

OPTIMASI VARIASI *FILLER* TERHADAP *CRUSHING STRENGTH* PADA PUPUK NPK NITRAT FORMULASI (15-13-18)

Affifah Rahmadhany Cahyaningrum, Denny Vitasari
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Kualitas fisik granul merupakan salah satu faktor penting yang menentukan mutu pupuk NPK Nitrat formulasi 15–13–18, terutama dalam mempertahankan ketahanan granul selama proses penanganan, penyimpanan, dan distribusi. Salah satu indikator yang digunakan untuk mengevaluasi mutu tersebut adalah nilai *Crushing strength*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penggunaan beberapa jenis *filler* terhadap karakteristik granul serta menentukan jenis *filler* yang memberikan performa terbaik. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset PT Pupuk Kujang Cikampek dengan menguji enam variasi *filler*, yaitu campuran kaolin 90% dan gypsum 10%, white gypsum, white clay, campuran kaolin 90% dan white clay 10%, kaolin, serta white natural bentonite. Setiap variasi dianalisis melalui pengujian *Crushing strength*, laju pengeringan, dan kadar air akhir granul. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan jenis *filler* memberikan pengaruh terhadap sifat fisik pupuk yang dihasilkan. Campuran kaolin 90% dan gypsum 10% menghasilkan nilai *Crushing strength* tertinggi sebesar 0,9332 kgf dengan kadar air akhir 0,31% setelah proses pengeringan selama tiga jam, sehingga mampu menghasilkan granul yang lebih kuat dibandingkan variasi *filler* lainnya. Sebaliknya, penggunaan white natural bentonite menghasilkan kekuatan granul yang lebih rendah. Berdasarkan hasil tersebut, campuran kaolin dan gypsum direkomendasikan sebagai *filler* yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas fisik granul pupuk NPK Nitrat formulasi (15–13–18).

Kata Kunci: *Crushing strength*, *Filler*, Pupuk NPK Nitrat, Granul

Abstract

The physical quality of granules is a crucial factor determining the quality of 15–13–18 formulation nitrate-based NPK fertilizer, particularly regarding granule durability during handling, storage, and distribution. *Crushing strength* is one of the key indicators used to evaluate this quality. This study aimed to evaluate the effect of various filler types on granule characteristics and to identify the filler that yields the best performance. The research was conducted at the PT Pupuk Kujang Cikampek Research Laboratory, testing six filler variations: a mixture of 90% kaolin and 10% gypsum, white gypsum, white clay, a mixture of 90% kaolin and 10% white clay, kaolin, and white natural bentonite. Each variation was analyzed based on *Crushing strength*, drying rate, and final granule moisture content. The results indicated that the type of filler influenced the physical properties of the resulting fertilizer. The mixture of 90% kaolin and 10% gypsum yielded the highest *Crushing strength* (0.9332 kgf) and a final moisture content of 0.31% after three hours of drying, thereby producing stronger granules than the other filler variations. Conversely, the use of white natural bentonite resulted in lower granule strength. Based on these findings, the kaolin and gypsum mixture is recommended as the most effective filler for enhancing the physical quality of 15–13–18 formulation nitrate-based NPK fertilizer granules.

