



Ranah Research : Journal of Multidisciplinary Research and Development

+62 821-7074-3613



ranahresearch@gmail.com



<https://jurnal.ranahresearch.com/>



Sintesis dan Karakterisasi Pupuk Multinutrien Calcium-Ammonium-Phosphate (CAP) Berbahan Cangkang Kupang Merah

Nasywa Nailah Rosikah¹, Fajar Nanda Rahmawati², Ketut Sumada³

¹ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Veteran Jawa Timur, Indonesia, nasywanailahr@gmail.com

² Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Veteran Jawa Timur Indonesia, nandarahma2929@gmail.com

³ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Veteran Jawa Timur Indonesia, sumadaketut@gmail.com

Corresponding Author: nasywanailahr@gmail.com

Abstract: *Fertilisers and composites are two types of materials that can be used to improve soil fertility. However, these two materials have some differences. One of them is in the manufacturing process, fertilisers can be made in various ways, while the composite manufacturing process can only be done by biological processes. The objectives of this paper are (1) To determine the effect of acidity degree (pH) on the formation of Calcium-Ammonium-Phosphate particles, (2) To determine the optimisation of Calcium Ammonium Phosphate from red mussel shells by precipitation method, and (3) To determine the characteristics of Calcium-Ammonium-Phosphate produced using SEM-EDX and XRF analysis. The type of research used uses experimental research. The results and conclusions drawn are (1) The solubility of CaHPO₄ decreases with increasing pH so that the weight of the resulting product increases in the precipitation method, (2) The best condition for making calcium ammonium phosphate fertiliser with red shell material is in the condition of red shell weight of 30 grams and pH 7, (3) The chemical composition contained in the CAP product with the condition of 20 grams of shell weight at pH 5 is Ca content of 74.76%, and phosphorus content of 23.5%, (4) The particle size at pH 3 weight of 20 grams ranges from 830 nm - 1970 nm and the particle size at pH 3 weight of 30 grams ranges from 1980 nm - 5220 nm. Therefore the fertiliser product does not include nano particles, (5) The CAP fertiliser product meets the SNI standards for NPK fertiliser and dolomite fertiliser.*

Keyword: *Red Mussel Shell, CAP, Multinutrient Fertiliser.*

Abstrak: Pupuk dan komposit adalah dua jenis bahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah. Namun, kedua bahan ini memiliki beberapa perbedaan. Salah satunya pada proses pembuatannya, pupuk dapat dilakukan dengan berbagai macam cara,

sedangkan proses pembuatan komposit hanya dapat dilakukan dengan proses biologis. Tujuan dari penulisan ini ialah (1) Mengetahui pengaruh Derajat Keasaman (pH) terhadap pembentukan partikel Calcium-Ammonium-Phosphate, (2) Mengetahui optimasi Calcium Ammonium Phosphate dari cangkang kupang merah dengan metode presipitasi, dan (3) Mengetahui karakteristik dari Calcium-Ammonium-Phosphate yang dihasilkan menggunakan analisa SEM-EDX dan XRF. Jenis penelitian yang digunakan menggunakan penelitian eksperimen. Hasil dan kesimpulan yang diambil ialah (1) Kelarutan CaHPO_4 menurun dengan meningkatnya pH sehingga berat produk yang dihasilkan meningkat pada metode presipitasi, (2) Kondisi terbaik pada pembuatan pupuk calcium ammonium phosphate dengan bahan cangkang kupang merah yaitu pada kondisi berat cangkang kupang merah sebesar 30 gram dan pH 7, (3) Komposisi kimia yang terkandung pada produk CAP dengan kondisi berat cangkang 20 gram pH 5 yaitu kadar Ca sebesar 74,76%, dan kadar fosfor sebesar 23,5%, (4) Ukuran partikel pada pH 3 berat 20 gram berkisar antara 830 nm - 1970 nm dan ukuran partikel pada pH 3 berat 30 gram berkisar antara 1980 nm – 5220 nm. Oleh karena itu produk pupuk tidak termasuk nano partikel, (5) Produk pupuk CAP memenuhi standar SNI pupuk NPK dan pupuk dolomit.

