

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Menurut data yang berasal dari Tech-Cooperation Aspac FAO, 69 persen lahan pertanian Indonesia sudah mengalami kerusakan akibat penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang berlebihan. Pada tahun 2050 diduga, ketahanan pangan Indonesia sangat rentan akibat perubahan iklim (Taufiq, 2019). Penggunaan pupuk kimia yang melepas unsurnya secara cepat, namun tidak diimbangi dengan kemampuan tanaman dalam penyerapan akan menimbulkan nitrifikasi dan volatilisasi (Yerizam *et al.*, 2012). Kehilangan nutrisi tersebut mengakibatkan efisiensi pemupukan hanya sekitar 30%. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan berakibat pada pencemaran tanah dan lingkungan, penurunan kadar zat organik, penurunan produktivitas lahan, pengerasan dan penurunan stabilitas pada lahan pertanian serta peningkatan biaya produksi pertanian (Sukmadi, 2016).

Hal ini perlu dilakukan peningkatan efektivitas pupuk dengan memodifikasi sifat fisik, ukuran butiran (Suwardi & Darmawan, 2009) dan jenis pupuk yang digunakan. Modifikasi pupuk dapat dilakukan dengan penerapan *Slow Release Fertilizer* (SRF), dengan penerapan ini pelepasan unsur dapat diatur, mengoptimalkan penyerapan hara oleh tanaman, mempertahankan unsur hara pada tanah sehingga mencegah pencemaran lingkungan, mengurangi penggunaan pupuk kimia serta menurunkan biaya produksi pertanian (Suwardi & Darmawan, 2009).

Penelitian pupuk lepas lambat sebelumnya telah dilakukan, seperti Hamzah *et al.* (2019) yang mendapatkan pelepasan nitrogen paling lambat sebesar 32,262 mg pada variasi binder lateks-kitosan 40:60. Variasi binder kitosan - pati dapat mengontrol pelepasan unsur P pada pupuk NPK dengan variasi optimum 3:7 (Rengga *et al.*, 2019). Efektifitas pati sebagai bahan pelapis pada pupuk juga telah diaplikasikan pada tanaman jagung (Himmah *et al.*, 2018). Penelitian sebelumnya banyak menggunakan bahan yang mahal untuk kebutuhan binder dan coating, selain itu sumber unsur hara juga banyak menggunakan pupuk komersial.

Berbeda dengan penelitian yang telah dijabarkan di atas, pada penelitian ini dilakukan pembuatan pupuk majemuk lepas lambat dengan pengembangan model pertanian semi-organik. Sumber unsur haranya menggunakan kotoran ayam, sekam padi dan TSP (*Triple Super Phosphate*) sedangkan bahan perekat (*binder*) menggunakan bahan alami seperti lateks dan pati. Lateks memiliki sifat adhesif yang dapat digunakan sebagai binder penghambat nitrifikasi, ketersediaan melimpah, bersifat *biodegradable*, mudah larut dalam air dan dapat terdegradasi oleh paparan sinar matahari (Hamzah *et al.*, 2019), sifat tersebut diduga menguntungkan sebagai binder pupuk SRF. Binder lain yang digunakan adalah pati singkong karena dapat menghambat proses pelepasan unsur hara pada pupuk, memiliki harga yang murah, ketersediaan melimpah karena menjadi salah satu komoditas Indonesia, ramah lingkungan dan ekonomis. Rancangan percobaan pada pembuatan pupuk lepas lambat ini menggunakan metode Response Surface Method (RSM), dengan menggunakan 2 faktor yaitu bahan perekat berupa lateks (0%, 20% dan 60%) dan pati (10%, 15% dan 20% dari berat *nutrient*) dengan pengujian swelling, durabilitas, pelepasan fosfat secara *sand filter*, dan kinetika pelepasan unsur fosfat.

1.2 Tujuan

Adapun Tujuan dari penelitian ini adalah memodifikasi pupuk lepas lambat dengan menggunakan bahan-bahan alami mulai dari sumber unsur hara maupun binder yang digunakan, seperti penggunaan pupuk kandang ayam, sekam padi, TSP, pati dan lateks, adapun tujuan lain dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis dan mengidentifikasi kriteria pelepasan unsur fosfor pada modifikasi pupuk *Slow Release Fertilizer* (SRF).
2. Mengukur ketahanan lateks dan pati sebagai binder pupuk *Slow Release Fertilizer* (SRF).
3. Menentukan kinetika pelepasan unsur fosfor pada modifikasi pupuk *Slow Release Fertilizer* (SRF)

1.3 Kerangka Pemikiran

Penggunaan pupuk yang terus meningkat dan ketergantungan petani akan pemakaian pupuk kimia, mengakibatkan kerusakan pada lahan pertanian. Menurut Himah (2009) pemupukan yang disebar pada permukaan tanah akan mengalami volatilisasi amonia (NH_3) yang dapat mencapai 60-70%, sehingga efisiensi pemupukan hanya berkisar 30-40%. Rendahnya efektifitas pemupukan mengakibatkan tinggi biaya produksi pertanian, cemaran lingkungan pada tanah dan air sertakerusakan lahan pertanian. Penelitian untuk meningkatkan efisiensi pemupukan sebelumnya telah dilakukan menggunakan binder dengan harga yang kurang ekonomis, proses produksi rumit dan menggunakan pupuk komersial.

Sebagai solusi permasalahan tersebut, pupuk dapat dimodifikasi menjadi pupuk lepas lambat yang dapat dibuat dari bahan-bahan semi-organik seperti pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan yang banyak mengandung unsur hara seperti nitrogen, fosfat dan kalium. Binder yang digunakan berupa pati dan lateks yang memiliki sifat *biodegradable*, harga ekonomis dan merupakan komoditas Indonesia sehingga ketersediaannya stabil.

Pembuatan pupuk *slow release fertilizer* dengan sistem semi-organik perlu diawali dengan perancangan penelitian menggunakan *Response Surface Methode* (RSM) menggunakan software design expert dengan variasi pati (10%, 15% 20%) dan variasi lateks (0%, 25% 50%). Bahan baku perlu di *threatment* agar siap untuk masuk dalam proses granulasi. Hasil proses berupa granule pupuk dianalisis untuk menentukan kualitas pupuk. Analisis yang digunakan adalah daya swelling, persentase durabilitas dan laju pelepasan unsur hara fosfat. Pengujian daya swelling dan durabilitas digunakan untuk mengukur kemampuan penyerapan air dan ketahanan fisik akibat benturan dan getaran. Kedua pengujian tersebut akan mempengaruhi pola pelepasan unsur fosfat. Pola pelepasan unsur fosfat dianalisis untuk mengetahui jumlah fosfat yang dilepaskan kelingkungan, kemudian dibandingkan dengan syarat kriteria pupuk lepas lambat.

1.4 Hipotesis

Pada penelitian ini, pupuk pertanian dimodifikasi dengan pemanfaatan limbah peternakan berupa pupuk kandang ayam sebagai sumber unsur hara nitrogen dan kalium, limbah pertanian berupa sekam padi dan penambahan pupuk TSP sebagai sumber unsur fosfat. Pupuk tersebut menggunakan binder alami yang mudah terdegradable yaitu penggunaan pati dan lateks. Modifikasi ini diduga dapat mengatur pelepasan unsur hara yang terdapat pada pupuk sehingga dapat diserap secara perlahan oleh tumbuhan sehingga efisiensi pemupukan dapat meningkat. Selain itu, dapat meminimalisir terbentuknya nitrit maupun pencemar yang dapat mencemari tanah maupun air tanah.

