

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Karena pertumbuhan populasi dunia yang terus meningkat, permintaan global akan pangan diperkirakan akan berlipat ganda pada tahun 2050. Di sisi lain, laju urbanisasi yang pesat sebagai dampak dari peningkatan populasi turut menyebabkan berkurangnya lahan pertanian yang tersedia. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan yang mendesak untuk meningkatkan produktivitas pertanian guna memenuhi permintaan pangan global. Secara global, hasil panen tahunan telah melebihi tiga miliar ton, dan untuk mendukung pencapaian tersebut, diperlukan sekitar 187 juta ton pupuk setiap tahunnya (Wang et al., 2021).

Namun, yang menjadi permasalahan utama adalah pupuk non-organik—jenis pupuk yang paling sering digunakan oleh para petani—memiliki kelemahan signifikan, yaitu tingginya tingkat kehilangan nutrisi. Saat ini, pupuk non-organik yang umum digunakan memiliki efisiensi penggunaan nitrogen (Nitrogen Use Efficiency/NUE) yang sangat rendah, hanya sekitar 20–30%.

Rendahnya efisiensi ini berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman, sekaligus menimbulkan risiko pencemaran lingkungan. Nutrien yang tidak terserap tanaman akan meresap ke lapisan tanah yang lebih dalam, mencemari tanah dan air tanah. Sebagian lainnya dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk gas rumah kaca, yang turut berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Kondisi tersebut juga menyebabkan petani harus menggunakan pupuk dalam jumlah lebih besar demi mencukupi kebutuhan nutrisi tanaman, yang pada akhirnya meningkatkan biaya produksi. Permasalahan kehilangan nutrisi yang tidak dapat dipulihkan ini kini menjadi perhatian utama, terutama di tengah meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya pengurangan polusi lingkungan.

Sebagai solusi atas tantangan tersebut, dikembangkanlah pupuk berteknologi pelepasan lambat (slow-release fertilizer/SRF) yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. (Priya, Sarkar, & Maji, 2024).

Pupuk SRF merupakan inovasi baru di Indonesia, meskipun telah banyak digunakan di negara seperti Amerika Serikat dan Brasil. Pupuk ini bekerja dengan mengatur

ketersediaan unsur hara di dalam tanah agar sesuai dengan kebutuhan tanaman selama siklus pertumbuhannya. SRF memiliki lapisan pelindung yang terbuat dari polimer atau sulfur, yang menyebabkan nutrisi dilepaskan secara bertahap seiring waktu karena proses degradasi yang lambat. Selain itu, pupuk ini juga dirancang memiliki kelarutan rendah, sehingga nutrisi tidak mudah tercuci oleh air tanah (Priya et al., 2024).

Pupuk SRF berbasis Urea-ZA dikembangkan dengan struktur berlapis, di mana urea berfungsi sebagai lapisan luar, sedangkan ZA (ammonium sulfat) berada di bagian dalam. Jenis pupuk ini sangat sesuai untuk tanaman pangan khas Indonesia seperti padi sawah, bawang merah, kubis, apel, tomat, terung, brokoli, dan jeruk. Prinsip utama pelepasan unsur hara dalam sistem ini ditentukan oleh degradasi dan permeabilitas lapisan urea terhadap air dan kondisi lingkungan:

### 1. Lapisan Pelindung

Lapisan luar urea berfungsi sebagai pengatur pelepasan nutrisi dengan cara larut perlahan di dalam tanah. Lapisan urea akan larut terlebih dahulu, sehingga partikel ZA akan larut setelah seluruh urea terlarut, sehingga memberi efek *slow-release*