Kata Kunci: Cangkang Kupang Merah, CAP, Pupuk Multinutrien.

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan peningkatan produksi pangan secara kualitatif dan kuantitatif, yang diperlukan untuk memberi makan populasi dunia yang semakin meningkat, memerlukan penerapan protokol pertanian yang baru dan berkelanjutan. Pupuk dan komposit adalah dua jenis bahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah (1). Namun, kedua bahan ini memiliki beberapa perbedaan. Salah satunya pada proses pembuatannya, pupuk dapat dilakukan dengan berbagai macam cara (2), sedangkan proses pembuatan komposit hanya dapat dilakukan dengan proses biologis (3).

Kalsium memiliki peranan penting dalam pertumbuhan serta perkembangan tanaman (4). Untuk meningkatkan produksi pertanian, salah satu hambatan utama adalah kekurangan kalsium. Salah satu sumber kalsium dapat diperoleh dari cangkang kupang (5). Terdapat dua jenis kupang yaitu kupang merah dan kupang putih. Kupang merah (*Musculista senhousia*) merupakan salah satu hasil laut golongan kerang berukuran kecil berwarna merah. Berdasarkan data BPS (2018), limbah cangkang kupang merah di desa Balongdowo mencapai 2.853.600 kg/tahun. Dari data tersebut menyebabkan hasil limbah cangkang kupang merah banyak sehingga perlu adanya pemanfaatan limbah cangkang kupang untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

Selama ini, pemanfaatan limbah cangkang kupang belum maksimal, hanya dimanfaatkan sebagai pembuatan kitin, kitosan, katalis heterogen dalam proses biodiesel, dan pembuatan hydroxyapatite. Dari data hasil analisis XRF (2023), cangkang kupang merah mengandung sekitar 97,53% kalsium. Menurut Freddy (2020) memaparkan cangkang kupang merah mengandung sekitar 98% kalsium karbonat. Kalsium pada cangkang kupang merah bisa dimanfaatkan dalam membuat pupuk multi nutrient calcium ammonium phosphate (CAP). CAP adalah amonium calcium fosfat yang terbentuk dari pengendapan NH_4^+ , Ca^{2+} , dan PO_4^{3-} dalam kondisi basa. CAP dilaporkan memiliki kelarutan yang lebih tinggi dibandingkan pupuk MAP (struvite) dan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk fosfat jika P dilepaskan saat tanaman membutuhkannya (6). Pupuk calcium ammonium phosphate diterapkan ke tanah, terjadi proses hidrolisis, yaitu pemecahan senyawa-senyawa kompleks dalam pupuk menjadi bentuk-bentuk yang dapat diserap oleh tanaman.

Pada penelitian sebelumnya, pengkajian pupuk multinutrient dilakukan menggunakan air limbah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dengan metode presipitasi. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan bahan dinatrium hidrogen fosfat (Na_2HPO_4) dengan memvariasikan waktu pengadukan dan kecepatan putaran pengaduk sebesar 200 rpm. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut yaitu pupuk multinutrient phosphate based dengan berat 10 gram/liter air limbah. Penambahan Na_2HPO_4 sebanyak 16 gram./liter dapat menghasilkan berat optimum dengan waktu pengadukan 60 menit. Kualitas pupuk yang dihasilkan dari penelitian tersebut yaitu PO_4 berkisar 44,10%, Mg besikar 0,02%, K berkisar 29,20%, serta Ca berkisar 2,68% dan berat pupuk 10 gram per liter air limbah (7).

