukaan sampel dapat dihitung.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

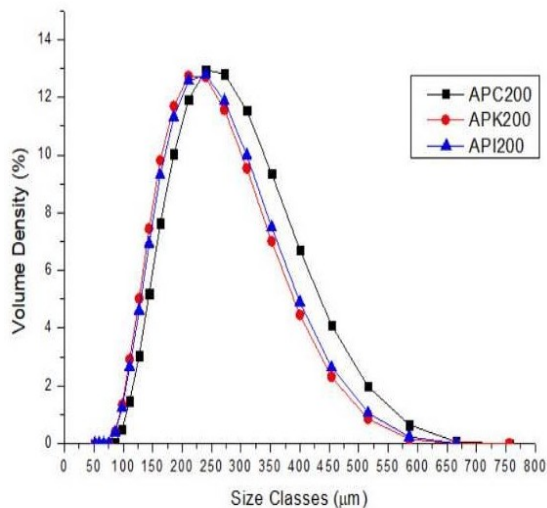
3.1 Hasil Analisis Distribusi Ukuran Partikel

Hasil yang diperoleh dari penganalisis ukuran partikel Mastersizer 3000-v3.63 Malvern menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel dari ketiga sumber sampel tidak sama. Tabel 3-1 berikut menunjukkan hasil pengujian distribusi ukuran partikel dari tiga sampel tersebut.

Tabel 3-1: Hasil Pengukuran Distribusi Ukuran Partikel APC200, PK200, dan PI200.

No	Sampel	Ukuran dominan pada DV50
1	APC200	265 μm
2	APK200	236 μm
3	API200	242 μm

Sampel dengan kode APC200 memiliki distribusi ukuran partikel paling besar pada Dv50 (ukuran maksimum sampel dalam persentase volume 50%) yaitu 265 μm , DV50 pada sampel APK200 yaitu 236 μm , dan DV50. Selanjutnya hasil dari tabel 3-1 diatas diinterpretasikan dalam bentuk Gambar 3-1 dibawah ini.



Gambar 3-1: Perbandingan Distribusi Ukuran Partikel APC200, APK200, dan API200

Pada Gambar 3-1 di atas menunjukan grafik sampel dengan kode APC200 cenderung bergeser ke arah kanan (distribusi positif) yang artinya nilai mean lebih besar dari nilai modus.

Ukuran dan bentuk AP dapat memengaruhi sifat fisika suatu campuran, seperti pada nilai viskositas slurry propelan. Hasil analisis distribusi ukuran partikel pada penelitian ini, yang telah ditampilkan juga pada Gambar 3-1,

menunjukkan bahwa ukuran partikel yang semula digunakan dan diharapkan adalah 200 μm , tapi ternyata partikel AP pada sampel memiliki ukuran bervariasi dalam volume (%) yang berbeda, bahkan didapati bahwa volume (%) untuk 200 μm lebih sedikit, dan lebih dominan partikel dengan ukuran di atasnya (Tabel 3-1). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Suresh Babu, et al, 2017) memberikan hasil bahwa penggunaan trimodal (coarse, fine, ultrafine dengan rasio 67:24:9) amonium perklorat dapat menurunkan viskositas slurry. Dari hasil penelitian di LAPAN disebutkan bahwa penggunaan ukuran partikel AP bimodal hingga trimodal merupakan yang terbaik saat ini pada saat proses pembuatan propelan, lantaran saat pencampuran adonan seluruh bahan dapat bercampur dengan rata.

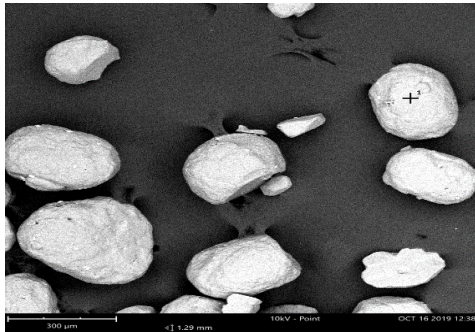
Maka menjadi hal penting dalam mempersiapkan bahan baku AP dengan ukuran yang seragam. Pemisahan ukuran partikel yang tidak seragam menjadi solusi untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam sehingga tidak menimbulkan perhitungan rasio yang salah pada saat persiapan bahan.

