

ANALISIS KARAKTERISTIK MATERIAL PADAT (AMMONIUM PERCHLORATE) PROPELAN KOMPOSIT TERHADAP KINERJA PROPELAN LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL (LAPAN) DALAM RANGKA PENGUASAAN TEKNOLOGI PROPELAN

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF COMPOSITE SOLID PROPELLANT MATERIAL (AMMONIUM PERCHLORATE) ON NATIONAL INSTITUTE FOR AERONAUTICS AND SPACE (LAPAN) PROPELLANT PERFORMANCE IN THE CONTEXT OF MASTERY OF PROPELLANT TECHNOLOGY

Jones Hutauruk¹, Romie Oktovianus Bura², Heri Budi Wibowo³

Universitas Pertahanan
joneshutauruk5@gmail.com

Abstrak – Komposisi *ammonium perchlorate* dalam propelan komposit sekitar 75-85 %, dengan kandungan demikian *ammonium perchlorate* adalah material padat terpenting dalam propelan komposit. Propelan komposit merupakan bahan bakar pada roket dan rudal militer. Sebagai oksidator, *ammonium perchlorate* memiliki peran penting terhadap kinerja propelan LAPAN. Kinerja propelan LAPAN saat ini masih belum dapat mencapai standar, hal ini diprediksi oleh pengaruh dari karakteristik *ammonium perchlorate* dalam negeri yang mana masih rendah. Strategi dalam meningkatkan karakteristik *ammonium perchlorate* dalam negeri dan mengejar ketertinggalan dengan negeri-negara maju adalah dengan menganalisis bahan baku impor dari China dan Korea Selatan. Permasalahan yang akan diteliti adalah karakteristik *ammonium perchlorate* C200, H200 dan L200 yang digunakan seperti ukuran partikel, bentuk partikel, luas permukaan, dan luas permukaan partikel. Tujuan penelitian ini ialah melakukan analisis terhadap karakteristik *ammonium perchlorate* C200, H200 dan L200 sebagai penyusun propelan komposit, dan parameter yang paling berpengaruh terhadap rendahnya kinerja propelan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif variabel terukur langsung dengan desain eksperimental di Laboratorium. Populasi pada penelitian ini adalah propelan komposit dengan sampel *ammonium perchlorate* dari China, Korea Selatan dan Indonesia (LAPAN). Instrument yang digunakan untuk memperoleh data adalah PSA (particle size analyzer), SEM, dan BET. Hasil dari penelitian ini diperoleh karakteristik material berupa ukuran partikel C200, H200 dan L200 adalah 265 μm , 236 μm , dan 242 μm . Diperoleh juga luas permukaan partikel sebagai berikut 1,104 m²/g, 5,561 m²/g, dan 2,972 m²/g. Bentuk partikel C200, H200 dan L200 ialah 0,68, 0,38 dan 0,33, dengan roundness 0,57, 0,79 dan 0,63. Surface area merupakan parameter yang berpengaruh terhadap laju bakar yang mana juga memiliki pengaruh besar terhadap kinerja propelan. Hasil dari penelitian ini penting untuk meningkatkan kinerja propelan LAPAN melalui peningkatan karakteristik *ammonium perchlorate* dalam negeri sehingga tercapai kemandirian bahan baku dan penguasaan teknologi propelan.

Kata Kunci: Karakteristik *Ammonium Perchlorate*, Propelan Komposit, Kinerja Propelan, Pertahanan, LAPAN

Abstract – *Ammonium perchlorate* composition in composite propellant is around 75-85%, with such content *ammonium perchlorate* is the most important solid material in composite propellant.

¹ Program Studi Teknologi Persenjataan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

² Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

³ Pusat Teknologi Roket, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

Composite propellant is fuel for rockets and military missiles. As an oxidizer, ammonium perchlorate has an important role in the performance of LAPAN's propellant. The current performance of the LAPAN's propellant is still not up to standard. This is predicted by the influence of domestic characteristics of ammonium perchlorate which is still low. The strategy to improve the characteristics of domestic ammonium perchlorate and catch up with developed countries is to analyze raw materials imported from China and South Korea. The problem to be investigated is the characteristics of ammonium perchlorate such as particle size, particle shape, and surface area. The aim of this study is to analyze the characteristics of ammonium perchlorate C200, H200 and L200 as composers of composite propellants, and the parameters that most influence the low performance of propellant. This research uses quantitative methods directly measured variables with experimental designs in the Laboratory. The population in this study is a composite propellant with ammonium perchlorate as samples from China, South Korea and Indonesia (LAPAN). The instruments used to obtain data are PSA (particle size analyzer), SEM, and BET. The results of this study were obtained material characteristics in the form of particle sizes C200, H200 and L200 are 265 μm , 236 μm , and 242 μm . Obtained also the surface area of particles as follows 1,104 m^2/g , 5,561 m^2/g , and 2,972 m^2/g . The particle shapes of C200, H200 and L200 are 0,68, 0,38 and 0,33, with roundness of 0,57, 0,79 and 0,63. Surface area is a parameter that influences the fuel rate which also has a big influence on propellant performance. The results of this research are important in order to improve the performance of LAPAN's propellants by increasing the characteristics of domestic ammonium perchlorate so as to achieve the independence of raw materials and mastery of propellant technology.

