

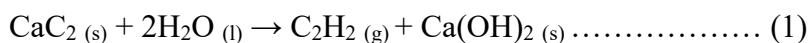


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Gas Asetilena

Asetilena dengan rumus molekul C_2H_2 adalah alkuna yang paling sederhana. Asetilena merupakan bahan penyusun serbaguna untuk sintesis organik karena struktur yang sederhana dan reaktivitas yang tinggi. Asetilena adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, ringan, dan mudah terbakar dengan suhu pembakaran yang tinggi (Voronin *et al.*, 2018). Gas asetilena berfungsi dalam bidang penerangan, pengelasan, pemotongan besi, hingga digunakan untuk mempercepat pematangan buah (Somalinggi *et al.*, 2020). Asetilena dapat diproduksi dengan mereaksikan kalsium karbida (CaC_2) berupa padatan berwarna abu-abu atau hitam dengan air (H_2O) sebagai reaktan. Reaksi tersebut menghasilkan produk berupa gas asetilena (C_2H_2) yang mudah terbakar dan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) atau limbah karbit sebagai produk samping dalam bentuk padatan basa (Voronin *et al.*, 2018). Berikut reaksi dari proses produksi asetilena :



II.2 Limbah Karbit (Ca(OH)_2)

Limbah karbit adalah sisa atau produk samping yang dihasilkan dari proses pembuatan gas asetilena (C_2H_2) menggunakan kalsium karbida (CaC_2) dan air (H_2O). Komposisi utama limbah karbit adalah kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang awalnya berbentuk lumpur basah atau padatan. Limbah ini memiliki warna abu-abu saat lembap, putih saat kering, berbau tajam, dan tidak larut dalam air. Awalnya terbentuk sebagai koloid karena reaksi gas dengan air, kemudian secara bertahap kehilangan gas sehingga mengering, rapuh, dan berubah menjadi serbuk. Limbah karbit atau kapur sisa dari industri asetilena tergolong dalam jenis kapur padam yang mengandung kadar CaO yang cukup tinggi (Somalinggi *et al.*, 2020). Peran Ca(OH)_2 ditunjukkan melalui ion Ca^{2+} yang membantu proses mineralisasi jaringan, sedangkan ion OH^- memberikan aktivitas antimikroba dengan cara



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

menaikkan pH (Gusti Ayu Ariani *et al.*, 2014). Komposisi kimiawi limbah karbit (Ca(OH)_2) pada penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut :

Tabel II.1 Kandungan Limbah Karbit (Ca(OH)_2)

Komposisi Kimia	Kandungan (%)
SiO_2	4,3
Fe_2O_3	0,9
Al_2O_3	0,4
CaO	56,5
MgO	1,7
SO_3	0,06
LOI	36,1

(Somalinggi *et al.*, 2020)

II.3 Pupuk Multinutrien

Pupuk multinutrien adalah jenis pupuk yang mengandung lebih dari dua jenis nutrisi esensial untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Fosfat menjadi komponen utama dalam formulasi pupuk ini yang biasanya dipadukan dengan unsur hara lain untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman agar menjadi lebih optimal (Sumada, 2011). Fosfat sangat penting bagi pertumbuhan tanaman pada fotosintesis, respirasi, penyimpanan dan pemindahan energi, pembelahan sel, serta pembesaran. Fosfat dapat mendorong pembentukan dan pertumbuhan akar lebih awal serta meningkatkan kualitas buah, sayuran, dan biji-bijian. Selain fosfat (P), pupuk ini bisa juga mengandung kalsium (Ca) dan kalium (K). Kalsium dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan ketahanan jaringan tanaman, membuat dinding sel lebih kuat, serta berkontribusi pada perkembangan sistem akar yang normal, sedangkan kalium berperan penting dalam mengendalikan aktivitas enzimatik tubuh tumbuhan (Rajasekar *et al.*, 2017). Adapun standar mutu pupuk NPK yang terdapat pada SNI 2803:2024 tentang “Pupuk NPK Padat” dengan rincian sebagai berikut :