Keywords: *Crushing strength*, *Filler*, NPK Nitrate Fertilizer, Granules

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor penting dalam suatu kemajuan negara. Agar tanaman dapat tumbuh subur dan menghasilkan panen yang melimpah, tanaman membutuhkan unsur hara atau nutrisi yang cukup dan seimbang. Tiga unsur hara utama yang paling dibutuhkan tanaman adalah Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Ketiga unsur ini tidak selalu tersedia dalam jumlah cukup di dalam tanah, sehingga perlu ditambahkan melalui pemberian pupuk. Pupuk yang mengandung ketiga unsur sekaligus disebut pupuk majemuk NPK. Permintaan terhadap pupuk NPK terus meningkat dari tahun ke tahun seiring pertumbuhan penduduk dunia yang membutuhkan lebih banyak bahan pangan. Di Indonesia, pupuk NPK termasuk dalam kategori pupuk bersubsidi karena perannya yang sangat vital bagi petani. Salah satu jenis pupuk NPK yang semakin banyak digunakan adalah Pupuk NPK Nitrat dengan komposisi 15-13-18, artinya pupuk ini mengandung 15% Nitrogen, 13% Fosfor, dan 18% Kalium. Angka-angka ini menunjukkan persentase berat masing-masing unsur hara dalam setiap kilogram pupuk. Yang membedakan pupuk NPK Nitrat dari jenis lainnya adalah sumber nitrogennya berasal dari senyawa nitrat, bukan dari urea atau ammonium. Nitrogen dalam bentuk nitrat lebih mudah dan lebih cepat diserap oleh akar tanaman sehingga efeknya lebih segera terasa, terutama untuk tanaman hortikultura seperti sayuran dan buah-buahan. Pupuk NPK umumnya diproduksi dalam bentuk butiran atau granul agar mudah ditaburkan dan tidak mudah terbawa angin. Salah satu ukuran kualitas fisik butiran pupuk yang paling penting adalah *Crushing strength*, yaitu kekuatan butiran pupuk untuk bertahan dari tekanan atau benturan tanpa hancur. Nilai *Crushing strength* ini diukur menggunakan alat khusus yang memberikan tekanan pada sebutir pupuk hingga butiran tersebut pecah, dan hasilnya dicatat dalam satuan Newton (N) atau kilogram-force (kgf).

Crushing strength menjadi penting karena jika pupuk yang mudah hancur menjadi serbuk halus saat dimasukkan ke dalam karung atau diangkut dengan truk. Serbuk pupuk tersebut akan sulit ditaburkan secara merata, mudah beterbangan, dan unsur haranya lebih cepat hilang terbawa air hujan atau angin sebelum sempat diserap tanaman. Selain itu, bagi petani yang menggunakan mesin penaburan pupuk otomatis (alat modern yang menuangkan pupuk langsung ke lahan), butiran pupuk yang hancur menjadi serbuk akan menyumbat mesin tersebut dan mengganggu proses pemupukan. Sebaliknya, butiran pupuk yang terlalu keras justru akan sulit larut di dalam tanah, sehingga unsur haranya tidak dapat diserap tanaman secara optimal. Oleh karena itu, *Crushing strength* yang ideal dan seimbang sangat dibutuhkan. Dalam proses pembuatan pupuk NPK granul, dibutuhkan bahan tambahan yang disebut *Filler*. *Filler* adalah bahan pengisi yang ditambahkan ke dalam campuran pupuk untuk melengkapi bobot produk akhir sesuai formulasi yang ditargetkan, sekaligus berfungsi sebagai pengikat (*binder*) yang membantu butiran pupuk terbentuk dengan padat dan kuat. Berbagai jenis bahan dapat digunakan sebagai *filler*, misalnya dolomit (batuan kapur yang mengandung

magnesium), kalsit (batu kapur murni), kaolin (tanah liat putih), bentonit (lempung vulkanik bersifat lengket), hingga bahan organik tertentu. Setiap jenis *filler* memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda-beda, sehingga pemilihan jenis dan jumlah *filler* akan sangat mempengaruhi kekuatan akhir butiran pupuk yang dihasilkan.

Selain jenis *filler*, faktor lain yang tidak kalah penting adalah waktu pengeringan. Setelah butiran pupuk terbentuk melalui proses granulasi (pembentukan butiran), butiran tersebut masih mengandung kadar air yang cukup tinggi. Butiran basah ini kemudian harus dikeringkan di dalam alat pengering (dryer) hingga kadar airnya turun ke batas yang aman, biasanya di bawah 1–2%. Proses pengeringan inilah yang menentukan seberapa kuat ikatan antar partikel di dalam butiran pupuk tersebut.