Keywords: Characteristics of Ammonium perchlorate, Composite Propellant, Performance of Propellant, Defense, LAPAN

Pendahuluan

Sistem pertahanan negara yang kuat selalu identik dengan kecanggihan dan kemampuan Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanannya atau biasa disingkat (Alpahankam). Salah satu sistem tersebut adalah instrumentasi penangkalan sebagai pilihan fundamental untuk mengantisipasi ancaman pertahanan dan keamanan nasional, dan instrumentasi penangkalan yang dihasilkan oleh industri pertahanan tersebut ialah instrumentasi

teknologi.⁴ Teknologi pertahanan didorong untuk selalu mampu mengatasi setiap ancaman yang selalu berubah. Untuk mengasalkan instrumentasi teknologi yang *state of the art*⁵, langkah mutlak yang harus dibangun setelah meningkatkan sumber daya manusia ialah penguasaan teknologinya. Kemampuan penguasaan teknologi sejatinya tidak dapat dilakukan oleh satu institusi maupun lembaga, penguasaan teknologi memerlukan kerjasama yang erat diantara beberapa institusi seperti

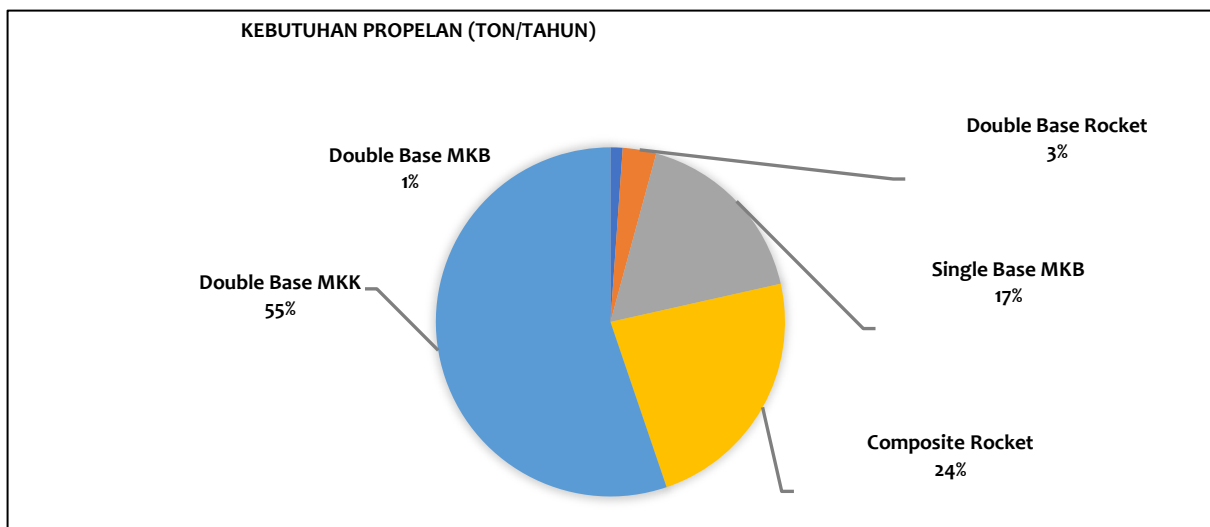
⁴ Sjafrie Sjamsoeddin, "Menentukan Instrumen Penangkalan", dalam <https://sjafriesjamsoeddin.id/menentukan-instrumen-penangkalan/>, 12 Oktober 2017, diakses pada 4 Februari 2020.

⁵ Y. H. Yogaswara, "Strategi Percepatan Penguasaan Teknologi dan Industri Pertahanan: Studi Kasus Korea Selatan", *Defendonesia*, Vol 3, No. 1, 2017, hal .4.

pendidikan yang menghasilkan sumber daya manusia yang handal terlebih mereka yang terlibat langsung dalam upaya pertahanan negara, lembaga penelitian dan pengembangan dalam meningkatkan penguasaan teknologi, dan industri nasional yang menghasilkan peralatan yang dibutuhkan dalam jumlah banyak⁶.

Teknologi propelan salah satu dari tujuh program industri pertahanan yang diprioritaskan. Teknologi propelan merupakan teknologi kunci yang harus dikuasai untuk perkembangan roket dan rudal pertahanan. Penguasaan teknologi

propelan dilakukan untuk mendukung percepatan pembangunan industri propelan⁷. Hingga saat ini propelan padat masih terus diteliti sebagai bahan bakar untuk amunisi, roket dan rudal militer. Propelan *heterogeneous* atau dikenal juga sebagai propelan komposit terdiri dari *fuel binder*, *oxidizer* dan logam tambahan atau sering disebut zat *aditif* dan *fuel metal*⁸. Propelan komposit memiliki sifat energetik yang tinggi dengan kecepatan bakar menengah. Energi yang berupa tekanan gas tersebut mampu menghasilkan gaya dorong terhadap munisi, roket dan rudal. Nilai pembakaran



Gambar 1. Kebutuhan Propelan (Ton/Tahun)
 Sumber: Dirjen Pothan Kemhan, 2018

⁶ Syaiful Anwar, "Penguasaan Teknologi Pertahanan Oleh Sdm", Jurnal Pertahanan, Vol.5, No.1, 2015, hlm 15-20.

⁷ Heri Budi Wibowo, "Kajian Program Peningkatan Kinerja Propelan Komposit Berbasis Ap/Htpb/Al (Program Review of Increasing the Performance of Composite

Propellant Base Ap/Htpb/Al)", Jurnal Teknologi Dirgantara Vol.16 No.2, 2018, hlm.124.

⁸ Wibawa & Lasinta Ari Nendra, Merancang Komponen Roket 3D dengan Autodesk Inventor Professional 2017, (Solo: bukukatta, 2018)

tergantung pada banyak faktor seperti sifat fisika dan kimia bahan baku, tekanan ruang bakar, konfigurasi grain geometri, suhu pembakaran, oksidator, homogenitas propelan dan lainnya⁹.

Kebutuhan propelan komposit akan selalu mengalami peningkatan seiring dengan penggunaan wahana roket dan rudal yang meningkat pula. Dapat dilihat pada Gambar 1.