### 2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pelepasan Unsur Hara

- Suhu Tanah: Suhu tinggi mempercepat degradasi lapisan urea, meningkatkan kelarutan dan difusi air ke dalam partikel pupuk, sehingga mempercepat pelepasan amonium sulfat. Sebaliknya, suhu yang lebih rendah akan memperlambat pelepasan.
- Kelembaban Tanah: Kelembaban tanah yang cukup sangat diperlukan untuk melarutkan lapisan urea dan memungkinkan pelepasan ZA secara bertahap. Jika kelembaban terlalu rendah, pelepasan nutrisi akan terhambat.
- pH Tanah: pH tanah mempengaruhi kelarutan urea dan ZA. Pada pH yang sangat rendah (asam), ZA dapat lebih cepat terhidrolisis menjadi amonium dan sulfat, meningkatkan ketersediaan nitrogen dan sulfur. Pada tanah basa, pelepasan nitrogen dalam bentuk amonium dapat mengalami volatilisasi lebih tinggi, sehingga efisiensi pupuk berkurang.

### 3. Jenis Tanaman

Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan dan kemampuan serapan unsur hara yang berbeda. Tanaman dengan siklus pertumbuhan panjang lebih diuntungkan dengan pupuk *slow-release*, karena pelepasan nutrisi terjadi secara bertahap dan sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan tanaman (Wang et al., 2021).

Pupuk Urea-ZA dengan teknologi slow release merupakan inovasi produk yang unggul dibandingkan pupuk konvensional. Nutrien nitrogen dan sulfur dilepaskan secara perlahan, yang memungkinkan efisiensi pemupukan lebih tinggi, mengurangi frekuensi aplikasi, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan. Formulasinya berupa granul homogen berkualitas tinggi, cocok untuk pertanian modern baik tanaman pangan maupun hortikultura. (Bendix & Lange, 2001)

Pemilihan pupuk Urea-ZA sebagai produk pabrik didasarkan pada meningkatnya kebutuhan akan pupuk yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Potensi produksi dan pemasaran terutama di wilayah pertanian intensif menunjukkan prospek yang menjanjikan. Penggunaan pupuk slow release diperkirakan dapat mengurangi kebutuhan pupuk hingga 30% (Bendix & Lange, 2001). Target pasar termasuk wilayah yang memiliki sistem pertanian komersial besar dan daerah yang mendukung pertanian berkelanjutan.

Bahan baku utama dalam proses produksi adalah urea dan ZA. Metode yang dirancang melibatkan pembuatan ZA dengan metode yang menggunakan reaksi netralisasi, yang kemudian dilanjutkan dengan mereaksikan urea dan ZA di *fluidized bed reactor*. (Bendix & Lange, 2001).

Desain pabrik ini memiliki kebaruan dalam penerapan teknologi pelepasan lambat (*slow release*) sulfur dengan penambahan sulfur sebagai unsur hara yang memungkinkan pelepasan bertahap selama musim tanam (Ingels, Rondeau, & Ledoux, 2010). Hal ini memperbaiki kelemahan metode konvensional yang hanya menawarkan pelepasan nutrisi dalam waktu singkat dan meningkatkan efisiensi penyerapan sulfur oleh tanaman (Bendix & Lange, 2001)

Namun, tantangan dalam implementasi desain ini meliputi izin pendirian pabrik, ketersediaan bahan baku berkualitas tinggi, serta pengelolaan limbah proses yang ramah lingkungan. Aspek kesehatan dan keselamatan kerja juga perlu diperhatikan dalam pengendalian emisi gas selama proses produksi. Penerapan protokol ketat dalam sistem ventilasi dan perlindungan pekerja menjadi bagian integral dari desain pabrik ini.

Rencana pembangunan pabrik pupuk urea-ZA slow release ini dijadwalkan untuk mulai beroperasi pada tahun 2030. Sistem produksi yang digunakan adalah proses kontinu untuk memastikan kapasitas produksi optimal dengan target output tahunan 80.000 ton per tahun yang mulai produksi pada tahun 2030. Keputusan memilih tahun dan lokasi tersebut didasarkan pada kesiapan infrastruktur, akses pasar, serta kebutuhan pertanian yang terus meningkat.