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

Tabel II.2 Syarat Mutu Pupuk NPK Padat

Jenis Uji	Persyaratan
Nitrogen total	Min. 6%
Fosfor total sebagai P_2O_5	Min. 6%
Kalium sebagai K_2O	Min. 6%
Jumlah kadar N, P_2O_5 , dan K_2O	Min. 30%
Kadar air (b/b)	Maks. 3%
Cemaran logam berat : - Merkuri (Hg) - Kadmium (Cd) - Timbal (Pb) - Arsen (As)	- Maks. 10 mg/kg - Maks. 100 mg/kg - Maks. 500 mg/kg - Maks. 100 mg/kg

(SNI 2803:2024 “Pupuk NPK Padat”)

Terdapat juga standar pupuk dolomit sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) pada SNI 02-2804-2005 sebagai berikut :

Tabel II.3 Syarat Mutu Pupuk Dolomit

Jenis Uji	Persyaratan
Magnesium sebagai MgO	Min. 18%
Kalsium sebagai CaO	Min. 29%
Jumlah kadar Al_2O_3 dan Fe_2O_3	Maks. 3%
Kadar air	Maks. 3%
Silikat sebagai SiO_2	Maks. 3%
Kehalusan : - 25 mesh - 80 mesh	- Min. 100% - Min. 50%
Daya netralisasi (dihitung setara CaCO_3)	Min. 100%

(SNI 02-2804-2005 “Pupuk Dolomit”)



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

II.4 Reaksi Pembentukan Kalsium Fosfat

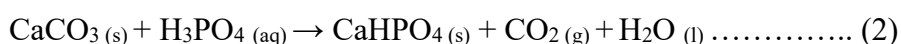
Reaksi pembentukan kalsium fosfat melibatkan pertukaran proton antara asam dan basa. Asam fosfat (H_3PO_4) dikenal sebagai asam lemah yang sering diaplikasikan sebagai bahan pereaksi. Berikut ditunjukkan sejumlah karakteristik fisik dan kimia dari senyawa tersebut :

Tabel II.4 Sifat Fisik dan Kimia Asam Fosfat

Sifat Fisik	
1. Fase	: Cair
2. Warna	: Tidak berwarna
3. Titik didih	: 213°C
4. Titik lebur	: $42,35^\circ\text{C}$
5. Kelarutan	: 2340 g/100 ml air
Sifat Kimia	
1. Rumus molekul	: H_3PO_4
2. Berat molekul	: 98 g/mol
3. pH	: $< 0,5$ pada 100 g/l 20°C

(Perry *et al.* 9th ed. Sec. 2-19, 2019)

Dalam reaksi ini, asam bertindak sebagai donor proton, sementara basa berfungsi sebagai akseptor proton. Proses ini biasanya menghasilkan garam dan air sebagai produk yang bersifat netral jika asam dan basa yang bereaksi merupakan pasangan yang kuat. Secara mekanisme, asam melepaskan proton yang kemudian diterima oleh basa. Hal ini menyebabkan asam berubah menjadi basa konjugat, sedangkan basa berubah menjadi asam konjugat. Reaksi asam-basa dapat dinyatakan dalam persamaan kimia yang menunjukkan pembentukan garam dan air sebagai produk utama. Salah satu contoh reaksi pembentukan kalsium fosfat adalah reaksi antara kalsium karbonat (CaCO_3) dan asam fosfat (H_3PO_4). Reaksi ini menghasilkan kalsium fosfat (CaHPO_4), gas karbon dioksida (CO_2), dan air (H_2O). Persamaan kimianya dapat ditulis sebagai berikut :





LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

Kalsium hidroksida berperan sebagai donor kalsium pada proses sintesis kalsium fosfat. Kalsium hidroksida direaksikan dengan asam fosfat, sehingga menghasilkan endapan kalsium fosfat dan air. Larutan asam digunakan agar sampel berupa kalsium dapat dilarutkan sehingga dapat bereaksi secara optimal (Wadu *et al.*, 2018). Reaksi yang terjadi dalam proses ini bersifat eksotermik, di mana energi dilepaskan selama berlangsungnya reaksi. Energi yang dilepaskan dapat memengaruhi laju reaksi, tergantung pada konsentrasi reaktan dan suhu lingkungan. Reaksi pembentukan kalsium fosfat dapat disebut sebagai reaksi netralisasi karena berfungsi untuk menetralkan sifat asam atau basa suatu larutan. Akibat dari reaksi ini larutan akan mengalami perubahan pH yang mencerminkan netralisasi tersebut (Hariyanto *et al.*, 2020).