Waktu pengeringan yang terlalu singkat akan menghasilkan butiran yang masih lembap dengan kadar air tinggi. Butiran yang lembap ini mudah saling menempel satu sama lain membentuk gumpalan besar yang disebut caking, selain itu kekuatan mekanisnya pun rendah karena ikatan antar partikel belum terbentuk sempurna. Sebaliknya, waktu pengeringan yang terlalu lama atau suhu yang terlalu tinggi dapat membuat butiran menjadi retak halus di bagian dalam akibat tekanan panas yang berlebihan (disebut thermal stress atau tegangan termal), sehingga butiran justru menjadi rapuh dan mudah hancur. Oleh karena itu, waktu pengeringan harus diatur secara tepat dan optimal agar diperoleh butiran pupuk dengan kekuatan terbaik

Tantangan menjadi lebih besar pada formulasi NPK Nitrat 15–13–18 ini, karena senyawa nitrat yang digunakan bersifat higroskopis, artinya mudah menyerap uap air dari udara sekitarnya. Sifat ini membuat proses pengeringan dan pengendalian kondisi produksi harus dilakukan dengan lebih hati-hati dan presisi. Selain itu, senyawa nitrat juga memiliki titik leleh yang relatif rendah, sehingga proses pengeringan pada suhu tinggi berisiko menyebabkan sebagian bahan meleleh dan merusak struktur granul. Inilah mengapa penelitian khusus untuk formulasi NPK Nitrat ini sangat diperlukan dan tidak bisa begitu saja mengacu pada hasil penelitian NPK biasa berbasis urea atau ammonium.

Sampai saat ini, penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh kombinasi variasi *filler* dan waktu pengeringan terhadap *Crushing strength* pada pupuk NPK Nitrat formulasi 15–13–18 masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian yang ada hanya berfokus pada pupuk NPK berbasis urea atau ammonium dengan formulasi yang berbeda. Kesenjangan pengetahuan ini menjadi penting untuk segera dijawab, mengingat kebutuhan pasar terhadap pupuk NPK Nitrat terus meningkat, terutama untuk tanaman hortikultura dan perkebunan bernilai ekonomi tinggi yang membutuhkan serapan nitrogen yang cepat dan efisien. Untuk menjawab permasalahan tersebut secara ilmiah dan efisien, penelitian ini menggunakan pendekatan Rancangan Percobaan. Pendekatan ini memungkinkan

peneliti untuk menguji berbagai kombinasi variabel secara terencana dan terstruktur, sehingga dapat diketahui kondisi terbaik dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit namun tetap menghasilkan kesimpulan yang valid dan dapat diandalkan.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang dilaksanakan di Laboratorium Riset PT Pupuk Kujang Cikampek. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi *filler* terhadap nilai *Crushing strength* granul pupuk NPK Nitrat formulasi (15–13–18). Bahan *filler* yang digunakan terdiri atas enam variasi, yaitu campuran 90% kaolin + 10% gypsum, *white gypsum*, *white clay*, campuran 90% kaolin + 10% *white clay*, kaolin, dan *white natural bentonite*. Seluruh sampel diproses menggunakan formulasi dasar dan kondisi operasi yang sama sehingga perbedaan hasil hanya dipengaruhi oleh jenis *filler* yang digunakan.

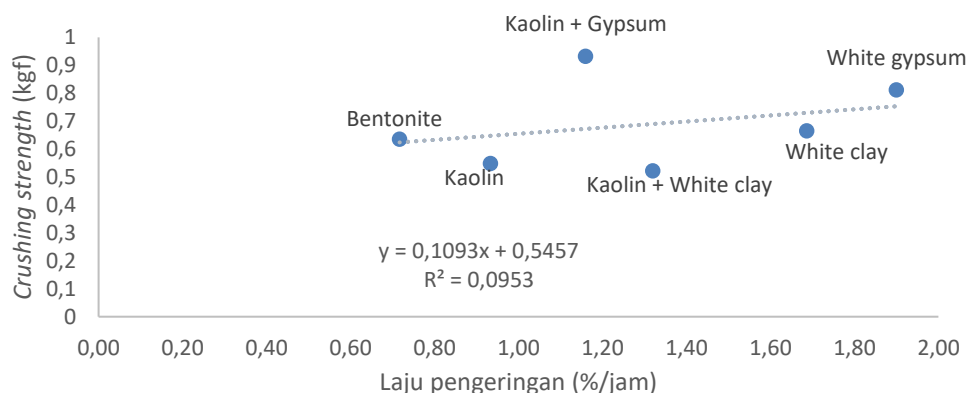
Proses penelitian diawali dengan penimbangan bahan baku sesuai formulasi, dilanjutkan dengan pencampuran, granulasi, dan pengeringan hingga mencapai kadar air yang ditentukan. Granul yang dihasilkan kemudian diuji menggunakan *hardness tester* untuk memperoleh nilai *Crushing strength*. Selain itu, dilakukan pengujian kadar air dan laju pengeringan sebagai parameter pendukung dalam mengevaluasi kualitas fisik granul.