Pada penelitian sebelumnya pengkajian pupuk multinutrient dilakukan menggunakan bittern industri garam. Proses dilakukan dengan mereaksikan bittern industri garam yang mengandung ion K dan Mg dengan kombinasi NaH_2PO_4 dan NaOH . Metode tersebut pada dasarnya terdiri dari pencampuran NaH_2PO_4 dengan limbah air laut, diikuti dengan netralisasi dengan larutan NaOH untuk mengendapkan. garam multinutrien yang dilakukan dengan penyaringan, dicuci dan dikeringkan. Di bawah kondisi reaksi yang sesuai pH 10 dan suhu 15°C , selama 60 menit dan 1.250g/ml, dan kecepatan pengadukan 350 rpm, Hasil yang diperoleh pada penelitian tersebut yaitu pupuk padatan yang mengandung Mg-K- PO_4 , $\text{Mg}_3(\text{PO})$ dan NaCl . komposisi pupuk yang dihasilkan dari penelitian tersebut menghasilkan garam dengan 54% PO_4 , 18% Mg, 5% K dan 0,05% B. (8).

Pada penelitian ini, pembuatan pupuk multinutrient dilakukan menggunakan bahan limbah cangkang kupang merah yang direaksikan dengan asam fosfat dan amonium hidroksida. Berdasarkan paparan diatas, penulis mengambil judul "Sintesis dan Karakterisasi Pupuk Multinutrien Calcium-Ammonium-Phosphate (CAP) Berbahan Cangkang Kupang Merah". Tujuan dari penulisan ini ialah (1) Mengetahui pengaruh Derajat Keasaman (pH) terhadap pembentukan partikel Calcium-Ammonium-Phosphate, (2) Mengetahui optimasi Calcium Ammonium Phosphate dari cangkang kupang merah dengan metode presipitasi, dan (3) Mengetahui karakteristik dari Calcium-Ammonium-Phosphate yang dihasilkan menggunakan analisa SEM-EDX dan XRF.

METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah cangkang kupang merah, Asam Fosfat (H_3PO_4), Ammonium Hidroksida (NH_4OH) 1N, dan Aquadest. Alat yang digunakan dalam penelitian ini Stopkontak, Kabel Magnetic Stirrer, Beaker glass, dan Magnetic stirrer.

Proses preparasi bahan meliputi tahapan Cangkang Kupang dicuci hingga bersih, Cangkang digrinding hingga halus menggunakan alat grinder, Cangkang yang sudah halus diayak dengan ayakan ukuran 100 mesh, dan Cangkang ditimbang sesuai variabel berat menggunakan neraca analitik.

Proses pembuatan CaNH_4PO_4 Cangkang yang sudah ditimbang kemudian dilarutkan dengan H_3PO_4 85% sebanyak 200 ml, Kemudian larutan difiltrasi dengan kertas saring sehingga didapatkan filtrat dan endapan, Endapan dikeringkan dengan oven lalu ditimbang menggunakan neraca analitik, Filtrat ditambahkan larutan NH_4OH 1 N tetes demi tetes hingga mencapai variabel pH yang telah ditetapkan dengan pengukuran pH menggunakan alat pH meter, Kemudian difiltrasi dengan kertas saring sehingga didapatkan endapan dan filtrat, Endapan dikeringkan dengan oven selama 3 jam dengan suhu 110°C , dan Endapan yang sudah kering ditimbang menggunakan neraca analitik.

Selanjutnya dilakukan analisa kandungan akhir produk. Analisa kandungan akhir produk menggunakan Analisa XRF dan SEM-EDX.

1. Analisis X-Ray Fluorescence (XRF); Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi fluorescence yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X.(9)

2. Analisis Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectrometry (SEM-EDX); SEM-EDX adalah alat yang memiliki ketelitian untuk mengklasifikasikan dan membedakan bahan uji karena dapat secara bersamaan memeriksa morfologi dan komposisi unsur objek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis XRF Bahan Baku Cangkang Kupang Merah

