

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.)

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan salah satu jenis tanaman pangan yang berasal dari benua Asia dan Afrika Barat. Sejarawan menjelaskan bahwa tanaman padi telah dibudidayakan di Zhenjiang, China pada 3000 tahun SM dan juga di Hastinapur Uttar Pradesh, India pada 100 – 800 tahun SM dengan bukti ditemukannya fosil gabah (Sari, 2019). Padi tergolong dalam genus *Oryza* yang terdiri dari 25 spesies, namun hanya dua spesies tanaman padi yang dibudidayakan, yaitu *Oryza sativa* L. di Asia dan *Oryza glaberrima* Steud. di Afrika. Kemudian pada spesies *Oryza sativa* L. berkembang lagi menjadi tiga ras berdasarkan eko geografis, diantaranya Indica, Japonica, dan Javanica (Suriyanto, 2017).

Terdapat dua golongan dari spesies *Oryza sativa* L., yaitu utilisima (beras biasa) dan glukotin (ketan). Utilisima (beras biasa) terbagi lagi menjadi dua golongan, yaitu *communis* dan *minuta*. Sedangkan, masyarakat di Indonesia umumnya membudidayakan padi golongan *communis* yang terbagi menjadi dua sub golongan, yaitu indica (padi bulu) dan sinica (padi cere atau japonica). Kedua sub golongan tersebut dibedakan berdasarkan ada tidaknya ekor pada bulir gabah. Pada padi jenis sinica (cere atau japonica) tidak memiliki ekor, sedangkan indica (padi bulu) memiliki ekor pada bulir gabahnya (Sugiarto, 2018).

Menurut literatur Sari (2019), tanaman padi diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledoneae
Ordo	: Poales
Famili	: Graminae
Genus	: <i>Oryza</i>
Spesies	: <i>Oryza sativa</i> L.

2.1.1 Morfologi

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) termasuk jenis tumbuhan Graminae atau rumput-rumputan yang terdiri dari ruas-ruas. Struktur yang menjadi pembeda antara padi dan rumput adalah adanya telinga daun dan lidah daun pada padi. Berdasarkan morfologinya, padi terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

Akar

Tanaman padi memiliki akar yang berfungsi menyerap air dan zat hara dari dalam tanah dan akan diangkut menuju daun. Terdapat dua jenis akar tanaman padi, yaitu akar tunggang yang tumbuh pada saat benih berkecambah dan akar serabut yang tumbuh dari akar tunggang setelah tanaman berumur 5 – 6 hari. Pada umur 5 – 6 hari akar tersebut hanya mampu menembus lapisan olah tanah, yaitu sekitar 10 – 12 cm. Kemudian pada umur 30 HST akar padi mampu menembus kedalaman 18 cm dan pada umur 50 HST akar padi mampu menembus lapisan tanah *sub soil* dengan kedalaman 25 cm (Sugiarto, 2018). Struktur morfologi akar padi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



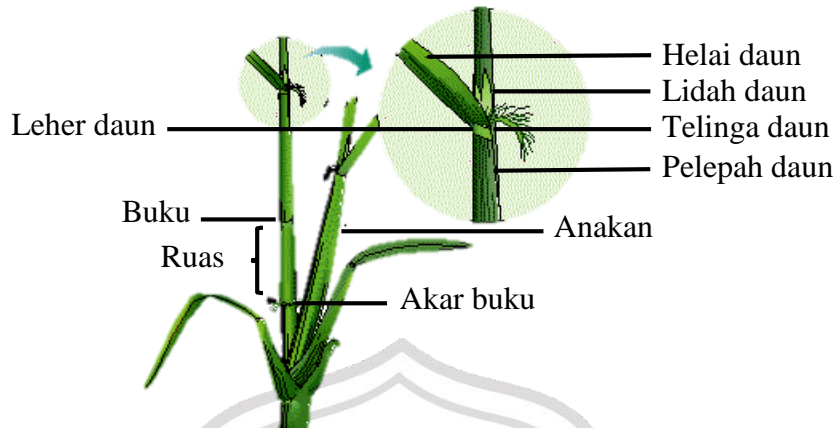
Gambar 2.1 Akar Padi

Sumber : Dokumentasi Lutfiana, April 2023

Batang

Tanaman padi memiliki batang yang tersusun dari ruas-ruas yang dipisahkan oleh buku dan semakin ke bawah ruasnya akan semakin pendek. Umumnya batang padi memiliki 4 – 6 ruas dengan panjang lebih dari 1 cm pada saat panen. Batang padi berbentuk silindris, agak pipih, dan berongga pada tiap buku. Terdapat mata ketiak pada buku paling bawah diantara ruas batang dan daun yang akan tumbuh menjadi anakan (Sugiarto, 2018). Umumnya batang padi

memiliki warna hijau tua dan akan berubah menjadi kuning ketika memasuki fase generatif. Struktur morfologi batang dan daun padi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Batang dan Daun Padi