Data hasil pengujian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variasi *filler* terhadap karakteristik granul. Variasi *filler* yang menghasilkan nilai *Crushing strength* tertinggi dengan kadar air yang memenuhi spesifikasi ditetapkan sebagai formulasi terbaik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hubungan Laju pengeringan terhadap *Crushing strength*

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan diketahui hubungan antara laju pengeringan rerata dengan *Crushing strength* menunjukkan kecenderungan positif. Hal ini ditunjukkan oleh persamaan garis tren $y = 0,1093x + 0,5457$, dengan koefisien regresi bernilai positif. Artinya, peningkatan laju pengeringan cenderung diikuti oleh peningkatan nilai *Crushing strength*. Namun, nilai R^2 sebesar 0,0953 menunjukkan bahwa hubungan antara laju pengeringan dan *Crushing strength* tergolong sangat lemah. Dengan demikian, laju pengeringan. Laju pengeringan tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *crushing strenght*.



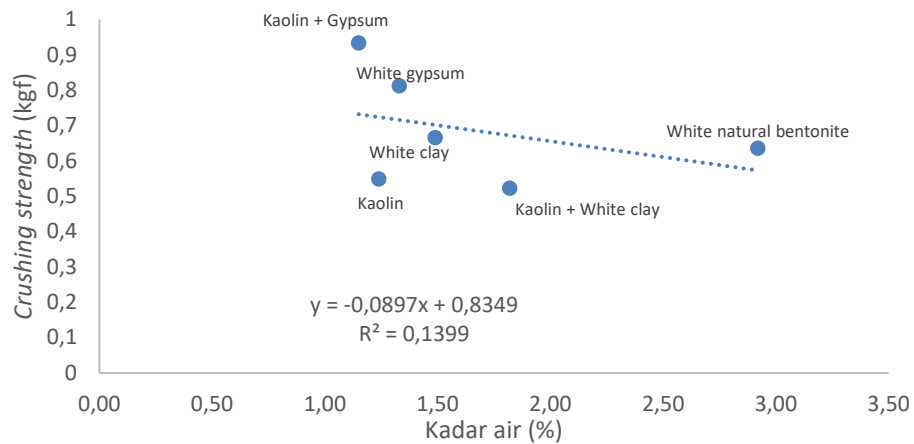
Gambar 1. Grafik Hubungan Laju Pengeringan terhadap *Crushing strength*.

Hasil ini berbeda dengan penelitian (Maghsoodia and Yari, 2015), yang menunjukkan bahwa laju pengeringan memengaruhi *Crushing strength* granul hasil spherical crystallization. Peningkatan konstanta laju pengeringan dari 0,11 menjadi 0,32 menit⁻¹ diikuti dengan penurunan *Crushing strength* dari 4,75 menjadi 2,72 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan negatif, yaitu semakin tinggi laju pengeringan maka semakin rendah kekuatan mekanik granul. Pengeringan yang terlalu cepat menyebabkan partikel penyusun granul tidak memiliki waktu yang cukup untuk mengalami penyusutan dan penataan ulang, sehingga ikatan antarpartikel yang terbentuk menjadi lebih sedikit dan struktur granul menjadi lebih berpori. Kondisi tersebut menyebabkan granul lebih mudah mengalami kerusakan ketika menerima beban tekan.

Perbedaan hasil ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jenis granul yang digunakan. (Maghsoodi and Yari, 2015) meneliti aglomerat hasil spherical crystallization, sedangkan penelitian ini menggunakan granul NPK nitrat. Pada granul NPK nitrat, *Crushing strength* tidak hanya dipengaruhi oleh laju pengeringan, tetapi juga oleh beberapa faktor lain, seperti komposisi pupuk, proses pembentukan granul, distribusi ukuran partikel, kadar air akhir, dan kekompakan granul. Faktor-faktor tersebut dapat memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan laju pengeringan sehingga hubungan antara laju pengeringan dan *Crushing strength* menjadi lemah.