Namun dengan kebutuhan yang meningkat tersebut, kemampuan bahan baku dalam negeri masih belum mampu menghasilkan kinerja propelan (Isp) dengan standar eropa yaitu kisaran 250-270 detik¹⁰. Hal ini diprediksi sebagai akibat dari kualitas dan karakteristik bahan baku dalam negeri yang masih rendah. Untuk mengejar ketertinggalan tersebut, Indonesia melalui Pusat Teknologi Roket LAPAN mencoba mencari negara maju yang bersedia bekerjasama melalui *Transfer of Technology (ToT)*. Alhasil Indonesia kesulitan mencari negara maju yang bersedia memberikan transfer teknologi

nya ke Indonesia, hal ini dikarenakan negara maju bagian dari anggota *Missile Technology Control Regime (MTCR)*. Dalam aturannya pada kategori II MTCR *Annex Handbook* teknologi propelan dan roket tidak boleh disebarluaskan dalam bentuk alih teknologi (ToT)¹¹. Aturan ini menjadi kendala bagi LAPAN dalam mencapai penguasaan dan pengembangan teknologi propelan. Sehingga kemampuan propelan komposit yang dihasilkan memiliki Isp yang masih rendah. Kendala peningkatan kinerja propelan dapat disebabkan oleh karakteristik bahan baku khususnya material padat seperti *ammonium perchlorate*. *Ammonium perchlorate* dengan komposisi yang besar dalam campuran propelan memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja propelan. Karakteristik *ammonium perchlorate* seperti, ukuran partikel, bentuk partikel, dan luas permukaan adalah parameter yang penting terhadap karakteristik propelan komposit¹². Saat ini LAPAN mengimpor bahan baku dari China dan

⁹ Ercan Degirmenci, "Effects of grain size and temperature of double base solid propellants", *Journal of Fuel*, Vol.146, No. 1, 2015, hlm 95-102.

¹⁰ Dharendra R. Kshirsagar, et al, "Studies on the Effect of Nano-MnO₂ in HTPB-based Composite Propellant Formulations", *Journal of Energetic Materials*, Vol.14, 2017, No. 3, Hlm. 589-604.

¹¹ Jakondar Bakara, "Dampak MTCR Terhadap Bahan Baku Propelan", *Jurnal Dirgantara*, 2006, Vol.7,2006, No.1, Hlm.17-20.

¹² Gordon R. Morrow and Eric L. Petersen, "The effects of AP particle size and concentration on AP/HTPB composite propellant burning rates. AIAA SciTech Forum - 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting, (January), 1-10. <https://doi.org/10.2514/6.2017-0831>

Korea Selatan. Hal ini dikarenakan kebersediaan ke dua negara tersebut mensuplai bahan baku ke Indonesia, namun kenyataannya bahan baku impor tersebut masih dibatasi oleh informasi-informasi penting tentang bahan baku. Informasi tersebut penting dalam lembaga penelitian pada saat formulasi propelan dan juga dari segi keamanan. Dengan kondisi demikian, LAPAN hingga saat ini mencoba menguji kinerja propelan dari bahan baku impor tersebut dengan beragam formulasi sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menemukan formulasi yang tepat, dan meningkatkan karakteristik *ammonium perchlorate* produksi dalam negeri. Perbandingan hasil uji kinerja propelan dengan bahan baku masing-masing negara ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data *Isp* Hasil Pengujian LAPAN.

Negara	<i>Isp</i> (detik)
China	224
Korea Selatan	249
LAPAN	214

Sumber: Pustekroket LAPAN, 2020¹³

Dari hasil pengujian tersebut diperoleh nilai *Isp* yang berbeda. Perbedaan kinerja propelan ini disebabkan oleh karakteristik *ammonium perchlorate* sebagai oksidator yang memiliki komposisi paling besar. Dari perbedaan kinerja propelan tersebut menjadi dasar dilakukannya penelitian ini melalui identifikasi terhadap karakteristik *ammonium perchlorate* yang digunakan. Dengan parameter yang menjadi kajian adalah struktur kristal, ukuran partikel, bentuk partikel, dan luas permukaan.

Isp (*impulse specific*) merupakan sejumlah energi yang dihasilkan dari reaksi pembakaran atau reaksi kimia antara oksidator, binder dan aluminium.¹⁴ Semakin besar energi tersebut akan menghasilkan gaya dorong yang besar. Agar menjadi efisien propelan harus memiliki panas dan laju pembakaran yang besar untuk meningkatkan temperatur, dan berat molekul gas (hidrogen, karbon, oksigen, dan logam) rendah. Oleh karena itu karakteristik *ammonium perchlorate* mempengaruhi karakteristik propelan komposit, seperti sifat mekanik, reaksi

¹³ Heri Budi Wibowo, "Current solid propellant research and development in Indonesia and its future direction". *Journal of Physics: Conference Series*, 1130(1). (2018) <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1130/1/012027>.

¹⁴ Heri Budi Wibowo, "Perkiraan Impuls Jenis (*Isp*) Propelan Komposit Padat Berdasarkan Pengaruh Binder Sistem", *Jurnal Iptek Material*, Vol. 1 Tahun 2001.

pembakaran, dan viskositas pada saat pencampuran bahan.¹⁵

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif variabel terukur langsung. Secara ilmiah, variabel terukur langsung adalah variabel yang datanya dapat diukur langsung dengan instrument. Penelitian kuantitatif berkaitan dengan angka-angka serta terukur. Desain penelitian yang dilakukan ialah eksperimen. Eksperimen dilaksanakan di laboratorium *Ammonium Perchlorate*, dan laboratorium karakteristik Pustekroket LAPAN. Sampel yang digunakan ada tiga dan disuplai dari China, Korea Selatan dan Indonesia yang diproduksi oleh LAPAN dengan ukuran partikel sampel adalah 200 μm . Ke tiga sampel diberi tanda C200 (China), H200 (Hanwa-Korea Selatan), dan L200 (LAPAN-Indonesia). Selanjutnya hasil penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu sehingga hasilnya dapat dikatakan valid. Masing-masing sampel ditimbang sebanyak 3 gram, selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam alat *Moisture Analyzer* untuk mengurangi

kadar air yang terdapat pada sampel. Proses yang terjadi selama pengeringan adalah proses penguapan. Hasil proses penguapan akan menyebabkan massa sampel berkurang dari nilai awal. Kadar air pada sampel dapat mempengaruhi kualitas dan hasil analisa untuk itu kadar air pada sampel perlu dihilangkan.

Karakterisasi Ammonium Perchlorate

Pengujian morfologi permukaan sampel dipelajari dengan Scanning Electron Microscope (SEM) Phenom di laboratorium karakteristik Pustekroket LAPAN. Distribusi ukuran rata-rata partikel dilakukan dengan alat *Particle Size Analyzer (PSA)*. Penentuan luas permukaan partikel dilakukan dengan Quantachrome AsiQwin dengan metode BET, dan derajat kristalisasi dianalisa dengan *X-ray Powder Diffraction (XRD)*.