1.5 Kontribusi

Manfaat pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menanggulangi masalah yang terjadi di lingkungan dan pertanian berupa pemanfaatan kembali limbah seperti kotoran ayam di bidang peternakan dan sekam padi di bidang pertanian, serta peningkatan efisiensi pupuk dan kualitas pertanian. Manfaat lainnya adalah sebagai berikut:

1. Bagi bidang ilmu, diharapkan dapat menjadi sumber referensi dalam ilmu pengetahuan, sumber data informasi, sumber bacaan untuk mengembangkan pupuk lepas lambat maupun bidang terkait.
2. Bagi industri, diharapkan dengan adanya teknologi yang terbaru ini dapat memberikan alternatif proses yang relatif lebih murah dan efisien untuk mengurangi angka peningkatan limbah yang mengakibatkan pencemaran lingkungan.
3. Bagi lingkungan, diharapkan dapat menjadi salah satu upaya terciptanya *zero waste*, mengurangi pencemaran lingkungan dan dapat memberikan solusi terhadap ketergantungan pupuk kimia dengan pengolahan limbah peternakan dan pertanian berupa kotoran ayam dan sekam padi dilihat dari analisa pelepasan unsur hara pada pupuk SRF.
4. Bagi masyarakat, bangsa, dan negara diharapkan dapat memberikan inovasi baru dalam bidang pertanian dalam menyediakan pupuk yang efisien dengan memodifikasi berbagai limbah menjadi produk yang bermanfaat dan relatif jauh lebih murah dalam biaya pengaplikasiannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pupuk Lepas Lambat / Slow Release Fertilizer

Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO) membedakan pupuk menjadi dua macam berdasarkan pelepasan nutrisi unsur haranya bagi tanaman yaitu *fast release* dan *slow release*. Keduanya dibedakan dari waktu pelepasan unsur hara ke lingkungan, pupuk *fast release* saat diaplikasikan ke tanah maupun tanaman maka secara singkat akan melepaskan unsur hara yang ada di dalamnya sehingga langsung dapat diserap oleh tanaman. Namun pupuk *fast release* ini memiliki kekurangan yaitu tidak maksimalnya unsur hara yang terserap oleh tanaman. Selaras dengan pernyataan (Diana *et al.*, 2020), bahwasannya penggunaan pupuk secara langsung memiliki efisiensi yang relatif rendah, yaitu hanya sekitar 30% *nutrient* yang diserap oleh tanaman, kasus ini disebabkan adanya proses denitrifikasi, volatilisasi dan leaching.

Proses nitrifikasi yang dapat terjadi pada pupuk, sangat berpengaruh terhadap kualitas lingkungan. Nitrifikasi ini merupakan proses oksidasi NH_4^+ yang stabil menjadi NO_3^- yang bersifat mudah larut dalam air. Selain nitrat, nitrogen anorganik dalam bentuk lain seperti nitrit dan amonia juga menjadi indikator pencemaran air (Yerizam *et al.*, 2012). Zat tersebut apabila terbawa dalam sistem irigasi maka akan memicu pertumbuhan alga, plankton, dan eceng gondok yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air pada sistem perairan tersebut (Diana *et al.*, 2020). Selain itu terdapat proses volatilisasi, volatilisasi merupakan hilangnya unsur nitrogen akibat proses penguapan, sedangkan leaching adalah proses larutnya unsur nitrogen terbawa aliran air perkolasi yang akan masuk ke dalam pori-pori tanah (Suparto, 2018). Menurut penelitian Suparto (2018), yang dilakukan pada sistem usahatani jagung manis di lahan gambut Kelurahan Kalamangan Kota Palangka Raya menunjukkan kehilangan nitrogen pada pemupukan sebesar 19,60%, yang dinilai tidak efisien dalam proses pemupukan

Sedangkan pupuk *slow release* merupakan pupuk yang melepas unsur haranya secara perlahan yang diimbangi dengan kebutuhan tanaman akan unsur hara tersebut, sehingga efektifitas penyerapan pupuk lebih baik. Pupuk *slow*

release dapat mengoptimalkan pelepasan unsur hara dan mempertahankan keberadaan unsur haranya pada tanah (Yerizam *et al.*, 2012). Pupuk yang digolongkan sebagai *slow release fertilizer* merupakan pupuk yang apabila tingkat pelepasan *nutrient* untuk tanaman lebih lambat dari pelepasan *nutrient* oleh pupuk konvensional. Berikut merupakan kriteria pupuk lepas lambat menurut Trenkel (1997), yaitu :

- a. Pelepasan *nutrient* pupuk pada suhu 25⁰ C, suhu tersebut merupakan suhu ruang sehingga pupuk melepaskan unsurnya tanpa adanya pengaruh suhu. Suhu dapat mempengaruhi proses kinetika reaksi, dengan meningkatkan suhu maka akan meningkatkan energi kinetik. Peningkatan ini diduga dapat mempercepat laju pelepasan unsur pupuk.
- b. Dalam waktu 24 jam unsur yang dilepaskan tidak lebih dari 15% dari total unsur yang tersedia dalam pupuk. Jika pupuk melepaskan unsurnya lebih dari 15% dalam 24 jam, maka tidak dianggap sebagai pupuk SRF.
- c. Dalam waktu 28 hari, unsur yang dilepaskan tidak lebih dari 75% dari total unsur yang tersedia dalam pupuk.
- d. Setidaknya 75 % dilepaskan pada waktu yang ditetapkan.

Menurut Yerizam *et al.*, (2012), pemupukan tanaman oleh petani yang biasanya dilakukan tiga kali dalam satu kali musim panen dapat dipangkas menjadi cukup satu kali dalam satu kali musim tanam. Hal ini selain dapat menghemat penggunaan pupuk juga dapat menghemat tenaga kerja maupun biaya operasional lainnya. Pengontrolan unsur hara pada pupuk lepas lambat juga menurunkan pencemaran lingkungan. Kandungan nitrogen pada pupuk lepas lambat dalam bentuk nitrat, apabila masuk ke perairan menjadi salah satu pencemaran air. Menurut Tjahjono & Hanuranto (2014), beberapa kelebihan dan keuntungan penggunaan pupuk lepas lambat dapat dijabarkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kelebihan dan keuntungan pupuk SRF

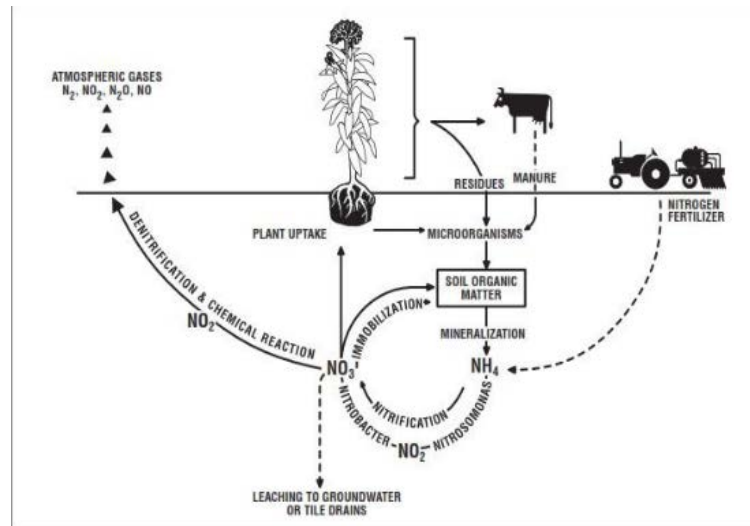
Kelebihan Pupuk SRF	Keuntungan Bagi Pengguna
Berbentuk granul	Petani sudah terbiasa dengan pupuk berbentuk granul Mudah dalam pengaplikasian
Pelepasan unsur hara yang terkontrol	Menghemat penggunaan unsur hara Memperlambat terjadinya gradasi lahan
Mengandung matrik	Mengurangi kerusakan lingkungan pertanian Memperbaiki struktur tanah akibat akumulasi pupuk kimia
Mudah diproduksi dalam skala kecil-menengah	Bagi usaha perkebunan dapat diproduksi dekat lokasi perkebunan Dapat mengurangi biaya produksi atau biaya pemupukan
Teknologi produksi sederhana	Dapat dibuat oleh bengkel-bengkel lokal Dapat dioperasikan dengan sedikit pelatihan
Harga bersaing dengan kompetitor	Tidak menambah biaya pemupukan bagi petani
Periode pemupukan cukup 1 kali	Mengurangi tenaga pemupukan Mengurangi biaya tenaga kerja Meningkatkan produktivitas tanaman, sehingga dapat meningkatkan output produk

Sumber : (Tjahjono & Hanuranto, 2014)

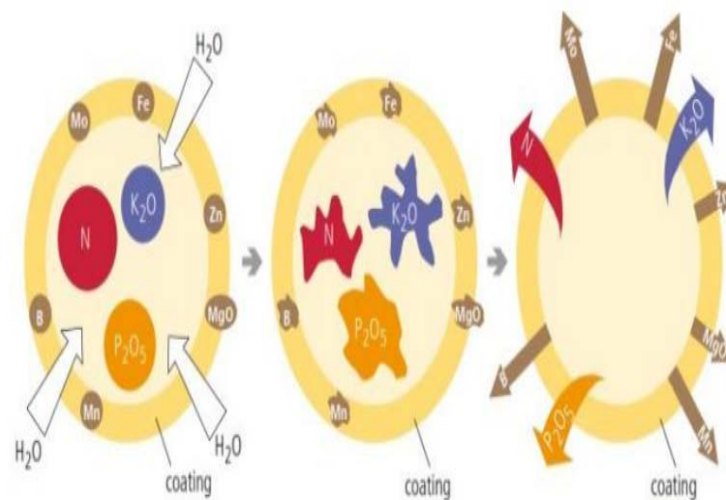
Proses pelepasan unsur hara pada pupuk lepas lambat dari dalam granul kelingkungan melewati mekanisme proses pengikisan, difusi dan pelarutan (Plimmer *et al*, 2003). Proses transfer *nutrient* dimulai dari area permukaan pupuk lepas lambat, saat pupuk terkontak dengan pelarut air, air akan melewati permukaan granul pupuk sehingga terjadi proses pengikisan.