II.5 Presipitasi

Presipitasi adalah sebuah proses kimia yang terjadi ketika dua larutan dicampur, sehingga terbentuk padatan yang tidak larut dalam larutan campuran tersebut. Proses presipitasi dimulai dengan penambahan agen tertentu, seperti *counter-ion* yang berfungsi sebagai pengikat logam berat. Penambahan agen tersebut memungkinkan logam berat bereaksi dengan ion hidroksida untuk membentuk senyawa padatan yang stabil (Wang *et al.*, 2024). Kalium hidroksida (KOH) merupakan basa kuat yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai reaksi kimia, termasuk proses presipitasi. Berikut beberapa sifat fisik dan kimia dari kalium hidroksida :



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

Tabel II.5 Sifat Fisik dan Kimia Kalium Hidroksida

Sifat Fisik	
1. Fase	: Padat
2. Warna	: Putih
3. Titik didih	: 1320°C
4. Titik lebur	: 380°C
5. Kelarutan	: 97 g/100 ml air
Sifat Kimia	
1. Rumus molekul	: KOH
2. Berat molekul	: 56,11 g/mol
3. pH	: 13,5 pada 5,6 g/l 25°C

(Perry *et al.* 9th ed. Sec. 2-19, 2019)

Ketika KOH ditambahkan ke larutan yang mengandung ion logam, reaksi netralisasi akan terjadi dan menghasilkan senyawa hidroksida logam. Hidroksida logam ini umumnya memiliki kelarutan yang rendah dalam air, sehingga membentuk endapan atau presipit. Setelah reaksi kimia selesai, hasil presipitat dipisahkan dari larutan menggunakan filter dan dikeringkan untuk menghilangkan air dan memperoleh endapan padat kering (Asri *et al.*, 2010)(Sk *et al.*, 2016). Pada kondisi pH tinggi, ion logam bereaksi dengan bahan pengendap untuk membentuk senyawa, seperti hidroksida, karbonat, atau sulfida yang kemudian mengendap keluar dari larutan (Mazur *et al.*, 2018). Faktor-faktor, seperti pH KOH sebagai bahan pengendap, pendinginan atau implantasi ion, dan peningkatan suhu dapat memengaruhi arah pelarutan atau pengendapan. Hal ini berdampak pada laju reaksi senyawa serta menentukan ukuran, morfologi, dan tingkat kristalinitas produk presipitat (Sánchez-Campos *et al.*, 2021)(Jakubowicz *et al.*, 2022).



II.6 Landasan Teori

II.6.1 Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4)

Pelarutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oleh H_3PO_4 merupakan reaksi asam-basa yang menghasilkan endapan kalsium fosfat serta air. Dalam hal ini, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berfungsi sebagai sumber ion kalsium pada proses sintesis kalsium fosfat. Reaksi tersebut digolongkan sebagai reaksi heterogen karena melibatkan interaksi antara fase padat dan cair (Hariyanto *et al.*, 2020). Reaksi yang terjadi antara kalsium hidroksida dan asam fosfat, yaitu :



Endapan kalsium fosfat yang dihasilkan, dipisahkan dari filtratnya menggunakan kertas saring, sedangkan filtrat selanjutnya disintesis melalui metode presipitasi.