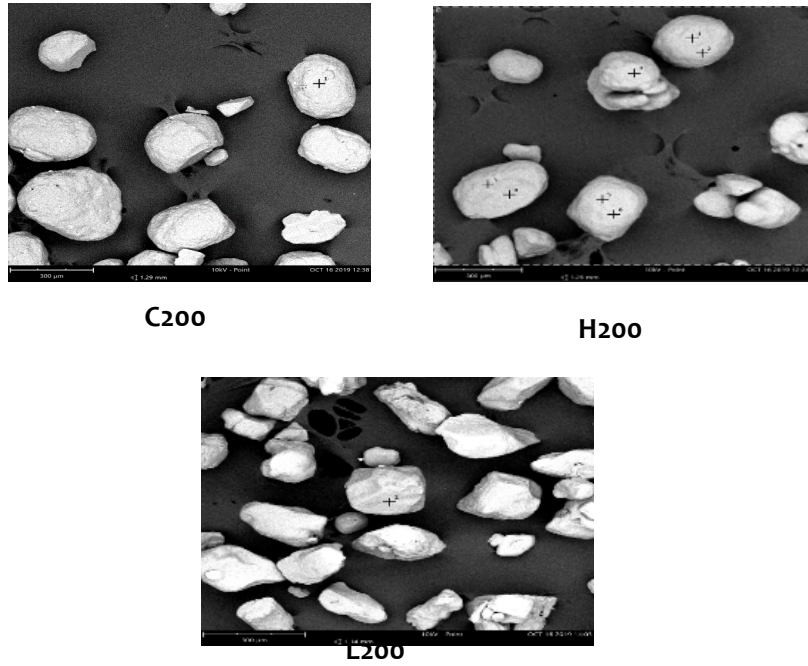
Hasil dan Pembahasan

Hasil Analisis Morfologi Permukaan Partikel

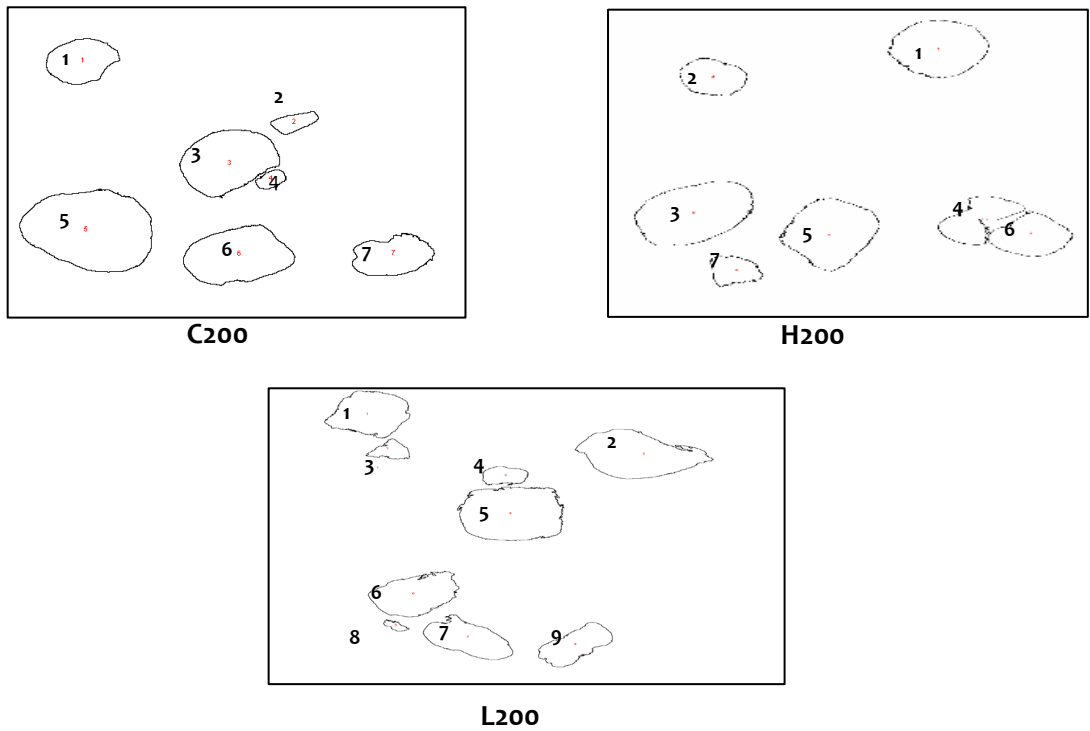
Dari hasil pengujian SEM diperoleh morfologi permukaan partikel untuk

¹⁵ Shalini Chaturvedi, Pragnesh N. Dave. Solid propellants: AP/HTPB composite propellants. *Arabian Journal of Chemistry*, Vol.12, No.8,

Hlm. 2061–2068.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.12.033>.



Gambar 2. Morfologi Permukaan Partikel C200; H200 dan L200
 Sumber: Olahan Peneliti,2020



Gambar 3. Hasil Pengolahan Gambar Dengan *ImageJ*
 Sumber: Olahan Peneliti, 2020

masing-masing sampel seperti pada Gambar 2. Morfologi Permukaan Partikel C200; H200 dan L200.

Dengan menggunakan morfologi hasil pengamatan SEM di atas selanjutnya

hasil tersebut diolah dengan *software ImageJ* untuk mendapatkan hasil daripada bentuk partikel. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.