Pupuk merupakan bahan kimia yang ditambahkan ke tanah untuk menyediakan unsur hara bagi tanaman dalam bertumbuh dan bereproduksi. Pemupukan diharapkan dapat membantu meningkatkan hasil yang diperoleh karena kekurangan unsur hara dapat mengakibatkan pertumbuhan terhambat.(10) Pupuk mengandung banyak unsur seperti kalium, kalsium, tembaga, nitrogen, fosfor, belerang dan boron. Pupuk berbasis nitrogen dapat meningkatkan pembangunan pertanian, menghindari masalah kerawanan pangan dan mewujudkan ketahanan pangan dunia. Akar tanaman menyerap nitrogen dari tanah sebagai nitrat dan amonia. Kehadiran fosfor dalam media tanaman meningkatkan proses fotosintesis, yang mencerminkan rasio pembungaan, fruktifikasi, dan pematangan secara positif. Ini juga membantu dalam proses fiksasi nitrogen. Fungsionalitas jaringan meristematis akar dipengaruhi oleh konsentrasi fosfor dalam tanah. Jumlah fosfor yang dibutuhkan mungkin tidak tersedia secara alami di dalam tanah. Dalam hal ini, pemanfaatan sumber fosfor eksternal sangat diperlukan.(11) Pupuk kalsium nitrat dikombinasikan dengan pupuk P meningkatkan serapan nitrat tanaman, karena adanya alkalisasi rizosfer.(12)

Bahan baku berupa cangkang kupang yang merupakan limbah dari kupang diperoleh di Desa Balongdowo, Kota Sidoarjo, Jawa Timur. Berikut adalah hasil analisis XRF bahan baku cangkang kupang merah.

Tabel 1. Hasil Analisis XRF Bahan Baku Cangkang Kupang Merah.

Komponen	Konsentrasi (%)
CaO	97,79
SrO	0,90
Fe2O3	0,663
SO3	0,26
Lu2O3	0,17
ZrO2	0,1
MnO	0,050
CuO	0,0333

Berdasarkan hasil analisis tersebut, menunjukkan komponen CaCO₃ yang terkandung dalam cangkang kupang merah sebesar 97,79%. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa cangkang kupang merah memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk Calcium Ammonium Phosphate (CAP).

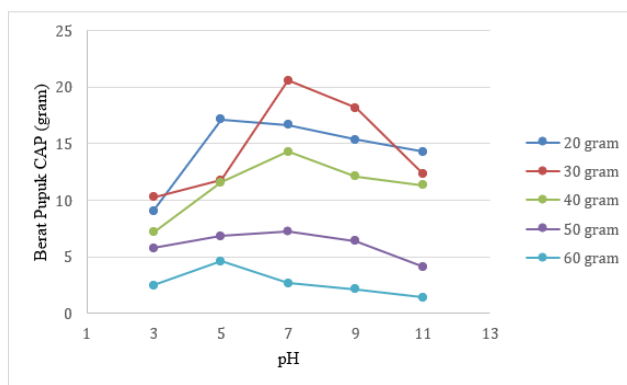
Hasil Produk Sintesis

Berdasarkan hasil pengeringan pupuk Calcium Ammonium Phosphate diperoleh berat produk yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini, yaitu:

Tabel 2. Hasil Produk Sintesis

Berat Cangkang Kupang (gr)	pH	Berat Pupuk CAP (gr)	Yield (%)
20	3	9,046	45,23
	5	17,153	85,765
	7	16,677	83,385
	9	15,371	76,855
	11	14,281	71,405
30	3	10,275	34,25
	5	11,794	39,31333333

Berat Cangkang Kupang (gr)	pH	Berat Pupuk CAP (gr)	Yield (%)
40	7	20,572	68,57333333
	9	18,144	60,48
	11	12,368	41,22666667
	3	7,166	17,915
	5	11,583	28,9575
	7	14,281	35,7025
	9	12,115	30,2875
	11	11,341	28,3525
	3	5,762	11,524
	5	6,821	13,642
	7	7,211	14,422
50	9	6,386	12,772
	11	4,138	8,276
	3	2,462	4,103333333
	5	4,624	7,706666667
	7	2,675	4,458333333
60	9	2,133	3,555
	11	1,432	2,386666667



Gambar 1. Hubungan pH terhadap Berat Produk CAP (gr)