Penyerapan air menuju inti pupuk terjadi dengan melewati pori-pori lapisan pupuk yang digunakan sebagai bahan perekat, adanya pelarutan tersebut mengakibatkan beda konsentrasi antara lingkungan dengan granul pupuk. Perbedaan konsentrasi ini mengakibatkan terjadinya difusi padat cair, difusi merupakan peristiwa mengalirnya atau berpindahny suatu zat dalam hal ini

nutrient dalam pelarut air dari bagian yang memiliki konsentrasi tinggi (pupuk) menuju bagian yang memiliki konsentrasi rendah (lingkungan) (Trinh dan Kusaari, 2016).



Gambar 1. Siklus penguraian pupuk dalam tanah



Gambar 2. Proses pelepasan unsur hara

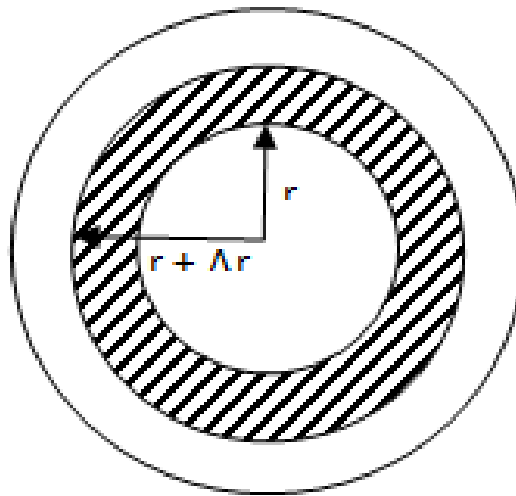
Pada sistem multikomponen, dalam pupuk terjadi interaksi antar *nutrient*. Interaksi ini akan berdampak pada proses pelepasan dan penyerapan *nutrient* pada tanaman, ketika proses penyiraman interaksi antar molekul dapat mengubah struktur permukaan granul dan membentuk aliran di dalam granul, sehingga

komponen yang memiliki ukuran yang lebih kecil akan lebih cepat terlepas (Paradelo dkk., 2014). Proses transfer nutrisi multikomponen dapat dinyatakan dengan hukum difusi Fick (Basu, 2010).

Pelepasan nitrogen dan dari granul pupuk ke lingkungan dimodelkan dengan neraca massa *nutrient* dalam granul dengan asumsi:

1. Padatan berbentuk bola dengan jari-jari R
2. Proses berlangsung pada suhu konstan
3. Ukuran padatan seragam dan tidak berubah selama proses berlangsung
4. Kehilangan nitrogen dan zat aktif pestisida akibat penguapan ke udara dapat diabaikan karena wadah yang digunakan dalam keadaan tertutup.

Berdasarkan asumsi-asumsi yang telah diambil akan dilakukan penyusunan neraca massa *nutrient* dalam granul SRF. Elemen volume diambil dalam granul pupuk seperti yang dinyatakan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 3. Mekanisme pelepasan *nutrient* dalam granul pupuk

2.2 Pupuk Organik

Menurut Roidah (2013) Indonesia memiliki peluang besar untuk mengembangkan pertanian organik. Pengembangan pertanian organik akan memiliki nilai jual yang lebih tinggi dibandingkan dengan pertanian anorganik. Hal tersebut berkaitan dengan penyediaan makanan yang cukup, berkualitas dan berkelanjutan bagi masyarakat guna menunjang ketahanan pangan lokal (*local food security*).

Menurut Juarsah (2014), pupuk organik adalah pupuk yang terdiri dari bahan-bahan organik yang berasal dari tanaman maupun hewan, berbentuk padat maupun cair. Serta dapat digunakan sebagai suplai nutrisi bagi tanaman maupun tanah guna memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologis tanah. Peranan pupuk organik pada sifat fisik tanah antara lain meningkatkan agregasi, melindungi agregat dari perusakan oleh air, membuat tanah mudah untuk diolah, dapat meningkatkan porositas dan aerasi tanah, meningkatkan kapasitas infiltrasi dan perkolasi serta memberikan kebutuhan berupa C-organik, N-total, fosfat dan kalium. Sedangkan pada fungsi kimia, pupuk organik menyediakan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfat, kalium, kalsium, magnesium dan sulfur serta juga menyediakan unsur hara mikro seperti seng, tembaga, molibdenum, kobalt, boron, mangan dan besi yang tidak terdapat pada pupuk komersial. Selain itu, pupuk organik juga dapat meningkatkan kapasitas tukar kation pada tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (Juarsah, 2014).

Pada sisi lain pupuk organik juga dapat mengubah sifat biologi tanah, dengan adanya pupuk organik, mikroba tanah mendapat sumber energi dan makanan dari perombakan bahan yang mengandung karbon. Sehingga mikroba dapat beraktifitas secara optimum untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara pada tanaman. Perbaikan struktur tanah secara fisik, kimia dan biologis ini dapat meningkatkan efisiensi pemupukan karena akar tanaman dapat berkembang dan menyerap unsur hara dengan baik.

Menurut (Roidah, 2013) adapun manfaat penerapan sistem pertanian organik ini adalah meningkatkan pendapatan petani, mengurangi pencemaran akibat kegiatan pertanian, menghasilkan hasil pertanian yang aman, bergizi sehingga dapat mendukung kesehatan masyarakat, menciptakan lingkungan yang

sehat dan aman bagi petani dan lingkungan, menjaga dan meningkatkan produktivitas lahan dan sumber daya alam.

2.3 Pupuk Kandang Ayam

Pupuk kandang merupakan salah satu pupuk organik yang mudah terdekomposisi dan menghasilkan C-organik, N-total yang tinggi jika dibandingkan dengan jerami padi dan jagung (Juarsah, 2014). Pupuk kandang ini merupakan hasil buangan pada binatang yang dapat digunakan sebagai pupuk pada tanaman. Pada tabel 2 berikut dijabarkan kandungan unsur hara pada beberapa pupuk kandang.

Tabel 2. Kandungan unsur hara pada pupuk kandang

Sumber	Kadar air (%)	Bahan organik(%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Rasio C/N(%)
Sapi	80	16	0,3	0,2	0,15	0,2	20-25
Kerbau	81	12,7	0,25	0,18	0,17	0,4	25-28
Kambing	64	31	0,7	0,4	0,25	0,4	20-25
Ayam	57	29	1,5	1,3	0,8	4,0	9-11
Babi	78	17	0,5	0,4	0,4	0,07	19-20
Kuda	73	22	0,5	0,25	0,3	0,2	24

Sumber: (Hartatik & Widowati, 2006)

Salah satu pupuk kandang yang memiliki kandungan unsur hara yang tinggi adalah kotoran ayam atau *chicken manure*. Kotoran ayam merupakan pupuk kandang yang berasal dari sisa metabolisme tubuh ayam yang dikeluarkan dalam bentuk padat disertai urine dan sisa-sisa pakan. Kotoran ayam atau *chicken manure* memiliki kandungan nitrogen yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pupuk kandang yang lainnya. Kandungan unsur hara nitrogen menjadi sangat penting untuk tanaman terutama pada proses pertumbuhan daun, batang dan cabang (Jati & Aini, 2018).



Gambar 4. Pupuk kandang ayam

Kadar unsur hara pada kotoran ayam sangat dipengaruhi oleh pakan ayam tersebut, menurut penelitian yang dilakukan oleh Tufaila *et al.*, (2014) kotoran ayam mengandung unsur hara makro dan mikro, dengan pH 6,8, C-Organik 12,23%, Nitrogen Total 1,77%, P_2O_5 27,45 (mg 100/gram), dan kandungan K_2O 3,21 (mg 100/gram). Pemberian pupuk kandang sangat berpengaruh terhadap perbaikan struktur tanah masam, jumlah pemupukan pupuk kandang berbanding lurus dengan ketersediaan unsur hara makro maupun mikro pada tanah. Unsur hara tersebut salah satunya adanya nitrogen, perlakuan tersebut merespon positif dengan adanya banyak buah yang terbentuk pada tanaman mentimun. Kadar nitrogen dalam tanah dapat meningkat karena bahan organik yang berasal dari kotoran ayam merupakan makanan bagi mikroorganisme pengikat N dalam tanah.