Parameter bentuk yang paling penting adalah faktor bentuk yang didasarkan pada teknik analisis citra. Faktor bentuk dapat ditentukan dengan persamaan 1.¹⁶

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

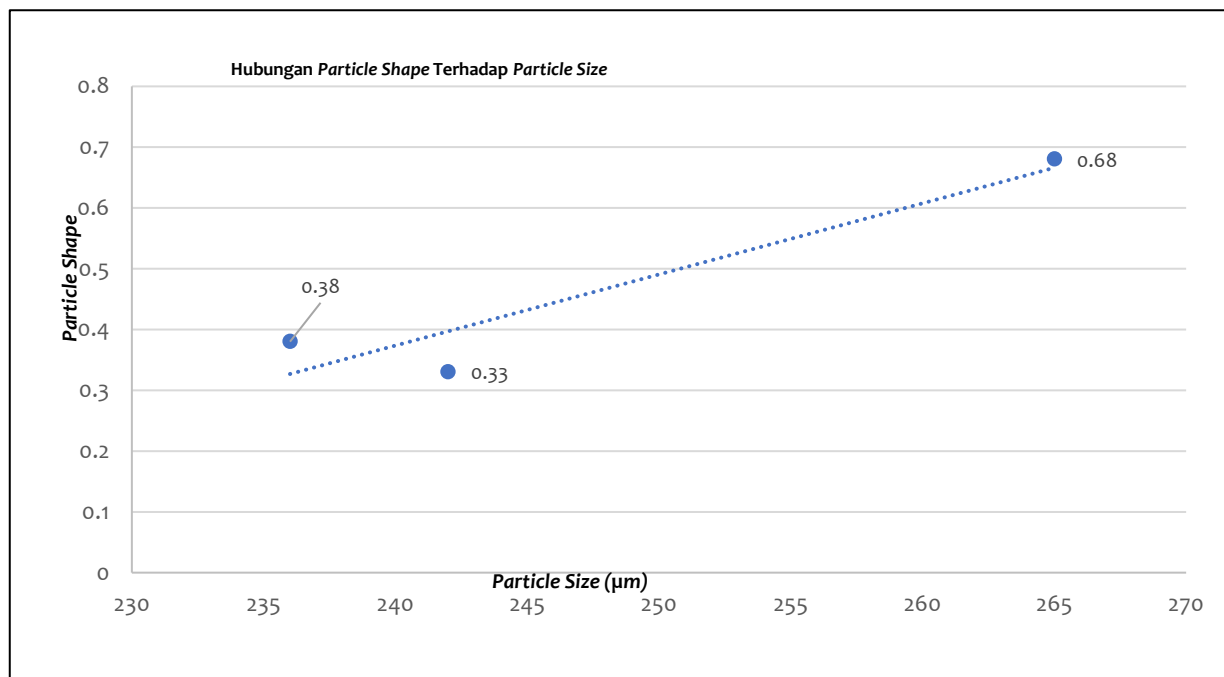
Dimana A adalah luas proyeksi partikel, P adalah perimeter area partikel yang diproyeksikan (untuk bola sempurna faktor *shape* partikel = 1).

Tabel 2. Hasil Perhitungan Bentuk Partikel Dengan *ImageJ*

Sampel	Circularity
C200	0.68
H200	0.38
L200	0.33

Sumber: Olahan Peneliti, 2020

Dari Tabel 2 sangat jelas bahwa bentuk partikel sampel C200 dengan nilai 0,68 lebih *sphericity* dibandingkan dengan sampel H200 dan L200 dikarenakan faktor *shape* partikel mendekati 1. Pengaruh dari bentuk partikel *ammonium perchlorate* yaitu dapat menurunkan viskositas pada saat proses pencampuran bahan, serta berdampak terhadap menurunnya tingkat laju bakar propelan. Hal ini merupakan fakta bahwa tingkat laju bakar dipengaruhi oleh luas permukaan



Gambar 4. Grafik Hubungan *Particle Shape and Size ammonium perchlorate*

Sumber: Olahan Peneliti, 2020

¹⁶ Tiago F., & Wayne Rasband, "ImageJ User Guide", 2012 (Kanada: National Institutes of Health, Bethesda, MD).

partikel *ammonium perchlorate*. Pengamatan secara visual juga dapat dilakukan pada gambar-gambar sampel C200, H200 dan L200 hasil analisa dengan SEM yang masing-masing disajikan pada Gambar 2. Bentuk partikel akan cenderung lebih *sphericity* seiring dengan ukuran partikel yang semakin besar. Dapat dilihat pada Gambar 4 grafik hubungan ukuran partikel (*particle size*) dan bentuk partikel (*particle shape*).

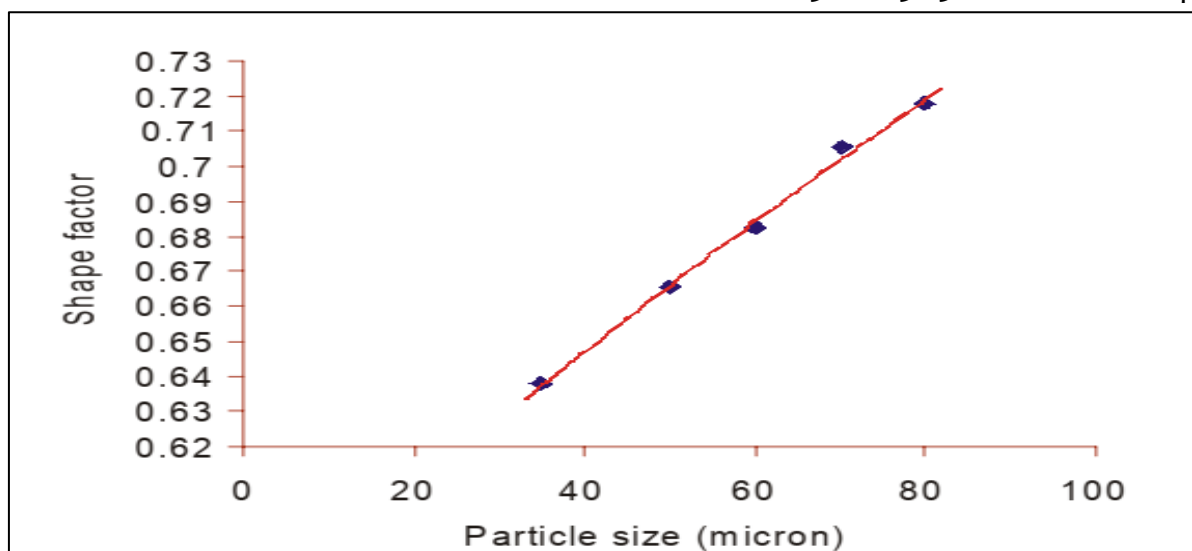
Seperti yang telah dilihat dari gambar diatas bahwa ukuran partikel memiliki efek besar terhadap bentuk partikel, hal ini juga memiliki kesesuaian dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Sain Junil, et al, 2009, seperti pada Gambar 5.