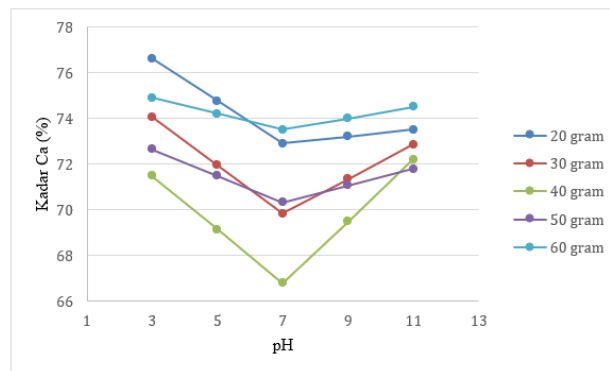
Pada Gambar 1 memaparkan hasil berat pupuk CAP yang dihasilkan pada proses pengeringan dengan bahan baku cangkang kupang merah. Berat yang dihasilkan dari proses pengeringan dengan menggunakan variabel berat cangkang kupang merah dan derajat keasaman (pH) menghasilkan berat pupuk CAP yang bermacam-macam. Hasil terbaik didapatkan pada variabel berat 20 gram dengan pH 5 karena persen yield yang dihasilkan paling besar yaitu 85,76%. Berdasarkan gambar IV.1 mengalami peningkatan berat produk dari pH 3 hingga 7 pada semua variabel berat cangkang kupang merah. Tetapi mengalami penurunan pada pH 9 hingga 11. Menurut (Sims, 2005), hubungan antara tingkat keasaman dan produk kalsium amonium fosfat dalam produksi pupuk adalah tingkat keasaman mempengaruhi kelarutan senyawa fosfat.

Keasaman reaksi mempengaruhi kelarutan senyawa fosfat, sehingga mempengaruhi kualitas dan karakteristik produk pupuk akhir. Kelarutan CaHPO_4 menurun dengan meningkatnya pH. Hal ini karena lebih banyak zat terlarut yang keluar dari larutan dan membentuk endapan padat (presipitasi). Semakin banyak endapan yang terbentuk, semakin tinggi pula berat produk yang dihasilkan. Namun, pada pH yang terlalu tinggi, ion fosfat (PO_4^{3-}) lebih cenderung mengendap sebagai hidroksiapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$). Sebaliknya, pada pH rendah, kelarutan CaHPO_4 meningkat sehingga produk yang dihasilkan menurun. Selain itu, pH yang terlalu rendah juga dapat menurunkan kelarutan pengotor lain, seperti besi (Fe) dan aluminium (Al), yang dapat mencemari produk akhir dan mempengaruhi kualitasnya. pH yang optimal untuk pembentukan CAP bervariasi tergantung pada kondisi suhu, konsentrasi reaktan, dan adanya ion lain. Pada penelitian ini, terdapat pH tertentu yang

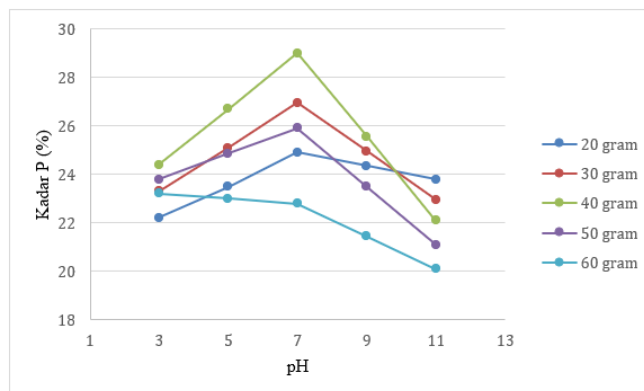
menghasilkan kecepatan presipitasi CAP tertinggi. Kondisi ini mempengaruhi ukuran dan morfologi kristal CAP, yang berdampak pada berat produk akhir.