Proses dekomposisi bahan organik pupuk kandang juga berpengaruh pada peningkatan ketersediaan unsur P pada tanah, terdapat hubungan positif antara dekomposisi bahan organik dengan adsorpsi P. Ketersediaan kalium juga berperan penting pada tumbuhan, yaitu berfungsi memperkuat tubuh tanaman, memperkuat tanaman terhadap kekeringan dan penyakit, sebagai enzim aktivator pada metabolisme karbohidrat dan nitrogen dalam pembentukan, pemecahan dan translokasi pati, memacu dan meningkatkan pertumbuhan luas daun yang dengan hal ini meningkatkan asimilasi karbon dioksida dan meningkatkan translokasi hasil fotosintesis (Tufaila *et al.*, 2014).

Kandungan unsur hara yang lebih banyak dari pupuk kandang yang lainnya memberikan keuntungan dalam pemakaian, kotoran ayam berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara, memperbaiki struktur tanah baik dari segi fisik, kimia maupun biologi tanahnya, dapat menyuburkan tanaman dan dapat meningkatkan retensi air (Walida *et al.*, 2020).

Di beberapa penelitian mengenai aplikasi pupuk kandang kotoran ayam terhadap lahan pertanian menunjukkan hasil yang positif. Menurut (Walida *et al.*, 2020) aplikasi pupuk kandang kotoran ayam pada tanaman kacang tanah memberikan pertumbuhan dan produksi terbaik yang ditunjukkan dengan produksi perpetaknya sebesar 2,73 kg dengan perlakuan penggunaan kotoran ayam 10 ton/ha. Menurut Robani (2015), mengenai pengaruh kombinasi kotoran ayam dan solid pada tanah galian sebagai tempat persemaian kelapa sawit menunjukkan pengaruh baik terhadap tanaman serta dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, biologi tanah. Sehingga kombinasi ini cocok dimanfaatkan sebagai media persemaian yang baik untuk tanaman sawit

2.4 Sekam Padi

Menurut Harahap *et al.*, (2020), sekam ataupun jerami padi adalah salah satu dari sekian banyak sumber bahan organik yang mudah untuk ditemukan dan memiliki potensi untuk bisa dimanfaatkan. Sekam merupakan bagian terluar dari jenis padi-padian berupa lembaran kering, bersisik dan tidak dapat dimakan. Hal ini dapat dijumpai hampir pada setiap jenis padi-padian, tetapi ada juga yang tidak memiliki sekam seperti jenis jagung dan gandum. Secara anatomi, pembentukan sekam terjadi dari bagian bunga padi-padian yang disebut gluma, palea dan lemma. Pada tanaman padi, gluma berupa dua duri kecil di bagian pangkal, palea berupa bagian penutup yang kecil, sedangkan lemma berupa bagian penutup yang besar dan berbulu (*awn*) pada varietas tertentu.



Gambar 5. Sekam padi

Sekam padi seringkali dipandang sebagai limbah pertanian. Hal tersebut memang tidak bisa disalahkan karena masih tergolong minimnya pemanfaatan dan pengetahuan akan manfaat dari sekam padi. Produksi sekam padi di Indonesia bisa mencapai 4 juta ton per tahunnya (Pane *et al.*, 2014). Hal ini berarti bisa menjadi nilai yang cukup besar jika para petani mengerti dan tahu akan manfaatnya. Seiring berkembangnya waktu, pemanfaatan sekam menjadi produk baru atau produk pendukung mulai banyak dilakukan. Menurut (Aagustiar *et al.*, 2016) sekam padi merupakan limbah pertanian padi yang bersifat ringan, mempunyai aerasi dan drainase yang terbilang baik, ketersediaan hara yang dibutuhkan tanaman, tidak mempengaruhi pH, harganya yang murah, kapasitas penyerapan air dan penyediaan unsur hara, serta bisa mempertahankan kelembaban air di sekitar akar supaya bisa mencukupi kebutuhan tanaman.

Sekam padi mengandung unsur-unsur hara yang dibutuhkan seperti nitrogen (N), kalium (K), selulosa, lignin dan hemiselulosa. Dalam sekam padi terkandung unsur N sebanyak 1% dan K sebanyak 2%, serta jika dibakar dapat menghasilkan abu dengan kandungan silika cukup tinggi yaitu 87-97% (Kiswondo, 2011). Dari komposisi tersebut maka penambahan kompos dengan bahan sekam padi sangat menunjang pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik. Umumnya sekam juga bisa dijadikan sebagai pupuk kompos (pupuk organik) dengan campuran bahan lain misalnya urine hewan ternak. Pemanfaatan sekam

padi sebagai media penyubur tanah telah banyak diteliti oleh pakar-pakar pertanian maupun institusi tertentu.

Contohnya pemanfaatan sekam padi untuk menyuburkan kembali tanah ultisol yang merupakan jenis tanah yang kurang subur karena bersifat asam dan mengandung unsur aluminium (Al) cukup tinggi yang menjadi racun bagi tanaman. Penambahan sekam padi diketahui dapat meningkatkan kembali unsur P, K dan C dalam tanah sehingga menjadi lebih subur.

Tanah yang subur dan mencukupi kebutuhan unsur hara bagi tanaman akan mempengaruhi kualitas dari tanaman itu sendiri nantinya, semakin baik tanaman mendapatkan unsur hara maka semakin baik pula kualitas tanaman tersebut (Yahya, 2017). Dalam beberapa jurnal internasional juga telah mengkaji manfaat dari sekam padi ini sebagai bahan pembuat pupuk organik, seperti pembuatan pupuk cair dan karbon aktif berbahan dasar sekam padi dan yang lainnya.

Kompos sekam padi terbentuk dengan mengalami proses pelapukan melalui interaksi antara mikroorganisme di dalamnya. Proses ini dapat berlangsung secara alamiah, namun dengan kurun waktu yang sangat lama hingga mencapai bertahun-tahun. Sekam padi tidak bisa digunakan sebagai pupuk secara langsung melainkan harus dikomposkan terlebih dahulu agar unsur-unsur hara dalam sekam padi dapat diserap oleh tanaman. Proses pengomposan bertujuan untuk menurunkan kadar C/N dari bahan organik hingga sama dengan kondisi tanah (< 20) pada media tanamnya (Suhastyo, 2017).

2.5 TSP (Triple Super Phosphate)

Pupuk TSP (Triple Super Phosphate) ini, berasal dari Amerika Serikat. Pupuk ini menggantikan pupuk DS saat hubungan Indonesia dan Belanda sedang kurang baik. Pupuk TSP memiliki unsur fosfat terbaik, kandungan fosfatnya tinggi dan sifatnya juga mudah larut dengan air. Kandungan fosfat pada pupuk TSP ini berupa P_2O_5 , dengan kadar P_2O_5 sebesar 46-48%. Pupuk TSP berwarna abu-abu dengan bentuk butiran atau granulated. Bahan baku utama pembuatan pupuk TSP ini adalah asam fosfat dan batuan fosfat yang menghasilkan kalium fosfat yang memiliki sifat yang mudah larut dalam air.

2.6 Pati

Pati merupakan salah satu polisakarida yang banyak ditemukan pada tanaman seperti biji-bijian sayuran, umbi-umbian maupun buah-buahan. Sumber pati alami antara lain terdapat jagung, labu, ubi jalar, barley, pisang, gandum, beras, sagu, kentang, ubi kayu, sorgum dan amaranth (Herawati, 2016). Pemanfaatan pati asli masih sangat terbatas hal ini disebabkan karena sifat fisik dan kimianya kurang sesuai untuk dapat digunakan secara luas. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi sifat-sifat pada pati untuk meningkatkan daya guna dan nilai ekonomi dengan melalui perlakuan fisik, kimia maupun kombinasi keduanya.