3.2 Hubungan Kadar Air terhadap *Crushing strength*.

Berdasarkan Gambar 4.2, hubungan antara kadar air akhir dengan *Crushing strength* menunjukkan kecenderungan negatif. Hal ini ditunjukkan oleh persamaan garis tren $y = -0,0897x + 0,8349$, dengan koefisien regresi bernilai negatif. Artinya, semakin tinggi kadar air akhir, nilai *Crushing strength* cenderung menurun. Secara umum, kadar air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan granul masih lembap sehingga ikatan antarpartikel belum terbentuk secara optimal. Namun, nilai R^2 sebesar 0,1399 menunjukkan bahwa hubungan antara kadar air dan *Crushing strength* juga tergolong sangat lemah. Dengan demikian, kadar air akhir juga tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *Crushing strength*.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Air terhadap *Crushing strength*.

Pada penelitian yang dilakukan (Ben et al, 2023) menunjukkan bahwa kadar air berpengaruh terhadap *Crushing strength* pellet. Peningkatan kadar air dari 6,74% menjadi 11,91% diikuti dengan peningkatan compressive strength dari 3,92 MPa menjadi 10,52 MPa. Penulis menjelaskan bahwa peningkatan kadar air membantu pembentukan liquid bridge di antara partikel sehingga ikatan antarpartikel menjadi lebih kuat dan pellet memiliki ketahanan tekan yang lebih tinggi. Hasil tersebut berbeda dengan penelitian ini, perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh karakteristik material yang berbeda. Pellet gluten tersusun oleh protein yang bersifat kohesif sehingga penambahan kadar air dapat meningkatkan pembentukan ikatan antarpartikel. Sebaliknya, pada granul NPK nitrat, kadar air akhir hanya berkisar 1,15–2,92%, sehingga rentang variasinya relatif sempit dan belum cukup untuk memberikan perubahan yang nyata terhadap *Crushing strength*. Selain itu, kekuatan granul NPK nitrat lebih dipengaruhi oleh jenis *filler*, kekompakan struktur granul, dan mekanisme pembentukan ikatan antarpartikel dibandingkan oleh kadar air akhir.

4. PENUTUP(STYLEHEADING)

Berdasarkan hasil penelitian, jenis *filler* menghasilkan kadar air, laju pengeringan, dan nilai *Crushing strength* yang berbeda. *Filler* yang mampu melepaskan air lebih cepat umumnya memiliki kadar air akhir yang lebih rendah, namun hubungan antara laju pengeringan maupun kadar air terhadap *Crushing strength* tergolong sangat lemah. Dengan demikian, laju pengeringan dan kadar air akhir tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *Crushing strength* granul NPK nitrat. Nilai *Crushing strength* lebih dipengaruhi oleh faktor lain, seperti jenis *filler*, kemampuan *filler* membentuk ikatan antarpartikel, kekompakan struktur granul, dan karakteristik fisik granul.

PERSANTUNAN

Terima kasih kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Denny Vitasari, S.T.,M.Eng.Sc. atas bimbingan yang selama ini diberikan, bapak dan ibu, keluarga, serta teman-teman yang senantiasa memberikan dukungan. Saya benar-benar bersyukur.