Tabel 3. Kadar Kalsium dan Kadar Fosfor pada Pupuk CAP

Berat Cangkang Kupang (gr)	pH	Kadar Kalsium (Ca) (%)	Kadar Fosfor (P) (%)
20	3	76,63	22,2
	5	74,76	23,5
	7	72,9	24,9
	9	73,2	24,35
	11	73,5	23,8
30	3	74,06	23,3
	5	71,95	25,1
	7	69,85	26,95
	9	71,35	24,95
	11	72,85	22,95
40	3	71,5	24,4
	5	69,15	26,7
	7	66,8	29
	9	69,5	25,55
	11	72,2	22,1
50	3	72,65	23,8
	5	71,49	24,85
	7	70,33	25,9
	9	71,065	23,5
	11	71,8	21,1
60	3	74,9	23,2
	5	74,2	23
	7	73,5	22,8
	9	74	21,45
	11	74,5	20,1

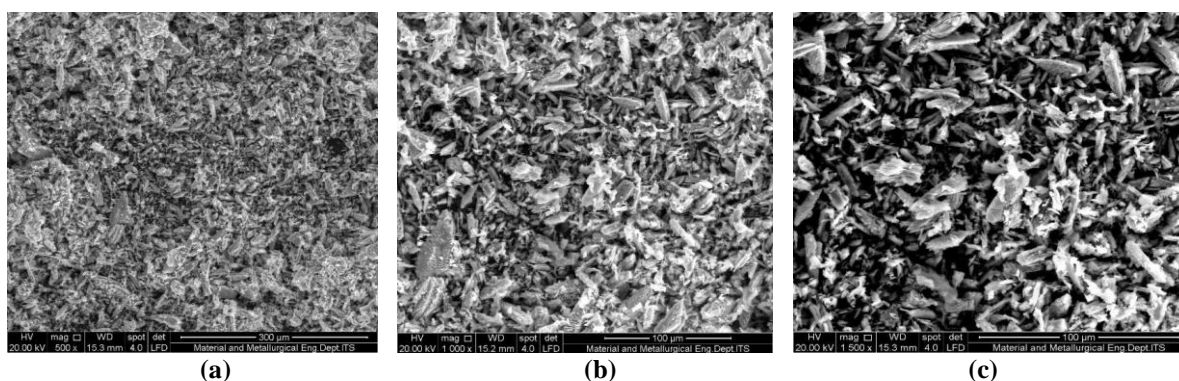


Gambar 2. Hubungan pH Terhadap Kadar Ca(%)

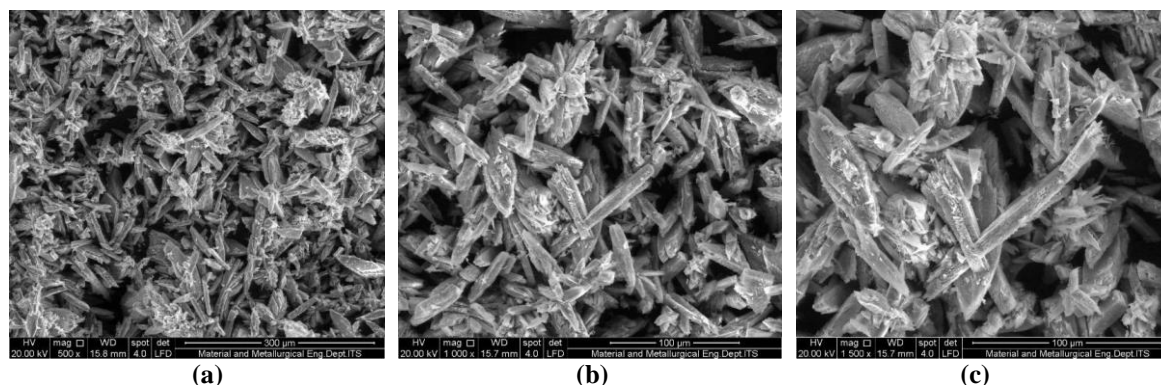


Gambar 3. Hubungan pH Terhadap Kadar P(%)