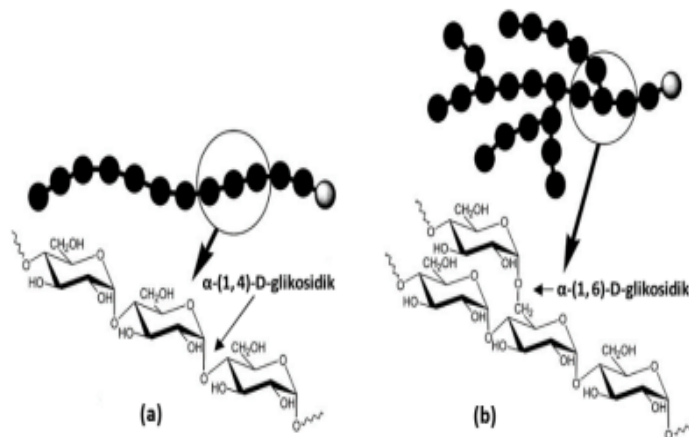
Selain itu, pati juga merupakan zat gizi yang penting bagi manusia, kebutuhan energi hampir 80% dipenuhi dari karbohidrat. Pati dikelompokkan menjadi dua, berdasarkan waktu cerna yaitu pati yang dapat dicerna dengan cepat atau *Rapid Digestible Starch* (RDS) dan pati yang dicerna dengan waktu yang lambat atau *Slowly Digestible Starch* (SDS). Adapun contoh dari pati RDS adalah beras dan ketan yang telah dimasak, sedangkan contoh untuk SDS adalah pati sereal, produk pasta dan RS atau pati yang sulit dicerna di dalam usus halus.

Pati berbentuk granul atau butiran-butiran kecil yang berikatan dengan lemak, air dan senyawa lainnya dalam sel. Pati memiliki rumus empiris $(C_6H_{10}O_5)_n$, dan berasal dari satuan alfa-D-glukosa (anhidroglukosa). Umumnya pati mengandung 15–30% amilosa serta 70–85% amilopektin kemudian sisanya 5–10% material antara. Struktur dan jenis material antara tiap sumber pati berbeda tergantung sifat-sifat botani sumber pati tersebut. Penyusun polimer utama pada pati adalah amilosa dan amilopektin (Masrukan, 2020). Molekul amilosa adalah polimer dari unit-unit glukosa, yang berbentuk rantai lurus, tidak bercabang serta mempunyai struktur heliks yang terdiri dari 200 – 2000 satuan anhidroglukosa, dengan bentuk ikatan alfa 1-4 D-glikosidik. Derajat polimerisasi amilosa berkisar pada 500-6.000 unit glukosa (Herawati, 2016).

Penyusun utama pati lainnya adalah amilopektin, amilopektin merupakan polimer unit glukosa yang memiliki bentuk bercabang dengan ikatan alfa 1-4 D-glikosidik untuk rantai lurusnya dan ikatan alfa 1,6 D-glikosidik. Pada percabangannya terdiri dari 10.000 – 100.000 satuan anhidroglukosa (Masrukan, 2020). Pada saat dipanaskan dalam air, amilopektin akan membentuk larutan

dengan viskositas yang tinggi dan berbentuk lapisan-lapisan seperti untaian tali, serta terlihat transparan. Pati amilopektin cenderung tidak akan mengalami retrogradasi, yaitu pembentukan kembali struktur kristal pada pati yang telah mengalami proses gelatinisasi atau proses pembentukan gel akibat penyerapan air selama pemanasan sehingga granul pati membengkak dan membentuk gel (Herawati, 2016)

Berikut merupakan gambaran struktur amilosa dan amilopektin,



Sumber : (Herawati, 2016)

Gambar 6. Struktur amilosa (a) dan amilopektin (b)

Pada struktur granula pati, amilosa dan amilopektin tersusun pada suatu cincin-cincin, cincin tersebut terdiri dari cincin lapisan amorf dan cincin lapisan semi kristal. Jumlah cincin dalam satu granula pati berkisar kurang lebih 16 buah. Sifat –sifat yang dimiliki pati memberikan keuntungan dalam proses pembuatan pupuk lepas lambat. Amilum merupakan salah satu bahan yang berasal dari alam yang tidak merugikan lingkungan jika digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Disamping itu, ketersediaan amilum di Indonesia sangat banyak serta memiliki harga yang jauh lebih murah. Dalam keadaan murni granul pati terlihat berwarna putih, tidak berbau dan tidak berasa..

Pati merupakan salah satu polimer alami yang berasal dari berbagai jenis tumbuhan, bersifat terbarukan dengan ketersediaan bahan yang melimpah. Pati memiliki harga yang murah dan mudah untuk didapatkan. Pati telah banyak digunakan sebagai *films* dan *coating* pada berbagai jenis bidang seperti makan,

farmasi dan juga pertanian khususnya pelapisan urea maupun pupuk lainnya. Sifatnya yang biodegradable juga menambah nilai potensi pengembangan pati dalam aplikasi pengontrolan pelepasan nutrisi pada pupuk (Himmah *et al.*, 2018).

2.7 Lateks

Lateks merupakan polimer hidrokarbon yang tersusun dari polimer isoprene yang memiliki rumus kimia monomer $(C_5H_8)_n$. Lateks biasanya didapatkan dari berbagai macam tumbuhan, terutama diperoleh dari tumbuhan pohon karet atau *Havea Brasiliensi*, namun juga dapat diperoleh secara sintetis sehingga karet terbagi menjadi dua macam yaitu karet alami (*natural rubber*) dan karet sintetis (Ali *et al.*, 2010). Pohon karet menjadi salah satu komoditas pertanian Indonesia, yang penyebarannya luas di berbagai daerah di Indonesia. Lateks juga merupakan sistem koloid, yaitu sistem yang terdiri dari zat pendispersi dan zat terdispersi. Sistem dispersi karet berasal dari poliisoprena $(C_5H_8)_n$ yang berada di dalam medium yang disebut dengan serum. Sistem ini memiliki dua fase, yaitu fase tetap berupa serum dan fase tidak tetap berupa butiran lateks (Ali *et al.*, 2010).



Gambar 7. Lateks

Lateks diperoleh dengan cara disadap di bagian batang pohon karet, pada batang pohon karet terdapat sel-sel yang membentuk pembuluh lateks. Sel tersebut memproduksi butiran-butiran kecil lateks di bagian sitosolnya, sehingga

apabila jaringan tersebut terbuka akibat goresan maupun proses penyadapan, maka getah lateks akan lepas ke pembuluh dan keluar di permukaan batang.

Lateks menjadi bahan alami yang berpotensi digunakan sebagai bahan pelapis dalam proses pembuatan pupuk lepas lambat (*slow release fertilizer*). Karakter lateks sebagai bahan adhesive, secara teknis dapat digunakan sebagai binder penghambat nitrifikasi pupuk pertanian, lateks cocok digunakan sebagai bahan pelapis pada proses pembuatan pupuk SRF karena ketersediaan lateks yang melimpah, sifat biodegradable pada lateks, sifat lateks yang mudah larut dalam air memudahkan proses granulasi pupuk, dapat terdegradasi akibat paparan sinar UV (Hamzah *et al.*, 2019).

2.8 Design Expert

Design Expert merupakan software yang digunakan untuk optimasi dalam metode penelitian. Design Expert diproduksi oleh Stateease dan dirilis pada tahun 1996. Selain melakukan optimasi, software ini juga dapat digunakan untuk menjabarkan mengenai faktor-faktor yang digunakan dalam percobaan. Penelitian dapat diarahkan dalam kedalam 3 arah pada software ini, yaitu *screening*, *characterization*, dan *optimization*. *Screening* adalah pilihan yang dapat digunakan untuk run yang sedikit, namun juga memberikan informasi yang sedikit. Run adalah banyaknya eksperimen yang perlu dilakukan. Run ditentukan berdasarkan desain yang dipilih. *Screening* dipilih jika terdapat banyak faktor yang memungkinkan berdampak pada hasil yang diperoleh. Faktor tersebut bisa lebih dari 6.

Characterization memberikan lebih banyak informasi dibanding dengan *screening* namun juga memerlukan lebih banyak running per faktor. Faktor tersebut tidak lebih 10. *Characterization* dapat digunakan untuk menentukan respons signifikan pada faktor, termasuk interaksi diantaranya. Penggunaan *center point* juga perlu dipertimbangkan untuk mendeteksi interaksi non-linier setelah mempersempit faktornya. *Center point* juga dapat digunakan untuk mengatur respons secara maksimal atau minimal jika tidak terdapat *curve*.