3.2 Hasil Analisis Bentuk Partikel

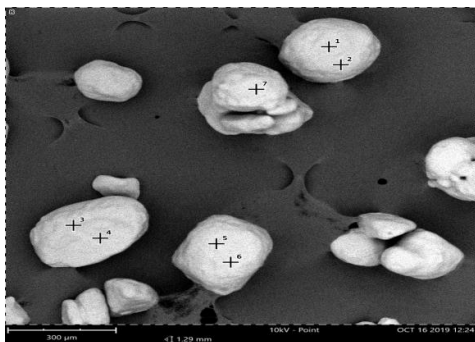
Hasil analisis bentuk partikel menggunakan hasil SEM yang selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ dapat dilihat pada Tabel 3-2.

Dari hasil tersebut nilai tertinggi circularity, yaitu 0,68 ada pada sampel APC200. dari seluruh partikel yang terlihat dari gambar, partikel APC200 rata-rata memiliki kebulatan (circularity) yang dominan jika dibandingkan dengan partikel APK200 dan API200. Namun dilihat dari kebulatan sudut, roundness APK200 lebih tinggi dibandingkan sampel yang lain dengan agregat nilai 0,79. Sampel API200 memiliki nilai agregat yang sangat rendah dari yang

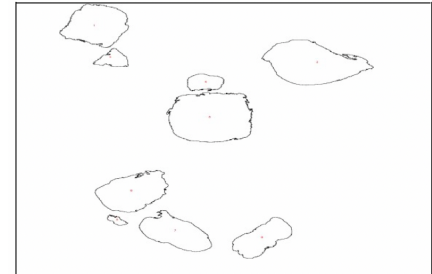
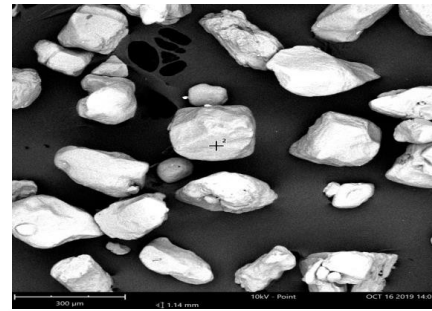
lain, dapat dilihat juga bentuk partikel dari hasil citra SEM menunjukkan bentuk partikel yang tidak seragam. Dalam proses pembuatan propelan, bentuk partikel AP berpotensi memengaruhi parameter pemrosesan dan hasil akhir propelan. Dari ke 3 sampel AP, maka sampel APC200 adalah yang mendekati dengan nilai 1 (sebagai bentuk partikel yang bulat).



(a)



(b)



(c)

Gambar 3-2 : Sampel Bentuk Partikel (a) APC200, (b) APK200, dan (c) API200 dengan ImageJ

Tabel 3-2: Hasil Perhitungan Agregat Bentuk Partikel

No	Sampel	Hasil Perhitungan	
		<i>Circularity</i>	<i>Roundness</i>
1	APC200	0,68	0,67
2	APK200	0,38	0,79
3	API200	0,33	0,53

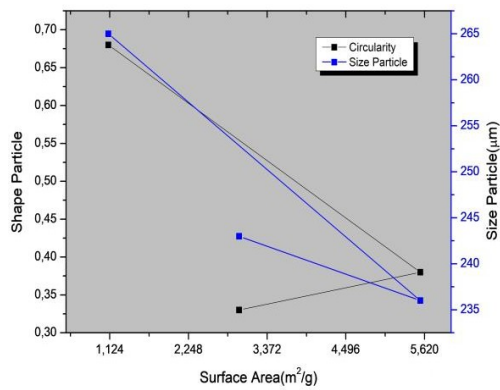
3.3 Luas Permukaan Partikel

Luas permukaan yang paling besar berada pada kode sampel APK200 (Gambar 3-3), dan yang yang paling rendah berada pada sampel APC200.

Tabel 3-3: Luas Permukaan Partikel.

No	Kode Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)
1	APC200	1,104
2	APK200	5,561
3	API200	2,972

Korelasi antara ukuran, bentuk, dan luas permukaan partikel dapat ditampilkan pada Gambar 3-3 di bawah ini.



Gambar 3-3: Korelasi Ukuran, Bentuk dan Luas Permukaan Partikel

Luas permukaan berbanding lurus dengan ukuran partikel. Semakin besar ukuran suatu partikel, maka nilai kebulatan (sphericity) partikel semakin tinggi atau mendekati 1. Sebaliknya, makin kecil luas permukaan, makin rendah laju pembakaran propelan (burn rate). Luas permukaan penting pada saat terjadinya reaksi kimia atau reaksi pembakaran.