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 memaparkan hubungan pH terhadap kadar Ca dan P pada berbagai variasi berat cangkang kupang merah, menunjukkan bahwa kadar Ca mengalami penurunan pada pH 3 hingga pH 7 dan mengalami kenaikan setelah pH 7 hingga pH 11. Sebaliknya, kadar P mengalami kenaikan pada pH 3 hingga mencapai maksimum pada pH 7 dan mengalami penurunan pada pH 9 hingga pH 11. Menurut (Vilella, 2021), kadar P meningkat seiring dengan meningkatnya pH tetapi menekan peningkatan kadar Ca. Peningkatan pH melebihi batas optimal menyebabkan kadar Ca menurun. Hal tersebut karena semakin besar konsentrasi asam fosfat maka semakin banyak CaCO_3 yang larut sehingga produk yang dihasilkan semakin banyak dan menghasilkan kadar Ca yang tinggi tetapi P menurun. Pada kondisi asam, Ca dapat larut lebih banyak sedangkan P pada kondisi basa. Kadar nitrogen tidak bisa dianalisis menggunakan analisis XRF sehingga dilakukan analisis beberapa sampel dengan menggunakan analisis SEM-EDX. Berdasarkan hasil analisis EDX, pada variabel berat 20 gram dengan pH 3 diperoleh kadar nitrogen sebesar 6,52% sedangkan pada berat 30 gram dengan pH 3 diperoleh kadar nitrogen sebesar 8,76%.



Gambar 4. Hasil Analisis SEM Calcium Ammonium Phosphate pada Berat 20 gram, (a) Berat 20 gr pH 3 perbesaran 500x, (b) Berat 20 gr pH 3 perbesaran 1000x, (c) Berat 20 gr pH 3 perbesaran 1500x



Gambar 5. Hasil Analisis SEM Calcium Ammonium Phosphate pada Berat 30 gram (a) Berat 30 gr pH 3 perbesaran 500x, (b) Berat 30 gr pH 3 perbesaran 1000x, (c) Berat 30 gr pH 3 perbesaran 1500x

Analisa SEM (Scanning Electro Microscope) bertujuan untuk mengetahui karakteristik permukaan, morfologi serta struktur kristal. Adapun perbesaran yang dilakukan antara lain 500x, 1000x, dan 1500x. Perbesaran tersebut dipilih agar struktur kristal dapat terlihat dengan jelas. Ukuran partikel pada pH 3 dan berat 20 gram berkisar antara $0,83 \mu\text{m}$ - $1,97 \mu\text{m}$. Ukuran partikel pada pH 3 dan berat 30 gram berkisar antara $1,98 \mu\text{m}$ - $5,22 \mu\text{m}$. Karakteristik kristal kalsium amonium fosfat (CAP) dapat mempengaruhi penggunaannya sebagai pupuk. CAP adalah pupuk yang larut dalam air yang mengandung kalsium, nitrogen,

dan fosfor. Struktur kristal CAP berbentuk heksagonal, dan berwarna putih atau krem. Dapat diketahui dari hasil analisis SEM terdapat bagian kristal dengan bentuk tidak beraturan. Hal ini dikarenakan pada pupuk CAP masih mengandung ion-ion pengotor yang ikut terbentuk pada pemebentukan pupuk CAP. Tingkat keasaman campuran reaksi selama produksi CAP mempengaruhi kelarutan senyawa fosfat, sehingga mempengaruhi kualitas dan karakteristik produk pupuk akhir. Selain itu, kelarutan CAP dalam air dapat mempengaruhi ketersediaannya bagi tanaman. Berdasarkan hasil analisis EDX, diperoleh hasil kadar nitrogen pada variabel berat 20 gram dengan pH 3 sebesar 6,52% sedangkan pada berat 30 gram dengan pH 3 sebesar 8,76%. Karakteristik kristal CAP, seperti kelarutan dan struktur kristalnya, dapat mempengaruhi keefektifannya sebagai pupuk dan ketersediaannya bagi tanaman.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diambil berdasarkan paparan diatas ialah (1) Kelarutan CaHPO_4 menurun dengan meningkatnya pH sehingga berat produk yang dihasilkan meningkat pada metode presipitasi, (2) Kondisi terbaik pada pembuatan pupuk calcium ammonium phosphate dengan bahan cangkang kupang merah yaitu pada kondisi berat cangkang kupang merah sebesar 30 gram dan pH 7, (3) Komposisi kimia yang terkandung pada produk CAP dengan kondisi berat cangkang 20 gram pH 5 yaitu kadar Ca sebesar 74,76%, dan kadar fosfor sebesar 23,5%, (4) Ukuran partikel pada pH 3 berat 20 gram berkisar antara 830 nm - 1970 nm dan ukuran partikel pada pH 3 berat 30 gram berkisar antara 1980 nm – 5220 nm. Oleh karena itu produk pupuk tidak termasuk nano partikel, (5) Produk pupuk CAP memenuhi standar SNI pupuk NPK dan pupuk dolomit.