Arah yang paling banyak membutuhkan running dan informasi adalah *optimization*. Optimasi digunakan setelah mempersempit faktor menjadi kurang dari 6 faktor. Faktor yang dipersempit merupakan faktor penting dan diduga titik optimumnya berada di faktor tersebut. *Optimization* digunakan untuk mengatur faktor yang maksimal atau meminimalisir respons. Tiga pilihan dalam design expert masing-masing memiliki metode yang digunakan, yaitu:

1. Faktorial

Metode faktorial merupakan metode yang paling sederhana. Faktorial merupakan aplikasi persamaan regresi yang memberikan model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Metode ini biasa digunakan untuk perbaikan proses. Metode ini digunakan untuk mengetahui respons atau efek dari kondisi dan melihat interaksi yang terjadi. Pada desain ini terdapat faktor, level dan efek. Faktor adalah besaran variabel independen yang mempengaruhi hasil output. Faktor dibedakan menjadi 2, yaitu kualitatif dan kuantitatif. Level merupakan nilai untuk faktor, sedangkan Efek adalah hasil atau respons dari sebuah percobaan.

2. *Respon Surface Methodology* (RSM)

Respon Surface Methodology (RSM) dapat pula disebut *Box-Wilson Methodology*. Proses analisis dan memodelkan masalah dari sebuah respon yang dipengaruhi beberapa variabel dapat menggunakan RSM. *Respon Surface Methodology* (RSM) dapat menghubungkan respons dengan data masukan yang mempengaruhinya secara statistik dan matematika. Penggunaan *Respon Surface Methodology* (RSM) dapat mengoptimalkan sebuah percobaan, dengan cara membuat model ke daerah yang memiliki respon optimum. Tahapan optimasi selanjutnya dilakukan dengan menganalisis permukaan respon, permukaan yang digunakan merupakan permukaan respon yang cocok. Parameter model dapat diperkirakan secara efektif jika desain eksperimental yang digunakan untuk mengumpulkan data menggunakan desain eksperimental yang tepat. *Respon Surface Methodology* (RSM) merupakan metode yang digunakan untuk

mencocokkan permukaan respon. Dalam *Respon Surface Methodology* (RSM) terdapat dua desain, yaitu :

a. *Central Composite Design* (CCD)

Pada *Respon Surface Methodology* (RSM) tidak diberikan informasi mengenai optimasi dan lokasi optimasi tidak diketahui, sehingga untuk mengetahui informasi itu dapat menggunakan *Central Composite Design* (CCD). *Central Composite Design* (CCD) juga memiliki rotatability. Masing-masing faktor ditentukan nilai batas uji untuk menentukan titik uji penelitian. Respon yang dihasilkan dimodelkan secara matematika, model tersebut antara lain *mean*, *linier*, *quadratic*, dua faktor *interaction* (2FI) dan *cubic*. *Central Composite Design* (CCD) dikenal istilah *desirability*, *desirability* merupakan nilai yang menunjukkan seberapa dekatnya titik optimum. Nilai *desirability* yang mendekati 1 adalah nilai yang diinginkan. Titik optimum yang baik ditandai dengan nilai *desirability* yang tinggi atau mendekati 1.

b. *Box-Bhenken Design* (BBD)

Tiga variabel independen dapat dioptimasi menggunakan *Box-Bhenken Design* (BBD). *Box-Bhenken Design* (BBD) memiliki run lebih sedikit dibanding dengan CCD namun tetap memberikan prediksi nilai optimum secara linier atau kuadratik dengan baik, sehingga *Box-Bhenken Design* (BBD) dianggap lebih efisien.

3. *Mixture*

Komponen yang formulasinya berubah secara proporsional dapat menggunakan *mixture*. Persentase setiap variabel harus selalu bertambah hingga mendapatkan nilai total tetap. *Mixture* dapat menunjukkan respon yang sangat sensitif seperti variabel yang jumlah sangat sedikit. Nilai faktor dalam *mixture* memiliki proporsi antara 0 dan 1. Salah satu metode dalam *mixture* adalah *Simplex Lattice Design* (SLD), SLD merupakan metode optimasi yang digunakan untuk menentukan formula optimum suatu campuran bahan dengan proporsi jumlah total suatu bahan yang

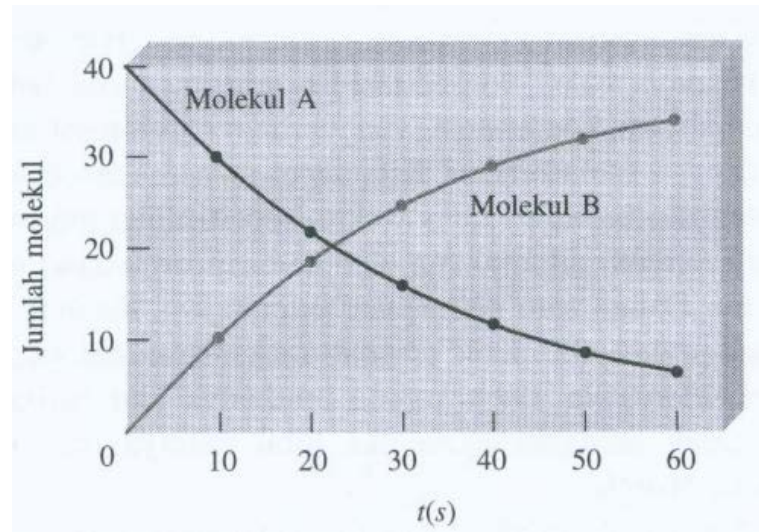
berbeda harus 1 atau 100%. Faktor yang digunakan minimal memiliki 2 bahan yang berbeda. *Mixture* dapat memberikan formula optimal dengan menggunakan data respon dari parameter-parameter sediaan. Dari berbagai variasi formula campuran. Formula optimum merupakan formula yang memiliki hasil evaluasi berada dalam rentang batas dalam setiap parameter. Formula optimum merupakan formula yang memiliki *desirability* mendekati satu. Tingkat *desirability* mendekati satu menunjukkan taraf kepercayaan yang tinggi.

4. *Combined*

Penggunaan factorial, RSM dan Mixture pada *design of experiment* (DOE) secara kombinasi dapat menggunakan *design combined*. Design ini digunakan untuk mempelajari variabel-variabel antara variabel komposisi campuran dan variabel proses dalam satu DOE (Hidayat et al., 2021).

2.9 Laju Reaksi

Reaksi kimia merupakan proses pembentukan produk atau hasil reaksi dari reaktan yang berubah. Reaksi kimia dapat berjalan cepat maupun lambat. Reaksi kimia yang berjalan cepat biasanya terjadi pada senyawa anorganik, sedangkan pada senyawa organik reaksi kimia cenderung berlangsung lambat. Tingkat kecepatan atau laju reaksi ini dibahas dalam kinetika kimia (Zumdahl & Zumdahl, 2014) Kinetika kimia merupakan cabang ilmu yang mempelajari tentang laju reaksi kimia, energi yang mempengaruhinya serta mekanisme yang menyertainya. Mekanisme reaksi kimia adalah tahap demi tahapan proses yang dilalui reaktan berubah menjadi produk hingga tercapai reaksi total. Laju reaksi adalah perubahan konsentrasi reaktan atau produk persatuan waktu. Pendapat lain menyebutkan laju penambahan produk atau pengurangan reaktan persatuan waktu (Zumdahl & Zumdahl, 2014). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 8. Laju reaksi

Pada grafik diatas menunjukkan reaksi kimia antara $A \rightarrow B$, maka laju reaksinya ditentukan dari jumlah zat A yang bereaksi dan jumlah zat B yang bertambah persatuan waktu. Sehingga konsep laju reaksi $A \rightarrow B$ dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$r_A = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} \dots\dots\dots \text{(Pers 1)}$$

Atau

$$r_B = + \frac{\Delta[B]}{\Delta t} \dots\dots\dots \text{(Pers 2)}$$

(Zumdahl & Zumdahl, 2014)

Keterangan :

r_A = Laju reaksi terhadap A (reaktan)

r_B = Laju reaksi terhadap B (produk)

$\Delta[A]$ = Perubahan konsentrasi reaktan

$\Delta[B]$ = Perubahan konsentrasi Produk

Δt = Perubahan waktu selama reaksi

$\Delta [A]$ merupakan perubahan konsentrasi reaktan persatuan waktu sedangkan $\Delta [B]$ merupakan perubahan konsentrasi produk persatuan waktu. Konsentrasi A mengalami penurunan selama selang waktu, sehingga kuantitasnya negatif. Laju reaksi kuantitasnya positif sehingga pada reaktan perlu ditambahkan tanda minus agar kuantitas laju tetap positif. Laju pembentukan produk tidak diperlukan tanda minus karena kuantitas pembentukan produk bernilai positif (konsentrasi produk / B meningkat pada selang waktu) (Zumdahl & Zumdahl, 2014). Menurut Zumdahl & Zumdahl (2014), laju reaksi dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

a. Sifat dan Keadaan Zat

Dalam proses reaksi kimia terjadi pembentukan dan penguraian ikatan, sehingga jenis ikatan reaktan akan mempengaruhi laju reaksi. Sifat zat yang memiliki luas permukaan tertentu juga berpengaruh terhadap laju reaksi. Zat berbentuk serbuk dengan zat yang berbentuk bongkahan akan memiliki laju reaksi yang berbeda. Zat yang memiliki ukuran kecil berarti luas permukaannya besar, dengan luas permukaan besar kontak antar zat atau proses tumbukan semakin besar sehingga laju reaksi semakin cepat. Begitupun sebaliknya, zat yang berukuran lebih besar memiliki luas permukaan lebih kecil sehingga laju reaksi lebih lambat.