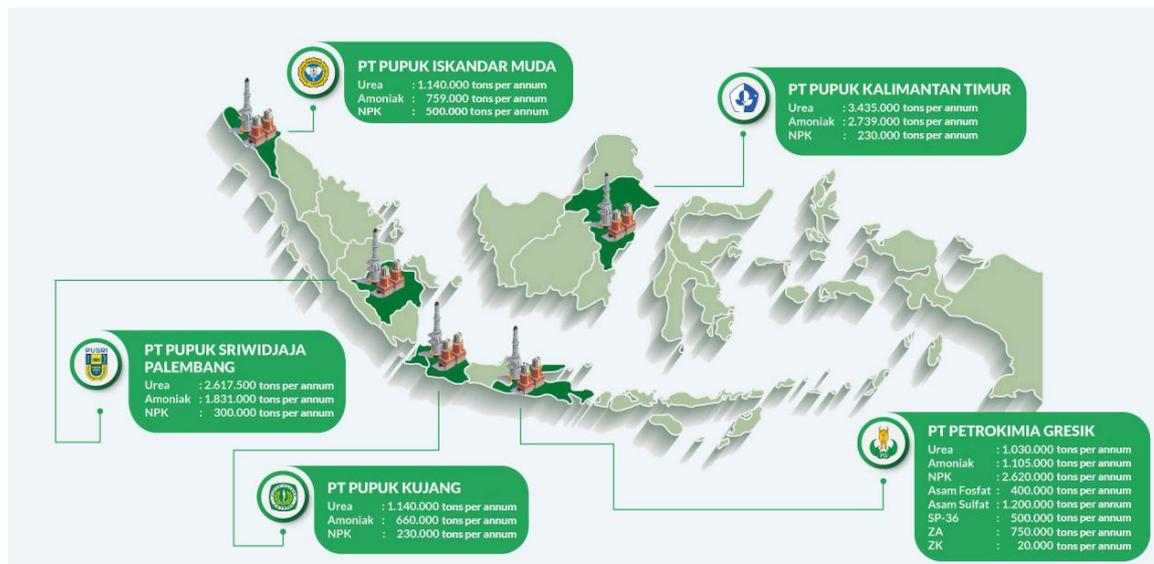
## I.2 Analisa Pasar dan Kapasitas Produksi

### I.2.1 Analisa Pasar

Produk pupuk urea-ZA dirancang untuk memenuhi kebutuhan pertanian modern, yang mencakup tanaman pangan dan hortikultura. Wilayah target utama untuk pemasaran adalah daerah dengan pertanian intensif seperti Pulau Jawa, yang memiliki kontribusi signifikan terhadap hasil pertanian nasional. Hingga saat ini, belum ada produk Urea-ZA di Indonesia. Namun, Indonesia sudah memiliki pupuk dengan jumlah variasi yang banyak, seperti Urea, NPK, ZA, ZK, dan lain-lain.

Menurut (“Fertilizer Production by Country 2024,” 2024), Indonesia termasuk dalam lima besar negara konsumen pupuk terbesar di Asia Tenggara. Industri ini didominasi oleh perusahaan PT Pupuk Indonesia Holding Company. Selain itu, terdapat lebih dari 30 perusahaan lokal dan multinasional yang bergerak dalam distribusi dan penjualan pupuk.

Ukuran pasar pupuk di Indonesia cukup besar, dengan lebih dari 40 juta petani sebagai pelanggan potensial (“Jumlah Usaha Pertanian Perorangan Menurut Wilayah Dan Penggunaan Pupuk, Di INDONESIA - Dataset - Sensus Pertanian 2023 - Badan Pusat Statistik,” 2023).