Saran ditujukan untuk tahap penelitian berikutnya yang berkaitan dengan pemahaman tentang pupuk calcium ammonium phosphate yaitu penelitian selanjutnya diharapkan untuk mencoba memvariasikan variabel lain seperti kecepatan pengadukan dalam pelarutan ataupun dalam presipitasi dan konsentrasi asam fosfat saat melakukan pelarutan agar didapatkan perbandingan yang bervariasi.

REFERENSI

- Brouwer P. Theory of XRF. Almelo: PANalytical BV. PANalytical, Netherlands; 2009.
- Chasanah HN. Pembuatan komposit Gypsum Orthophedic Cast dari Limbah Organik (Cangkang Kerang): Efek rasio air-serbuk dan serat-serbuk Development of Orthophedic Cast composite Gypsum from Organic Waste (Sea Shells): Effect of water-powder ratio and fiber-powder. Jakarta: Erlangga; 2015.
- Fernando L. Fabrication of Multinutrient Phosphate-Base Fertilizer From Seawater and Monocalcium phosphate. Proc I ChemE Res Event, Univ Leeds. 2005;2(1):850–9.
- Hasmeda M, Sari I., Munandar M, Ammar M, Gustiar F. Respon Pertumbuhan dan Hasil pada Tanaman Bayam (*Amaranthus* sp) terhadap Biofortifikasi Unsur Hara Kalsium (Ca) dan Besi (Fe) dengan Sistem Hidroponik. Pros Semin Nas Lahan Suboptimal Ke-9 Tahun 2021. 2021;721–33.
- Nganji MU, Sudarma IMA. Analisis status kesuburan tanah pada lahan budidaya rumput Odot (*Pennisetum purpureum* cv. Moot) dengan perlakuan pupuk bokashi sludge biogas berbeda. J Tanah dan Sumberd Lahan. 2023;10(2):223–9.
- Yopie M, Harun MU, Munandar, Hayati R, Gofar N. Pemanfaatan Berbagai Jenis Pupuk Hayati pada Budidaya Tanaman Jagung (*Zea mays*. L) Efisien Hara di Lahan Kering Marginal. J Lahan Suboptimal [Internet]. 2012;1(1):31–9. Available from: Morfologi Jagung

- Sikana AM, Ningsih NF, Saputri MR, Wandani SAT, Ambarwati. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kupang Sebagai Sumber dan Kitosan. *Sains dan Mat.* 2016;4(2):50–4.
- Nascimento CAC, Pagliari PH, Faria L de A, Vitti GC. Phosphorus Mobility and Behavior in Soils Treated with Calcium, Ammonium, and Magnesium Phosphates. *Soil Sci Soc Am J.* 2018;82(3):622–31.
- M, Meliyana M. Pemanfaatan Limbah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Ekspansif. *J Tek Sipil Unaya.* 2019;3(1):1–10.
- Purba T, Situmeang R, Rohman HF. Pemupukan dan Teknologi Pemupukan. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Jakarta: Yayasan Kita Menulis; 2021.
- Isik Z, Saleh M, Dizge N. Adsorption studies of ammonia and phosphate ions onto calcium alginate beads. *Surfaces and Interfaces.* 2021;26(10):982–98.
- Weng H, Tang C. Phosphorus improves effectiveness of calcium nitrate in ameliorating soil acidity. *Dep Prim Ind.* 2020;67(19).