Presipitasi kimia merupakan metode sintesis yang banyak digunakan karena memiliki keunggulan berupa konsumsi energi yang rendah dan prosedur yang sederhana (Cheng *et al.*, 2021). Presipitasi kimia juga diterapkan dalam sintesis kalsium fosfat, di mana larutan kalsium fosfat direaksikan dengan amonium hidroksida untuk menghasilkan kalsium amonium fosfat sebagai padatan dan air sebagai produk sampingan (Wadu *et al.*, 2018). Kalium hidroksida (KOH) dapat digunakan sebagai agen presipitasi yang mampu mengendapkan ion logam dan ion-ion tertentu dalam larutan melalui pembentukan ion OH^- (Malanova *et al.*, 2014). Proses presipitasi dilakukan dengan pengadukan tanpa pemanasan selama 30-60 menit hingga terbentuk endapan (presipitat) (Noviyanti *et al.*, 2017). Residu padat (presipitat) dibilas dan diproses sebagai bahan pupuk atau material, sementara filtratnya didaur ulang ke dalam proses (Gorazda *et al.*, 2012). Endapan yang diperoleh selanjutnya dikeringkan bersama kertas saring dalam oven pada suhu 100°C selama 2-5 jam hingga diperoleh massa konstan. Derajat kristalisasi ditingkatkan dengan proses kalsinasi selama 5 jam (Andika *et al.*, 2015)(Anggoro *et al.*, 2024). Reaksi yang terjadi antara kalsium fosfat dan kalium hidroksida, yaitu:





LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

Oksidasi dalam larutan dipengaruhi oleh kondisi pH, suhu, serta jumlah oksigen yang terlarut. Efektivitas pupuk sangat bergantung pada waktu, metode, dan bentuk aplikasinya yang dapat dioptimalkan melalui formulasi. Formulasi tersebut bisa berupa besar ukuran partikel, penambahan lapisan, atau dengan mengubah sumber kimia pupuk untuk sifat-sifat seperti kelarutan (Babcock-Jackson *et al.*, 2023).

II.6.2 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pembentukan Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4)

Pada proses pembentukan material kalsium kalium fosfat (CaKPO_4) dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Proses Pelarutan

a. Konsentrasi Asam Fosfat

Konsentrasi asam fosfat mempengaruhi kuantitas residu dari proses pelarutan batu kapur yang dihasilkan. Peningkatan konsentrasi asam fosfat menyebabkan jumlah ion kalsium yang terekstraksi semakin besar, sehingga residu yang dihasilkan menjadi lebih sedikit (Anggoro *et al.*, 2024).

b. Pengadukan dan Ukuran Partikel Limbah Karbit

Pengadukan dan ukuran partikel memengaruhi efisiensi pelarutan Ca(OH)_2 dengan H_3PO_4 , di mana partikel yang terlalu besar memperlambat difusi dalam larutan. Sebaliknya, pengadukan yang lebih cepat meningkatkan distribusi partikel karena memperluas kontak permukaan dengan pelarut (Wahyusi *et al.*, 2021).

2. Proses Presipitasi

a. pH Larutan

Kelarutan CaHPO_4 berkurang dengan meningkatnya pH karena terbentuk presipitat padat. Jumlah endapan yang lebih banyak akan menghasilkan massa produk yang lebih besar. Namun, pada pH terlalu tinggi, ion fosfat (PO_4^{3-}) cenderung mengendap sebagai hidroksiapatit



LAPORAN HASIL PENELITIAN

“Sintesis Material Kalsium Kalium Fosfat (CaKPO_4) Berbahan Limbah Industri Gas Asetilena (Ca(OH)_2) dengan Metode Pelarutan dan Presipitasi”

($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$). Sebaliknya, pada kondisi pH rendah kelarutan CaHPO_4 meningkat, sehingga massa produk yang terbentuk menjadi lebih sedikit.

b. Waktu Pengadukan

Waktu pengadukan yang cukup akan memastikan ion Ca^{2+} , PO_4^{3-} , dan K^+ dalam larutan tercampur dengan baik, sehingga pembentukan inti kristal atau proses nukleasi berlangsung merata. Apabila waktu pengadukan terlalu singkat, maka distribusi reagen tidak akan optimal sehingga menyebabkan terjadinya presipitasi yang tidak merata dan menghasilkan endapan dengan ukuran partikel yang berbeda-beda. Sebaliknya, jika proses pengadukan berlangsung terlalu lama, kristal yang terbentuk dapat terpecah atau larut kembali yang dapat menghambat pertumbuhan partikel dan mengurangi efisiensi pemisahan endapan (Rosikah *et al.*, 2024).

II.7 Hipotesis

Pada penelitian ini, diharapkan pelarutan limbah industri gas asetilena (Ca(OH)_2) dalam asam fosfat (H_3PO_4) dan presipitasi dengan kalium hidroksida (KOH) menghasilkan material kalsium kalium fosfat (CaKPO_4) yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).