Terlihat bahwa dampak dari proses *grinding* (penggilingan) partikel ukuran 300 μm diperoleh ukuran partikel lebih kecil dengan variasi 35 μm , 50 μm , 60 μm , 70 μm , dan 80 μm , dengan variasi ukuran tersebut diperoleh pula bentuk partikel yang lebih tidak teratur atau semakin rendah dari nilai 1.

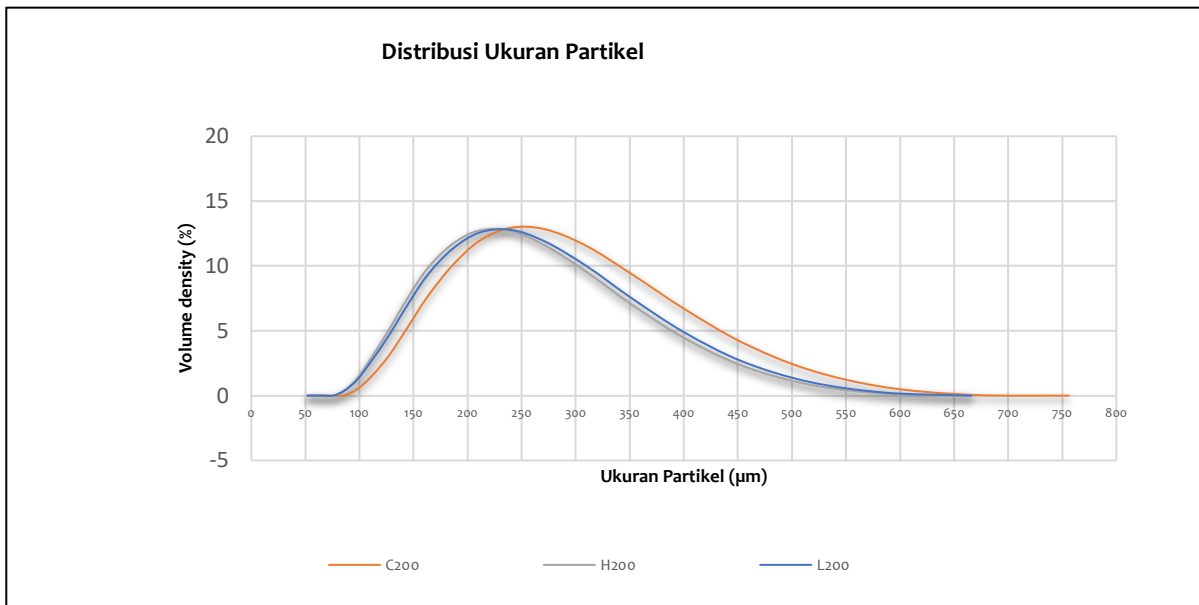
Distribusi Ukuran Partikel

Distribusi ukuran partikel dari *ammonium perchlorate* adalah penting dalam memahami sifat fisik dan kimia. Sifat fisik dan kimia memainkan peran penting terhadap sifat mekanik kinerja propelan.

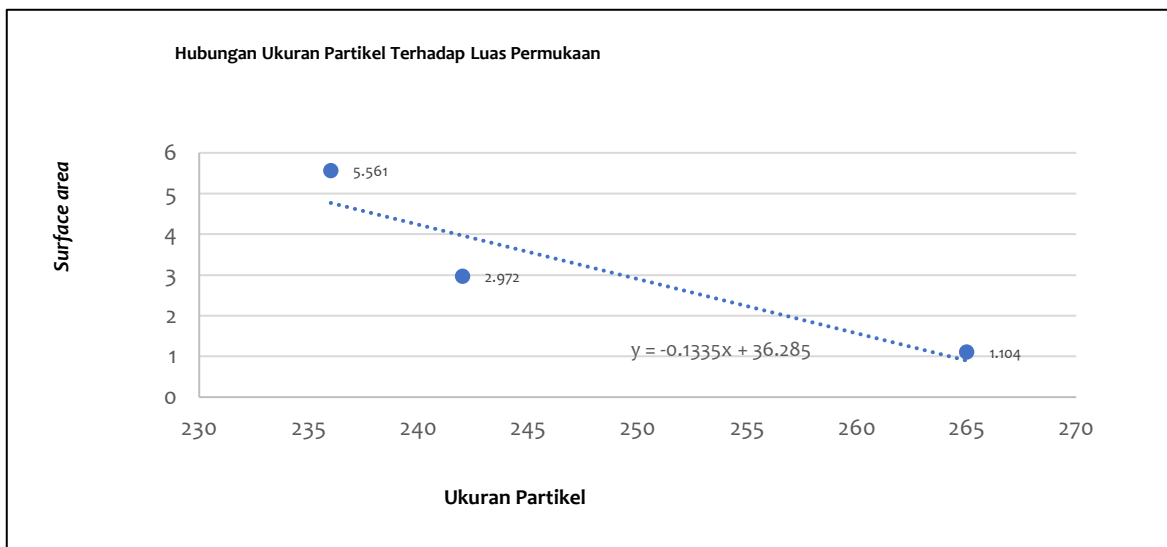
Distribusi ukuran partikel ditentukan dengan PSA (*particle size analyzer*) *Mastersizer 3000-v3.63 Malvern*. Prinsip



Gambar 5. Pengaruh Grinding Pada Bentuk Partikel *Ammonium Perchlorate*
Sumber: Sain Junil, et al, 2020



Gambar 6. Distribusi Ukuran Partikel C200, H200, dan L200
 Sumber: Olahan Peneliti,2020



Gambar 7. Hubungan Ukuran Partikel Terhadap Luas Permukaan
 Sumber: Hasil Olahan Peneliti,2020

yang digunakan ialah *Laser Difraksi (LD)*. Hasil nya dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa kemiringan data pada grafik C200 cenderung ke arah kanan (distribusi miring positif) dimana nilai *mean* lebih besar dari nilai *modus* ($mean > modus$). Sehingga dapat disimpulkan bahwa distribusi ukuran partikel untuk sampel C200 didominasi oleh ukuran yang lebih

besar (data dapat dilihat pada Tabel 3), disusul dengan ukuran partikel *ammonium perchlorate* dari LAPAN. Sampel H200 menempati posisi ke tiga untuk distribusi ukuran partikel yang terkecil.