b. Konsentrasi

Konsentrasi memiliki pengaruh berbanding lurus terhadap laju reaksi, maka semakin besar konsentrasi akan semakin cepat laju reaksinya dan sebaliknya, semakin rendah konsentrasi maka akan semakin lambat laju reaksinya. Konsentrasi yang tinggi memungkinkan terjadi tumbukan antar molekul semakin banyak dan efektif, sehingga mempercepat laju reaksi. Tumbukan yang efektif adalah tumbukan yang menghasilkan reaksi. Untuk membentuk reaksi maka tumbukan molekul perlu memiliki energi aktivasi.

c. Temperatur

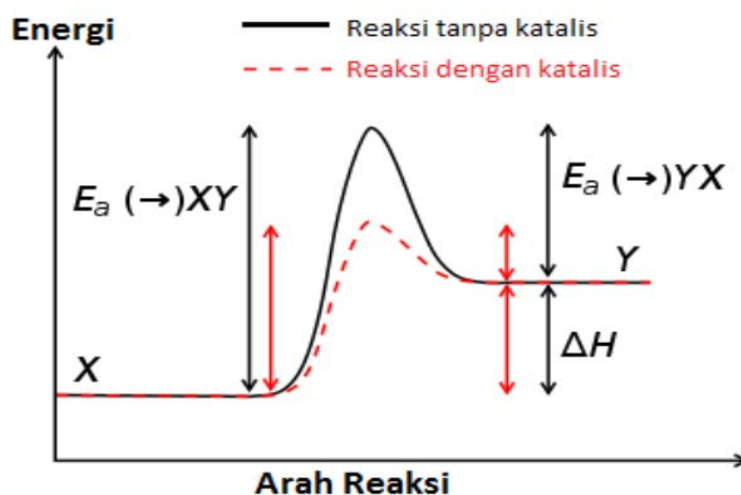
Temperatur berbanding lurus dengan penambahan energi dan laju reaksi. Meningkatkan temperature berarti menambah energi, sehingga energi kinetik pada molekul meningkat. Peningkatan energi mempercepat pergerakan molekul, sehingga kemungkinan tumbukan efektif makin banyak terjadi.

d. Tekanan

Pada dunia industri, pereaksi gas banyak melibatkan peningkatan tekanan. Dengan meningkatkan tekanan maka volume akan mengecil dan suhu akan meningkat, sehingga memperbesar konsentrasi dan mempercepat laju reaksi.

e. Katalisator

Katalisator merupakan zat yang mempercepat reaksi, namun tidak ikut bereaksi dengan demikian katalisator masih dapat diperoleh kembali pada akhir reaksi dengan jumlah yang sama. Katalisator adalah zat yang dapat menurunkan energi aktivasi (E_a) dari suatu reaksi, sehingga mempermudah reaktan untuk melaluinya. Hal tersebut akan mempercepat laju reaksi. Grafik yang menggambarkan pengaruh katalisator pada energi aktivasi disajikan pada gambar berikut.



Gambar 9. Pengaruh katalisator terhadap energi aktivasi

2.10 Hukum Laju Reaksi

Hukum laju reaksi atau persamaan laju reaksi adalah persamaan yang menggambarkan hubungan antara laju reaksi dengan konsentrasi pereaksi. Hukum laju reaksi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$V = k [A]^x [B]^y \dots\dots\dots (Pers 3)$$

(Zumdahl & Zumdahl, 2014)

Keterangan :

- V = laju reaksi (m/s)
- [A] = konsentrasi zat A (M)
- [B] = konsentrasi zat B (M)
- X = orde reaksi terhadap A
- Y = orde reaksi terhadap B
- X+Y = orde reaksi total

Tetapan laju pada suatu reaksi menggunakan tetapan kestabilan k, tetapan laju k tidak berubah sepanjang proses reaksi. Perubahan tersebut hanya terjadi pada pengurangan konsentrasi persatuan waktu, sehingga laju makin berkurang. Adanya tetapan k pada suatu reaksi memberikan ukuran kecepatan reaksi. Makin besar nilai k maka semakin cepat reaksi yang berlangsung, begitupun sebaliknya semakin rendah nilai k maka akan semakin lambat reaksi (Zumdahl & Zumdahl, 2014).

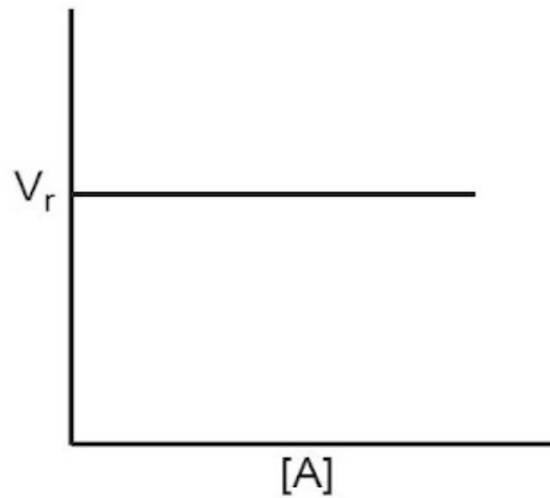
2.11 Orde Reaksi

Jumlah eksponen dari konsentrasi dalam hukum laju disebut orde reaksi. Orde reaksi menyatakan besarnya pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi. Orde reaksi merupakan bilangan bulat sederhana seperti 1,2 atau 3, namun terkadang terdapat reaksi yang memiliki orde 0 atau bahkan negatif (Zumdahl & Zumdahl, 2014). Berikut merupakan beberapa macam orde reaksi :

a. Orde reaksi nol

Reaksi yang memiliki orde nol, kecepatan atau laju reaksinya tetap. Laju reaksi ini tidak dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan, namun dipengaruhi oleh

faktor lain seperti suhu, enzim, katalis atau intensitas cahaya. Grafik orde nol digambarkan sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik hubungan laju reaksi dengan konsentrasi pada orde 0

reaksi orde nol dinyatakan sebagai berikut :

$$-K[A]^0 = V \dots\dots\dots \text{(Pers 4)}$$

Jika diselesaikan secara kalkulus, maka diperoleh penurunan rumus sebagai berikut :

$$-K[A]^0 = V \dots\dots\dots \text{(Pers 4)}$$

Pangkat dari konsentrasi A adalah nol, maka hasilnya adalah nol. Rumus V disubstitusi kepersamaan 4, sehingga diperoleh persamaan 5.

$$-K = \frac{dA}{dt} \dots\dots\dots \text{(Pers 5)}$$

Diferensial A (dA) dan diferensial t (dt) diintegalkan menjadi persamaan 6.

$$-\int_0^t K = \int_0^t \frac{dA}{dt} \dots\dots\dots \text{(Pers 6)}$$

$$-K \int_0^t dt = \int_0^t dA \dots\dots\dots \text{(Pers 7)}$$

Hasil dari integral tersebut adalah persamaan 8

$$-Kt = A_t - A_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 8)}$$

$$A_t = A_0 - Kt \dots\dots\dots \text{(Pers 9)}$$

(Zumdahl & Zumdahl, 2014)

Keterangan :

A_t = konsentrasi A pada saat t

A_0 = konsentrasi A pada saat t = 0 atau konsentrasi awal

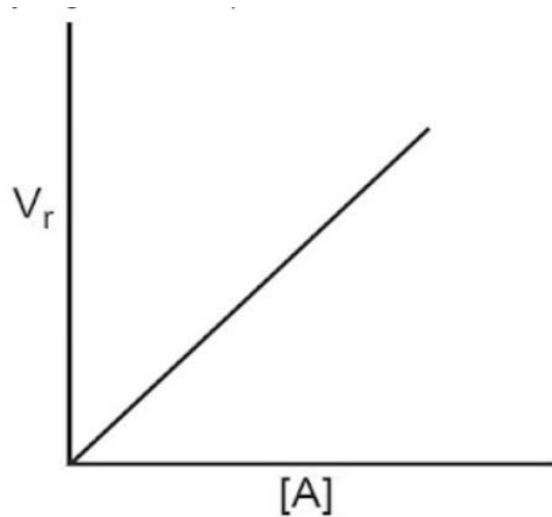
K = tetapan atau konstanta laju reaksi

Ln = logaritma

Satuan dari konstanta laju reaksi orde nol adalah mol/L.s atau mol L⁻¹. s⁻¹.

b. Orde reaksi satu

Reaksi yang memiliki orde satu, harga lajunya berbanding lurus dengan harga dari konsentrasi reaktan. Artinya, jika konsentrasi dinaikkan dua kali dari harga semula maka nilai lajunya juga naik dua kali dari harga semula. Dapat pula diartikan laju reaksi tersebut berbanding lurus dengan pangkat satu dari konsentrasi satu reaktan. Grafik orde satu disajikan pada Gambar 9.