**Gambar I.1** Produksi Pupuk oleh PT. Pupuk Indonesia dan Anak Perusahaannya

Hal ini menunjukkan bahwa industri pupuk di Indonesia sudah banyak, namun belum ada yang memproduksi urea-ZA. Urea dan ZA sendiri merupakan pupuk non-organik yang sering digunakan untuk tanaman seperti bawang merah, kubis, tomat, terong, brokoli, jeruk, apel, dan padi. Berdasarkan **Gambar I.1**, terlihat bahwa pupuk urea sudah banyak dijual dan bahkan sudah banyak di ekspor, sehingga potensi untuk membangun

pabrik urea sangatlah kecil (“Pupuk Indonesia - Production Capacity,” 2023). Namun, produksi pupuk ZA hanya diproduksi oleh PT. Petrokimia Gresik, dimana pada data di UNdata menunjukkan bahwa Indonesia masih melakukan impor pupuk ZA dengan jumlah yang besar (“UNdata | Record View | Ammonium Sulphate,” 2023). Kedua hal ini menunjukkan bahwa urea dan ZA merupakan pupuk yang sudah terkenal dan sudah sering dijual, dimana konsumsi rata-rata pupuk urea sebanyak 5 juta ton, dan pupuk ZA sebesar 1 juta ton per Indonesia (“UNdata | Record View | Urea,” 2023). Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi pupuk urea dan ZA cukup banyak sehingga produksi urea-ZA memiliki potensi yang besar. Kemudian, pupuk ZA pada tahun 2023 hingga sekarang sudah tidak tersubsidi lagi, sehingga produksi urea-ZA secara biaya bisa tidak kalah dengan harga yang lagi dijual di pasar.

Dari analisa yang dilakukan, target pasar produk ini adalah:

- Segmen Geografis: Petani di Pulau Jawa yang menyumbang lebih dari 50% hasil pertanian nasional.
- Segmen Demografis: Petani berusia 30-60 tahun dengan pendapatan menengah ke bawah.
- Segmen Psikografis: Konsumen yang berorientasi pada efisiensi biaya dan keberlanjutan lingkungan.

### **I.2.2 Kapasitas Produksi**

Dikarenakan urea-ZA merupakan produk yang baru di Indonesia, maka data yang dicari akan didapatkan dari pupuk yang diproduksi di Indonesia yang memiliki unsur hara yang sama seperti urea-ZA, dimana satu-satunya pupuk yang memiliki unsur hara yang sama seperti urea-ZA merupakan ZA saja. Hanya 3 pabrik saja di Indonesia yang memproduksi pupuk ZA di Indonesia, yakni PT. Petrokimia Gresik (750.000 ton/tahun), PT. Pupuk Iskandar Muda (17.000 ton/tahun), dan PT. Pupuk Kujang Cikampek (50.000 ton/tahun) Seluruh data yang dicari akan didapatkan dari WITS dan UNdata. Kemudian, data konsumsi dan produksi akan dilakukan *forecasting*, dan untuk proyeksi ekspor dan impor akan menggunakan rumus Peter dan Timmerhaus  $F = F_0(1+i)^n$ . (Carberry et al., 2003)

**Tabel I.1 Data statistik tahun 2013-2023 dan prediksi tahun 2030 untuk konsumsi, produksi, impor, dan ekspor**

Tahun	Konsumsi (ton)	Produksi (ton)	Impor (ton)	Ekspor (ton)
-------	----------------	----------------	-------------	--------------

2013	1.094.742	827.225	275.074	7.556,58
2014	1.008.525	816.001	200.049	7.525
2015	994.759	694.570	316.876	16.687
2016	1.021.348	755.330	272.396	6.378
2017	979.473	798.782	185.199	4.508
2018	1.004.034	689.341	318.591	3.898
2019	1.016.981	698.392	320.410	1.820,5
2020	1.009.472	795.930	214.656	1.114
2021	989.492	748.185	243.759	2.452
2022	1.120.304	739.103	381.690	489
2023	1.049.580	731.473	318.571	464
Rata-rata	1.026.246,364	754.030,182	258991,938	4.533,509
2030 (Proyeksi)	1.063.532,973	750850,19	234864,44	0,6
Ref	("UNdata   Record View   Ammonium Sulphate," 2013-2023; "UNdata   Record View   Urea," 2013-2023);			

Contoh perhitungan akan diambil dari data statistik impor yang mengalami fluktuatif rata rata peningkatan sebesar -0,043. Jika pabrik diproyeksikan untuk tahun 2030 maka perkiraan kebutuhan pada tahun tersebut dapat dihitung menggunakan:

$$F = F_0(1+i)^n$$

Dengan:

F = Perkiraan kebutuhan Amonium Sulfat (ZA) pada tahun 2030 (ton)

F<sub>0</sub> = Kebutuhan Amonium Sulfat (ZA) pada tahun 2023

i = pertumbuhan rata-rata

n = selisih waktu (tahun)

(Carberry et al., 2003)

$$F = F_0(1+i)^n$$

Diketahui: F<sub>0</sub>= 318.571 ton

n = 2030-2023 = 7

i = Pertumbuhan Rata-rata = -0,043

$$F = 318.571(1-0,043)^7$$

$$\begin{aligned}
 F &= 234.864,44 \text{ ton} \\
 \text{Produk di pasaran 2030} &= \text{Suplai} - \text{Kebutuhan} \\
 &= (234.864,44 + 750.850,19) - (1.063.532,973 + 0,6) \\
 &= -77.818,40 \text{ (Defisit pasar)} \\
 \text{Kapasitas produksi} &= \mathbf{80 \text{ ribu ton per tahun}}
 \end{aligned}$$

Produksi mengalami kekosongan 77.818,40 ton per tahun dikarenakan rendahnya produksi dalam negeri dan impor yang dilakukan. Hal ini dapat menjadi peluang pendirian pabrik urea-ZA dengan kapasitas produksi 80.000 ton per tahun baru guna memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri, khususnya di Indonesia.

### I.3 Kebaruan Produk/Proses

Urea-ZA merupakan produk pupuk yang belum ada di Indonesia, sekaligus pupuk pertama yang menggunakan teknologi *slow release*, dimana akan mengurangi pencemaran lingkungan (polusi) sekaligus akan mengurangi nutrient yang terbuang ke tanah. Pupuk urea-ZA. Dengan adanya teknologi *slow release*, maka nutrient yang diberikan akan secara bertahap dan konsisten. Hal ini membantu pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara seimbang, serta mengurangi risiko kekurangan atau kelebihan nutrisi. Pelepasan nutrisi yang terkontrol juga mengurangi frekuensi pemupukan, sehingga menghemat waktu dan tenaga. Selain itu, pupuk pelepasan lambat lebih ramah lingkungan karena meminimalkan pencucian nutrisi ke dalam air, memastikan tanaman dapat menyerap nutrisi dengan lebih efisien serta mengurangi risiko pencemaran air.

Pupuk ini juga merupakan satu-satunya pupuk yang dijual ‘2-in-1,’ dimana hal ini akan bermanfaat bagi petani dari segi biaya. Seringkali untuk menghasilkan panen seperti padi sawit dibutuhkan 4 jenis pupuk, seperti, urea, ZA, NPK, dan lain-lain. Hal ini akan membuang biaya karena harus membeli 4 jenis pupuk dengan teknologi *fast-release*, sehingga nutrient akan terbuang dan dosis yang digunakan akan lebih banyak. Dengan adanya urea-ZA, maka bisa membeli urea dan ZA sebagai 1 produk, dan bisa menggunakan dosis yang lebih sedikit dibanding urea dan ZA tersendiri.

Dari segi proses, hal ini merupakan proses baru yang belum ada di Indonesia, sehingga proses pembuatan Urea-ZA ini merupakan produk yang baru.

## I.4 Sifat Fisika dan Kimia

### I.4.1 Bahan Baku

Produk yang dihasilkan pada pabrik yang dirancang ini berupa Urea-ZA, dimana ZA diperoleh melalui reaksi netralisasi dengan bahan baku berupa asam sulfat dan ammonia. Adapun sifat fisika dan kimia dari bahan baku yang digunakan diberikan pada **Tabel I.2**.