Sumber: Dinas Pertanian Kabupaten Sampang, 2016

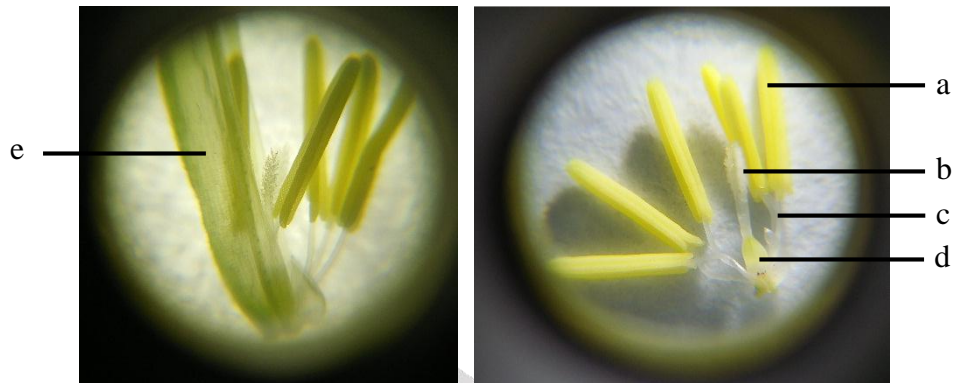
Daun

Daun padi memiliki tulang daun sejajar yang tersusun dari helai daun, pelepah daun, telinga daun (*auricle*), dan lidah daun (*ligule*). Helai daun padi berbentuk seperti pita yang memanjang dan pelepah daunnya melingkar menyelubungi batang. Pelepah daun dan helai daun dibatasi dengan lidah daun dan sisi daunnya disebut telinga daun. Daun padi terpanjang umumnya terletak pada daun ketiga dari atas, sementara daun bendera merupakan daun terpendek dengan lebar daun terbesar (Sari, 2019). Daun bendera merupakan daun yang keluar terakhir sekaligus tempat munculnya ruas yang akan menjadi malai atau sekumpulan bunga pada saat fase generatif (Sugiarto, 2018).

Malai

Malai merupakan istilah dari bunga padi secara keseluruhan dan merupakan jenis bunga majemuk. Malai padi tersusun dari dasar malai, tangkai malai (sumbu yang bercabang sekunder), tangkai bunga, dan bunga. Panjang malai pada padi dibagi menjadi 3 macam, yaitu malai pendek (kurang dari 20 cm), malai sedang (20 – 30 cm), dan malai panjang (lebih dari 30 cm) (Sugiarto, 2018). Sedangkan, bunga padi tersusun dari tangkai bunga, kelopak bunga, *lemma*, *palea*, putik, benang sari, dan bulu (*awn*) pada ujung *lemma*. Bunga padi memiliki 6 buah benang sari dengan tangkai sarinya yang pendek dan tipis, namun memiliki kepala sari yang besar dengan 2 kandung serbuk. Sementara putiknya memiliki 2 buah

tangkai dengan 2 buah kepala putik dengan warna putih atau ungu (Sari, 2019). Struktur morfologi bunga padi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bunga Padi

Sumber : Dokumentasi Lutfiana, Mei 2023

Keterangan:

- a. Kepala benang sari
- b. Kepala putik
- c. Tangkai sari
- d. Bakal buah
- e. *Palea*

- a. Proses penyerbukan

Tanaman padi memiliki sejumlah istilah pada fase pembungaan, antara lain inisiasi malai, perkembangan struktur bunga, *heading* (keluarnya malai), dan anthesis (mekarnya bunga) (Yoshida & Nagato, 2011). Anthesis pada padi terjadi segera setelah munculnya malai dan masa anthesis akan selesai dalam 7 hari (Tripathi, Warriar, Govila, dan Ahuja, 2017). Sedangkan, menurut Widyastuti, Rumanti, dan Satoto, (2012), proses pembungaan dibagi menjadi dua fase, yaitu fase prapembungaan dan fase pembungaan. Fase prapembungaan mengacu pada perkembangan organ seksual yang dimulai dari pembentukan serbuk sari, perkembangan ovarium, dan pembentukan kantung embrio. Fase pembungaan dimulai dengan mengembangnya lodikula (dua struktur transparan didasar bunga dekat dengan *palea*) karena menghisap air dari bakal buah. *Lemma* dan *palea* akan terpisah lalu membuka, karena adanya pengembangan lodikula. Benang sari akan keluar dari bagian atas atau samping bunga yang telah membuka, lalu kepala sari akan pecah. Putik akan menerima serbuk sari dari bunga yang sama atau disebut penyerbukan sendiri (*self*

pollinated). Serbuk sari yang telah keluar dari kepala sari akan kehilangan viabilitasnya dalam 5 menit. *Lemma* dan *palea* akan menutup kembali dalam waktu 50 – 90 menit.