Gambar 11. Grafik hubungan laju reaksi dengan konsentrasi pada orde 1

Persamaan orde satu dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$-K[A]^1 = V \dots\dots\dots (Pers 10)$$

Jika diselesaikan secara kalkulus, maka diperoleh penurunan rumus sebagai berikut :

$$K [A] = v \dots\dots\dots (Pers 11)$$

Rumus dari V disubstitusi kedalam persamaan 11, sehingga diperoleh persamaan 12.

$$K [A] = \frac{-\Delta[A]}{\Delta t} \dots\dots\dots (Pers 12)$$

$$K [A] = \frac{-d[A]}{dt} \dots\dots\dots (Pers 13)$$

$$K dt = \frac{-d[A]}{[A]} \dots\dots\dots (Pers 14)$$

$$-K dt = \frac{-d[A]}{[A]} \dots\dots\dots (Pers 15)$$

Fungsi diferensial dari konsentrasi (dA) dan waktu (dt) diintegalkan seperti pada persamaan berikut

$$\int_0^t -k dt = \int_0^t \frac{1}{[A]} d[A] \dots\dots\dots \text{(Pers 16)}$$

$$-k (t - 0) = \ln [A]_t - \ln [A]_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 17)}$$

$$-kt = \ln [A]_t - \ln [A]_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 18)}$$

$$\ln [A]_t = -k t + \ln [A]_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 19)}$$

(Zumdahl & Zumdahl, 2014)

Keterangan :

$[A]_t$ = konsentrasi A pada saat t

$[A]_0$ = konsentrasi A pada t = 0

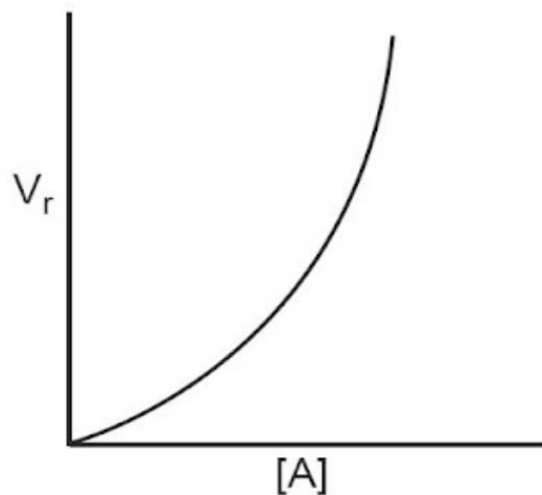
K = tetapan/konstanta laju reaksi

Ln = logaritma

Satuan dari konstanta laju reaksi orde nol adalah 1/s atau s^{-1}

c. Orde reaksi dua

Reaksi yang memiliki orde dua, harga laju reaksinya berbanding lurus dengan pangkat dua dari satu reaktan atau berbanding lurus dengan hasil kali dua reaktan yang berpangkat satu. Artinya, jika konsentrasi reaktan dinaikkan 2 kali dari harga semula maka nilai lajunya meningkat $(2)^2$ atau senilai 4 dari nilai semula. Grafik orde satu digambarkan sebagai berikut.



Gambar 12. Grafik hubungan laju reaksi dengan konsentrasi pada orde 2

Orde reaksi dua dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$-K[A]^2 = V \dots\dots\dots \text{(Pers 20)}$$

Atau

$$-K[A]^1[B]^1 = V \dots\dots\dots \text{(Pers 21)}$$

Jika diselesaikan secara kalkulus, maka diperoleh penurunan rumus sebagai berikut :

$$\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k[A]^2 \dots\dots\dots \text{(Pers 22)}$$

Diferensial konsentrasi dibagi dengan konsentrasi kuadrat, kemudian delta t dikali dengan konstanta sehingga diperoleh persamaan 23.

$$\frac{\Delta[A]}{[A]^2} = k\Delta t \dots\dots\dots \text{(Pers 23)}$$

Diferensial pada persamaan 23, diintegalkan seperti berikut :

$$\int_0^t \frac{\Delta[A]}{[A]^2} = k \int_0^t \Delta t \dots\dots\dots \text{(Pers 24)}$$

$$\frac{1}{[A]_t} - \frac{1}{[A]_0} = kt \dots\dots\dots \text{(Pers 25)}$$

$$\frac{1}{[A]_t} = \frac{1}{[A]_0} + kt \dots\dots\dots \text{(Pers 26)}$$

(Zumdahl & Zumdahl, 2014)

Keterangan :

[A]_t = konsentrasi A pada saat t[A]₀ = konsentrasi A pada t = 0

K = tetapan/konstanta laju reaksi

Ln = logaritma

Satuan dari konstanta laju reaksi orde nol adalah L/mol.s atau L. Mol⁻¹. s⁻¹

d. Orde reaksi negatif

Reaksi yang memiliki orde negatif nilai lajunya berbanding terbalik dari konsentrasi reaktan. Artinya, apabila konsentrasi dinaikkan maka laju reaksinya akan menjadi lebih kecil.

2.12 Waktu Paruh Reaksi

Waktu paruh atau t_{1/2} adalah waktu yang diperlukan agar konsentrasi reaktan turun menjadi setengah dari konsentrasi awalnya (Zumdahl & Zumdahl, 2014).

Waktu paruh dari orde reaksi akan dijabarkan sebagai berikut:

a. Waktu Paruh Reaksi Orde Nol

Penurunan persamaan waktu paruh reaksi orde nol dijabarkan sebagai berikut :

$$[A]_t = -kt + [A]_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 10)}$$

$$\frac{1}{2}[A]_t = -kt + [A]_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 27)}$$

$$kt = [A]_0 - \frac{1}{2}[A]_t \dots\dots\dots \text{(Pers 28)}$$

$$kt = \frac{1}{2}[A]_0 \dots\dots\dots \text{(Pers 29)}$$

$$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k} \dots\dots\dots \text{(Pers 30)}$$

(Zum Dahl & Zum Dahl, 2014)

b. Waktu Paruh Reaksi Orde Satu

Waktu paruh yang terjadi pada orde satu, jika diturunkan persamaannya sebagai berikut :

$$\ln[A]_t - \ln[A]_0 = -kt \dots\dots\dots \text{(Pers 18)}$$

$$\ln[A]_0 - \ln[A]_t = kt \dots\dots\dots \text{(Pers 31)}$$

$$\frac{\ln[A]_0}{\ln[A]_t} = kt \dots\dots\dots \text{(Pers 32)}$$

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{[A]_0}{[A]_t} \dots\dots\dots \text{(Pers 33)}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{[A]_0}{[A]_{t/2}} \dots\dots\dots \text{(Pers 34)}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln 2 \dots\dots\dots \text{(Pers 35)}$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k} \dots\dots\dots \text{(Pers 36)}$$

(Zum Dahl & Zum Dahl, 2014)

c. Waktu Paruh Reaksi Orde Dua

Penurunan persamaan waktu paruh reaksi orde dua dijabarkan sebagai berikut :

$$\frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0} \dots\dots\dots \text{(Pers 26)}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{2}[A]_0} = kt + \frac{1}{[A]_0} \dots\dots\dots \text{(Pers 39)}$$

$$\frac{2}{[A]_0} = kt + \frac{1}{[A]_0} \dots\dots\dots \text{(Pers 40)}$$

$$\frac{2}{[A]_0} - \frac{1}{[A]_0} = kt \dots\dots\dots \text{(Pers 41)}$$

$$\frac{1}{[A]_0} = kt \dots\dots\dots \text{(Pers 42)}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0} \dots\dots\dots \text{(Pers 43)}$$

(Zum Dahl & Zum Dahl, 2014)