**Tabel I.2 Sifat fisika dan kimia bahan baku**

Nama bahan	Sifat fisika	Sifat kimia	Komposisi & Grade	Ref
Urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ )	BM: 60 g/mol Titik Leleh: 133°C Densitas: 1.32 g/cm <sup>3</sup> (20°C) Kelarutan: Larut dalam air	Non-volatile Non-flammable	Kemurnian $\geq$ 98,5%	(Badan Standarisasi Nasional, 2010a)
Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	BM: 98 g/mol Titik Didih: 337°C Titik Leleh: 10°C Densitas: 1.84 g/cm <sup>3</sup> (pada 98% $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	Korosif Non-flammable	Kemurnian $\geq$ 98%	(Sigma-Aldrich, 2024)
Amonia ( $\text{NH}_3$ )	BM: 17 g/mol BP: -33°C MP: -78°C Densitas: 0.73 kg/m <sup>3</sup> (gas, 25°C)	Volatile Flammable	Kemurnian $\geq$ 99,5%	(Badan Standarisasi Nasional, 2006)
ZA (Amonium Sulfat) ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )	BM: 132 g/mol MP: Dekomposisi @ 280°C Densitas: 1.77 g/cm <sup>3</sup> (25°C) Kelarutan: Larut dalam air	Non-volatile Non-flammable Korosif dalam kelembapan tinggi	Kemurnian $\geq$ 99%	(Sigma Aldrich, 2023)

### I.4.2 Produk

Pabrik yang didesain memiliki produk utama berupa Urea-ZA yang dikemas dalam bentuk kemasan 50 kg dengan menggunakan karung polipropilen. Pabrik yang dirancang ini tidak memiliki produk samping. Sifat fisika dan kimia dari produk utama dan produk samping diberikan pada **Tabel I.3**

**Tabel I.3. Sifat fisika dan kimia produk**

Nama bahan	Sifat fisika	Sifat kimia	Komposisi & Grade	Ref
Urea-ZA (Campuran Urea & ZA)	Bentuk: Butiran Densitas: 1.30 - 1.70 g/cm <sup>3</sup> (tergantung formulasi) Kelarutan: Larut dalam air	Volatile (dari Urea) Non-flammable Korosif (dari ZA)	Urea 50% - 70% ZA 30% - 50%	(American Plant Food Corp, 2019)

### I.4.3 Ketersediaan Bahan Baku

Untuk mencapai angka kapasitas produksi suatu pabrik, maka harus benar-benar dipastikan cukupnya bahan baku yang diperlukan. Bahan baku pembuatan ZA adalah amonia dan asam sulfat. Di Indonesia, jumlah kapasitas produksi amonia dan asam sulfat tergolong cukup besar, sehingga tidak perlu mengimpor bahan baku tersebut dan dapat menghemat biaya pengadaan bahan baku. Berikut data kapasitas produksi bahan baku di Indonesia:

**Tabel I.4 Daftar Pabrik Produksi Amonia**

No.	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
1.	PT. Petrokimia Gresik	Gresik	850.000
2.	PT. Pupuk Kalimantan Timur	Kalimantan	2.740.000
3.	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	Palembang	1.335.000
4.	PT. Pupuk Kujang	Cikampek	660.000
5.	PT. Pupuk Iskandar Muda	Aceh Utara	386.000
Ref.	("Pupuk Indonesia - Production Capacity," 2025)		

**Tabel I.5 Daftar Pabrik Produksi Asam sulfat**

No.	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
1.	PT. Petrokimia Gresik	Gresik	678.000
2.	PT. Pupuk Kalimantan	Bontang	800.000
3.	PT. Liku Telaga	Gresik	320.000
4.	PT. Copper Smelting Co	Gresik	600.000
Ref.	("Pupuk Indonesia - Production Capacity," 2025)		

**Tabel I.6 Daftar Pabrik Produksi Urea**

No.	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
1.	PT. Petrokimia Gresik	Gresik	1.030.000
2.	PT. Pupuk Kalimantan	Bontang	3.435.000
3.	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	Palembang	2.617.500
4.	PT. Pupuk Kujang	Cikampek	1.140.000
5.	PT. Pupuk Iskandar Muda	Aceh Utara	1.140.000
Ref.	("Pupuk Indonesia - Production Capacity," 2025)		