DAFTAR PUSTAKA

- Article, O. (2015) 'Effect of Drying Phase on the Agglomerates Prepared by Spherical Crystallization', 14(July 2013), pp. 51–57.
- Auditia.B.,A. *et al.* (2018) '*FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL EFFECT OF GYPSUM POWDER AS A FILLER IN ASPHALT*', pp. 149–155.
- Bimantara, A., Aditya, C. and Halim, A. (2024) '*KAJIAN PELAT BETON BERTULANG YANG TAHAN TERHADAP*', 4(1).
- Characteristics, C. and Pellet, G. (2023) 'Gluten Pellet'.
- Daniswara, B., Benyamin, B. and Sugiarto, F.A. (2024) 'Differences In Dimensional Stability Of Type Iii Gypsum (Dental Stone) Using Potassium Sulfate And Without Adding Potassium Sulfate', 6(March), pp. 59–64.
- Gargouri, M. *et al.* (2011) 'Synthesis and Physicochemical Characterization of Pure Diammonium Phosphate from Industrial Fertilizer', pp. 6580–6584.
- Geser, N.K. (2023) 'Sainstek', 1, pp. 0–5.
- Gorbovskiy, K. *et al.* (2017) 'Properties of complex ammonium nitrate-based fertilizers depending on the degree of phosphoric acid ammoniation', *International Journal of Industrial Chemistry*, 8(3), pp. 315–327. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40090-017-0121-4>.
- Gul, A. *et al.* (2015) 'IMPROVEMENT OF MECHANICAL STRENGTH OF IRON ORE PELLETS USING RAW AND', 51(1), pp. 23–36.
- Hastuty, I.P. (2019) 'Comparison of the Use of Cement , Gypsum , and Limestone on the Improvement of Clay by Using Unconfined Compression Test', 5(2).
- Irawati, U. and Wianto, T. (1999) 'Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi', pp. 59–65.
- Kasmadi, K., Nugroho, B., Sutandi, A., & Anwar, S. (2020). PENGARUH PENAMBAHAN *FILLER* BLOTONG TERHADAP POTENSI CAKING PUPUK MAJEMUK GRANUL. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 1–6. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.1.1>
- Kimia, T. *et al.* (2023) 'PERHITUNGAN EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS PADA UNIT COOLER DI PT . XY', pp. 1–7.
- Krestiani, V. and Rizqiyanto, J. (2024) 'KCL TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL KACANG HIJAU (*Vigna radiata* L).', 2.
- Lukmana, P. (2018) 'UJI PUPUK KCL DAN BOKASI GULMA TERHADAP PRODUKSI TANAMAN JAGUNG MANIS (*Zea mays saccharata* Sturt) KCL and Bokashi Gulma Fertilizer Experiment to Production Sweet Corn (*Zea mays Saccharata* Sturt)', XXXIV(April), pp. 19–26.
- Marintika, G.F., Cundari, L. and Kurniawan, F.H. (2023) 'PROSES PENGERINGAN NPK BERDASARKAN EVALUASI ROTARY DRYER DAN KADAR AIR NPK DI PT . PETROKIMIA', 14(1), pp. 273–289. Available at: <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i1.1279>.
- Marisa, T.H.E. *et al.* (2014) 'GRANUL TABLET KUNYAH BEE POLLEN THE OPTIMIZATION OF TEMPERATURE AND TIME OF'.
- Muhamadiyah, S. (2018) 'FORMULASI SEDIAAN GRANUL DENGAN BAHAN PENGIKAT PATI KULIT PISANG GOROHO (*Musa acuminata* L .) DAN PENGARUHNYA PADA SIFAR FISIK GRANUL', 7(4), pp. 1–11.

- Optimation, T.H.E. *et al.* (2014) 'GRANUL TABLET KUNYAH BEE POLLEN THE OPTIMATION OF TEMPERATURE AND TIME OF'.
- Septiansyah, S.I. and Afandi, I.H. (2024) 'Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri The Effect of Kaolin Addition as a Binder in Making Pellets Iron Concentrate', 15(2), pp. 67–77. Available at: <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2024.v15.no2.p>.
- Septino, N.K. *et al* (2023) 'Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Penambahan Litaseam Gypsum Ditinjau Dari Nilai Kuat Geser', Vol 11 No 1.
- Sompie, O.B.A. *et al.* (2014) 'PENAMBAHAN CAMPURAN BENTONIT DAN KAOLIN PADA TANAH PLASTISITAS BERBEDA PADA TINGKAT KEPADATAN MAKSIMUM', 4(2), pp. 127–134.
- Sun, L. *et al.* (2024) '*Crushing Force Prediction Method of Controlled-Release*'
- Tarigan, T. *et al.* (2023) 'PERHITUNGAN EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS PADA UNIT COOLER DI PT . XY', pp. 1–7.