Ukuran partikel mempengaruhi luas permukaan partikel (*surface area*). Dari hasil penelitian ini diperoleh hubungan terbalik antara *surface area* dan ukuran

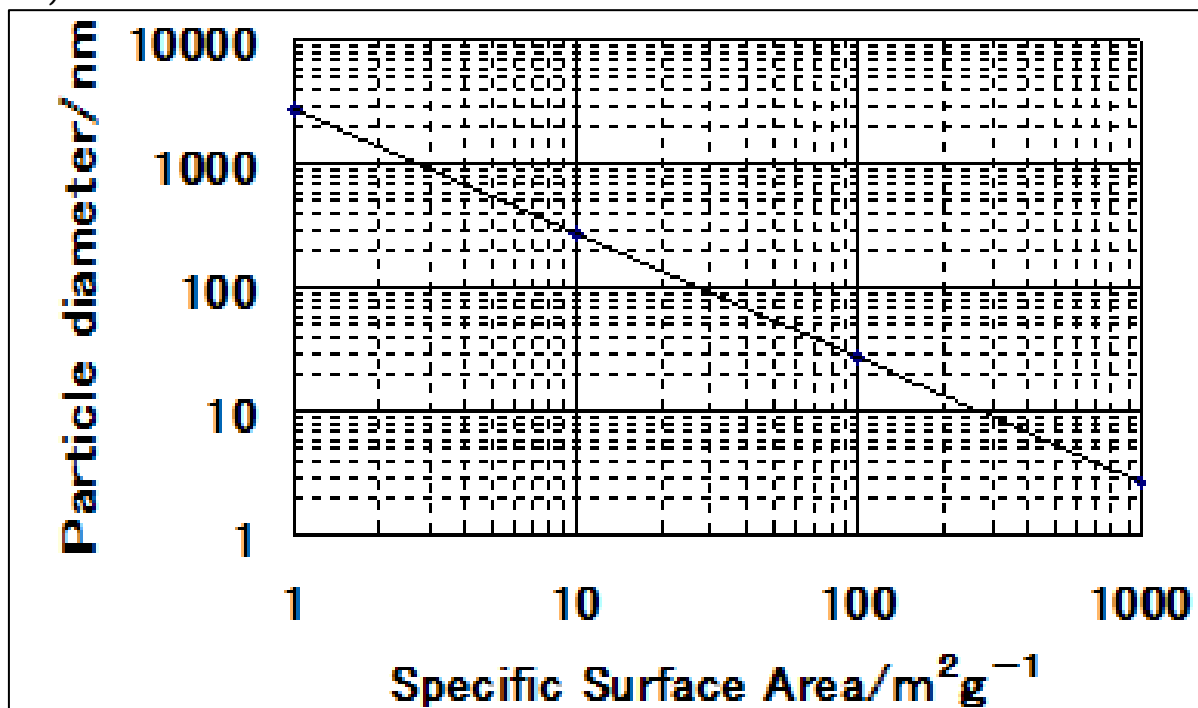
partikel, ditunjukkan pada Gambar 7 dibawah ini.

Dari Gambar 7 dapat dilihat kesesuaian teori partikel dengan hasil penelitian. Dimana ukuran partikel sampel C200 memiliki luas permukaan yang lebih besar diikuti sampel L200, dan H200 memiliki luas permukaan area yang paling besar.

Luas permukaan partikel merupakan dampak dari ukuran partikel dimana semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan partikel (*surface area*) akan semakin besar.

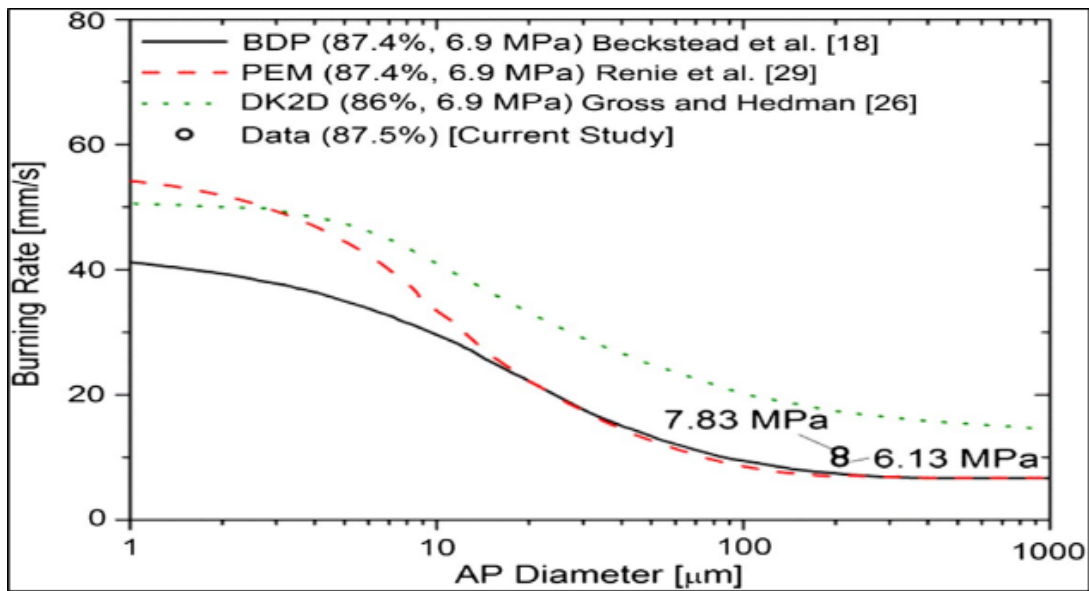
Pengaruh Surface Area Terhadap Kinerja Propelan (*Burn Rate*)

Pengaruh luas permukaan partikel (*surface area*) memberikan dampak langsung terhadap luas pembakaran dan laju pembakaran. Apabila luas pembakaran dan laju pembakaran meningkat maka *specific impulse* juga akan meningkat. Peneliti senior yaitu Thomas, C. James, (2019) telah melakukan penelitian terhadap hubungan antara ukuran partikel dan laju pembakaran (*burn rate*) saat terjadinya



Gambar 8. Size Particle vs Surface Area

Sumber: Technical Article BET Surface Area 2020



Gambar 9. Ukuran Partikel vs *Burning Rate*
 Sumber: Thomas, C James, et al, 2019

proses reaksi kimia atau reaksi pembakaran, dapat dilihat pada gambar 9.