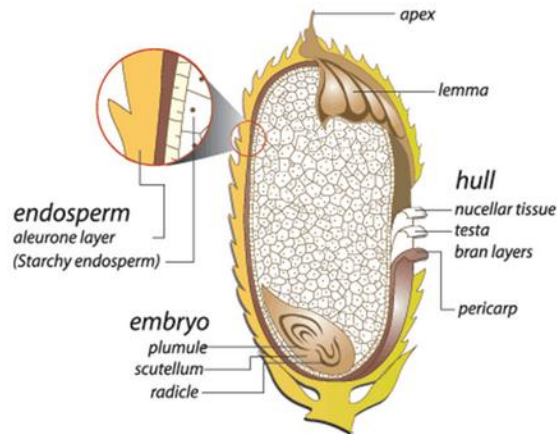
Keberhasilan dalam pembungaan merupakan salah satu faktor paling penting, karena akan mempengaruhi hasil panen padi. Penyerbukan pada padi berlangsung secara aktif selama 1–2,5 jam setiap hari selama fase reproduksi dan sangat sensitif terhadap faktor lingkungan eksternal seperti suhu dan radiasi matahari. Guo, Fukatsu, dan Ninomiya, (2015) melakukan penelitian penyerbukan bunga padi dan didapatkan hasil bahwa padi melakukan penyerbukan aktif pada pukul 11.00 dan berlangsung hingga kepala sari mulai menyusut pada pukul 13.00. Penyerbukan aktif pada padi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



Gambar 2.4 Penyerbukan Aktif pada Padi
Sumber: Guo et al., 2015

Buah

Bulir padi atau gabah sebenarnya bukan biji, namun buah padi yang tertutup oleh sekam. Buah ini akan terbentuk setelah terjadinya penyerbukan dan pembuahan. Gabah yang sering disebut beras pecah kulit sebenarnya tersusun dari karyopsis (bagian dalam) dan sekam (bagian luar). Karyopsis pada padi tersusun dari embrio (lembaga) dan endosperm yang diselimuti oleh lapisan aleuron, tegmen, dan perikarp. Sedangkan, sekam tersusun dari *lemma* dan *palea*. Beras sebenarnya adalah endosperm (putih lembaga) dari sebutir buah yang diselimuti kulit ari yang tersusun dari kulit biji dan dinding buah yang berpadu menjadi satu (Sari, 2019). Struktur morfologi buah padi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Buah Padi

Sumber: Yuwono, 2015

2.1.2 Fase Pertumbuhan dan Perkembangan

Pemanenan padi umumnya membutuhkan waktu 3 – 4 bulan yang sejak proses pembenihan. Namun, hal tersebut tergantung dari varietas dan kondisi lingkungan tempat padi dibudidayakan. Menurut Darmawan & Jumadi (2019), pertumbuhan padi terbagi menjadi tiga fase, yaitu fase vegetatif (0 – 60 HST), generatif (61 – 90 HST), dan pematangan (91 – 120 HST).

Fase vegetatif

Awal pertumbuhan tanaman (fase vegetatif) terdiri dari tahap perkecambahan benih (*germination*), tahap pertunasan (*seedling stage*), tahap pembentukan anakan (*tillering stage*), dan tahap pemanjangan batang.

a. Tahap 0 : perkecambahan benih (*germination*)

Sebelum dilakukan proses penanaman, benih padi direndam selama 24 jam, lalu akan muncul bakal akar dan tunas yang menembus kulit gabah. Terdapat tiga faktor yang berpengaruh terhadap perkecambahan benih, yaitu kelembapan, cahaya, dan suhu. Daun pertama akan keluar melalui koleoptil pada hari ke-2 atau ke-3 setelah benih disebar. Tahap ini diakhiri dengan munculnya daun pertama dan bakal akar yang memanjang atau sekitar 3 – 5 hari (Darmawan & Jumadi, 2019).

b. Tahap 1 : pertunasan (*seedling stage*)

Pertunasan pada tanaman padi diawali dengan munculnya daun pertama hingga sebelum munculnya anakan pertama. Setiap 3 – 4 hari akan muncul satu daun hingga terbentuknya 5 helai daun sempurna dan akar sekunder (*adventitious*) akan membentuk sistem perakaran serabut permanen

menggantikan *radicula*. Sehingga, bibit akan memiliki 5 helai daun pada umur 15 – 20 hari setelah sebar dan siap untuk dipindahtanamkan (Darmawan & Jumadi, 2019).