4 KESIMPULAN

Analisis karakteristik AP yaitu ukuran partikel selama ini telah banyak dilakukan penelitiannya dengan berbagai teknik analisis. Salah satu yang menjadi penting pada saat preparasi bahan yaitu menentukan rasio dan menghitung ukuran partikel AP. Penentuan rasio AP berdasarkan pada penggunaan bimodal hingga trimodal, sehingga penting untuk mempersiapkan AP dengan ukuran masing-masing partikel yang tepat.

Hasil temuan dari penelitian ini ialah, variasi ukuran partikel berbeda pada sampel AP 200 µm dari China, Korea Selatan dan Indonesia (LAPAN). Dalam sampel AP 200 µm tersebut terdapat ukuran AP yang bervariasi dengan jumlah yang berbeda pula. Variasi ukuran partikel tersebut berpotensi mempengaruhi penentuan rasio AP saat preparasi bahan. Rasio yang salah akan memberikan hasil yang

tidak diinginkan pada saat pengadukan hingga pengujian propelan. Untuk itu, pada saat preparasi bahan AP penting untuk dilakukan penyaringan sehingga mendapatkan dominan ukuran partikel AP yang diperlukan dalam sampel.

Selain ukuran partikel yang menjadi perhatian utama, para peneliti menyadari bahwa banyak dari sifat fisik propelan tidak hanya ditentukan dari ukuran partikel AP sebagai bahan baku utama, tetapi juga pada bentuk partikel AP itu sendiri. Selama ini penentuan deskripsi bentuk AP hanya dilakukan melalui visual ataupun melalui SEM, dan belum dimilikinya standar agregat (nilai) yang menandakan tingkat ke bulatan (sphericity atau circularity) partikel atau kristal tersebut. Dengan demikian, keawatiran yang dapat terjadi yaitu kesalahan penentuan rasio AP saat penggunaan bimodal atau trimodal AP.

Teknik pemrosesan menggunakan perangkat lunak ImageJ ini dapat menjadi solusi mudah dalam penentuan agregat atau nilai bentuk partikel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Teknologi Roket, LAPAN, Bapak Drs. Sutrisno, M. Si atas izin yang diberikan, dan Prof. Heri Budi Wibowo atas bimbingannya dan dukungannya, serta seluruh staf Laboratorium Amonium Perchlorat atas bantuannya, serta tidak lupa juga kepada Tim Redaksi Jurnal Teknologi Dirgantara.

DAFTAR RUJUKAN

Ashish, J., Swaroop, G., & Balasubramanian, K. (2019). Effect of Ammonium Perchlorate Particle Size on Flow, Ballistic, and Mechanical Properties of Composite Propellant. In *Nanomaterials in*

- Rocket Propulsion Systems (pp. 299–362).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813908-0.00008-3>
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2012). ImageJ User Guide. In Image J user Guide.<https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
- Hutauruk, J. (2020). Analisis Karakteristik Material Padat (Ammonium Perchlorate) Propelan Komposit Terhadap Kinerja Propelan Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (Lapan) Dalam Rangka Penguasaan Teknologi Propelan. Tesis Sekolah Pascasarjana Universitas Pertahanan Indonesia. Bogor. 117 hlm.
- Pons, M. N., & Dodds, J. (2015). Particle Shape Characterization by Image Analysis. In Progress in Filtration and Separation.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384746-1.00015-X>
- Restasari, A., Budi, R. S., & Hartaya, K. (2017). Pengaruh Komposisi Ap Terhadap Prosesibilitas Slurry Propelan Dengan Kandungan Aluminium Tinggi (Effects of Ammonium Perchlorate Composition on High Content Aluminium Propellant Slurry). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15(2), 105.
<https://doi.org/10.30536/j.jtd.2017.v0.a2509>
- Suresh Babu, K. V., Kanaka Raju, P., Thomas, C. R., Syed Hamed, A., & Ninan, K. N. (2017). Studies on composite solid propellant with trimodal ammonium perchlorate containing an ultrafine fraction. *Defence Technology*, 13(4), 239–245.
<https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.06.001>
- Wibowo, H. B. (2018). Current solid propellant research and development in Indonesia and its future direction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1130(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1130/1/012027>