Dari Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel meningkatkan laju pembakaran, dan semakin tinggi laju pembakaran, menyebabkan luas pembakaran yang merata ke seluruh campuran propelan dan hal ini yang menyumbangkan peningkatan nilai *specific impulse* (*isp*) propelan komposit. Hasil penelitian *Merrill Beckstead* ini dapat menjadi validasi terhadap hasil penelitian ini, dimana hasil menunjukkan bahwa hubungan *surface area* dan *burn rate* adalah linier. Parameter lain dari karakteristik *ammonium perchlorate* yang dapat ditingkatkan untuk mendapatkan kinerja propelan yang lebih baik ialah dari bentuk partikel dan pertimbangan konsentrasi katalis yang digunakan.

Kesimpulan Rekomendasi dan Pembatasan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa ukuran partikel, bentuk partikel dan luas permukaan partikel masing-masing sampel berbeda meskipun dengan ukuran sampel awal adalah 200 μm . Setelah dianalisa, perbedaan karakteristik dari ke 3 sampel tersebut sangat signifikan. Ukuran partikel H200 lebih kecil sehingga menyebabkan luas permukaan partikel nya besar. C200 memiliki bentuk partikel yang lebih *sphericity* (nilai 0,68) dibandingkan dengan sampel H200 dan L200. Untuk sampel L200 yaitu bahan baku dalam negeri bentuk partikel dan distribusi ukuran partikel nya masih belum sesuai yang diharapkan.

Dari hasil Analisa karakteristik tersebut dapat dinyatakan bahwa kinerja propelan (*isp*) dipengaruhi oleh *burn rate*, sedangkan *burn rate* dipengaruhi oleh

luas permukaan partikel yang besar, dan luas permukaan yang besar merupakan efek dari ukuran partikel yang kecil. Semakin kecil partikel semakin besar luas permukaan area.

Rekomendasi yang dapat diberikan adalah, sebagaimana tujuan akhir dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan karakteristik *ammonium perchlorate* dalam negeri dengan melakukan analisis karakteristik *ammonium perchlorate* luar negeri dan telah di uji di LAPAN terhadap kinerjanya, maka LAPAN memiliki standar baku dalam hal meningkatnya karakteristik *ammonium perchlorate* dalam negeri. Dengan demikian selanjutnya dapat meningkatnya kinerja propelan komposit LAPAN hingga mencapai nilai Isp diatas 250 detik.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada waktu, alat dan biaya. Cukup banyak Karakteristik *ammonium perchlorate* yang perlu untuk dianalisa lagi selain karakteristik yang penguji Analisa pada penelitian ini. Namun untuk penelitian selanjutnya peneliti berharap dapat dilakukan analisa terhadap parameter karakteristik yang lain.

Daftar Pustaka

Jurnal

- Anwar, Syaiful,” Penguasaan Teknologi Pertahanan Oleh Sdm”, Jurnal Pertahanan, Vol.5, No.1, 2015, hlm 15-20
- Bakara, Jakondar,” Dampak MTCR Terhadap Bahan Baku Propelan”, Jurnal Dirgantara, 2006, Vol.7,2006, No.1, Hlm.17-20
- Chaturvedi, S., & Dave, P. N. Solid propellants: AP/HTPB composite propellants. Arabian Journal of Chemistry, Vol.12, 2019, No.8, Hlm. 2061–2068.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.12.033>
- Degirmenci, Ercan,” Effects of grain size and temperature of double base solid propellants”, Journal of Fuel, Vol.146, No. 1, 2015, hlm 95-102.
- Jain, Sunil, et al, “Size and Shape of Ammonium Perchlorate and their Influence on Properties of Composite Propellant”, Defence Science Journal, Vol. 59, 2009, hal 294-299.
- Morrow, G. R., & Petersen, E. L. (2017). The effects of AP particle size and concentration on AP/HTPB composite propellant burning rates. AIAA SciTech Forum - 55th AIAA Aerospace Sciences Meeting, (January), 1–10.
<https://doi.org/10.2514/6.2017-0831>
- James, C. Thomas, “Comprehensive Study of Ammonium Perchlorate Particle Size/Concentration Effects on Propellant Combustion”, Journal of Propulsion And Power,2019. Texas A&M University.Texas.
- 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>

Wibowo, H.B,” Perkiraan Impuls Jenis (Isp) Propelan Komposit Padat Berdasarkan Pengaruh Binder Sistem”, Jurnal Iptek Material, Vol. 1 Tahun 2001.

Wibowo, H.B,” Kajian Program Peningkatan Kinerja Propelan Komposit Berbasis Ap/Htpb/Al (Program Review of Increasing The Performance of Composite Propellant Base Ap/Htpb/Al)”, Jurnal Teknologi Dirgantara Vol.16 No.2, 2018, hlm.124.

Yogaswara, H.Y., “Strategi Percepatan Penguasaan Teknologi dan Industri Pertahanan: Studi Kasus Korea Selatan”, Defendonesia, Vol 3, No. 1,2017, hal .4.

Buku

Ferreira, T., & Rasband, W, “ImageJ User Guide”, 2012 (Kanada: National Institutes of Health, Bethesda, MD.

Nendra, Ari.Lasinta & Wibawa, Merancang Komponen Roket 3D dengan Autodesk Inventor Professional 2017, (Solo: bukukatta, 2018).

Website

Anonim, “The relationship between the particle size and surface area”. Retrived from <https://www.microtrac.com/applications/knowledgease/specific-surface-area/>, diakses pada 18 Januari 2020.

Sjafrie Sjamsoeddin,” Menentukan Instrumen Penangkalan.” dalam <https://sjafriesjamsoeddin.id/menentukan-instrumen-penangkalan/> ,12 Oktober 2017, diakses pada 4 Februari 2020.