c. Tahap 2 : pembentukan anakan (*tillering stage*)

Pembentukan anakan dimulai setelah munculnya anakan pertama hingga pembentukan anakan maksimum tercapai. Pada buku batang akan muncul anakan dari tunas *axillary*. Setelah anakan pertama atau primer tumbuh, lalu akan muncul anakan sekunder dan disusul anakan tersier hingga sampai pada titik tanaman sukar dipindahkan dari batang utama (Darmawan & Jumadi, 2019).

d. Tahap 3 : pemanjangan batang

Tahapan ini terjadi sebelum pembentukan malai atau pada tahap akhir pembentukan anakan yang terus meningkat baik dalam jumlah maupun tingginya. Batang padi akan terus mengalami pemanjangan hingga terbentuknya malai. Secara umum tahap ini berlangsung selama 30 hari (Darmawan & Jumadi, 2019).

Fase generatif

Fase generatif terdiri dari tahap pembentukan malai hingga bunting (*booting stage*), tahap keluar malai (*heading stage*), dan tahap pembungaan (*flowering stage*) yang berlangsung selama 35 hari. Pada fase ini ketersediaan air menjadi hal yang sangat dibutuhkan, sehingga diharapkan dapat tergenang 5 – 7 cm.

a. Tahap 4 : pembentukan malai hingga bunting (*booting stage*)

Tahap ini ditandai dengan inisiasi bunga atau primordia malai pada ujung tunas. Malai terlihat seperti kerucut berbulu putih dengan panjang 1,0 mm hingga 1,5 mm yang muncul pada ruas buku utama (*main culm*). Kemudian malai akan terus berkembang hingga bulir (*spikelets*) dapat terlihat dan dapat dibedakan (Darmawan & Jumadi, 2019).

b. Tahap 5 : keluar malai (*heading stage*)

Tahap ini ditandai dengan munculnya ujung malai dari pelepah daun bendera dan malai akan terus berkembang hingga keluar seutuhnya dari pelepah daun (Darmawan & Jumadi, 2019).

c. Tahap 6 : pembungaan (*flowering stage*)

Munculnya serbuk sari yang menonjol keluar dari bulir dan terjadi pembuahan menjadi ciri dari tahap ini. Proses pembungaan terjadi sehari setelah keluarnya malai yang ditandai dengan terbukanya kelopak bunga (*flower glumes*) dan terjadi pemanjangan stamen, lalu serbuk sari akan tumpah (*shed*). Serbuk sari (*pollen*) akan jatuh ke kepala putik dan terjadi pembuahan (Darmawan & Jumadi, 2019).

Fase pematangan

Fase pematangan terdiri dari tahap gabah matang susu (*milk grain stage*), tahap gabah setengah matang (*dough grain stage*), dan tahap gabah matang penuh (*mature grain stage*). Pada fase ini tanah dibiarkan pada kondisi mengering dan berlangsung sekitar 35 hari.

a. Tahap 7 : gabah matang susu (*milk grain stage*)

Gabah mulai terisi dengan cairan menyerupai susu dan dapat dikeluarkan dengan menekannya. Pada tahap ini juga mulai terjadi merunduknya malai, pelayuan (*senescence*) pada dasar anakan, dan daun bendera serta dua daun dibawahnya masih tetap hijau (Darmawan & Jumadi, 2019).

b. Tahap 8 : gabah setengah matang (*dough grain stage*)

Gabah yang menyerupai susu akan berubah menjadi gumpalan lunak dan akan mengeras. Sedangkan, gabah pada malai akan mulai menguning dan pelayuan (*senescence*) dari anakan serta daun paling bawah akan terlihat semakin jelas (Darmawan & Jumadi, 2019).

c. Tahap 9 : gabah matang penuh (*mature grain stage*)

Tahap ini ditandai dengan matangnya gabah 90 – 100%, keras, dan berwarna kuning serta daun bagian atas akan mengering dengan cepat.

2.1.3 Syarat Tumbuh

Iklm

Iklm merupakan gabungan dari pengaruh curah hujan, sinar matahari, kelembapan nisbi, suhu, dan kecepatan angin terhadap tumbuhan (Sugiarto, 2018). Tanaman padi dapat tumbuh dengan optimal pada curah hujan rata-rata 200 mm/bulan atau lebih. Tanaman padi mampu tumbuh optimal pada suhu 23°C (Sari, 2019).

Tanaman padi membutuhkan sinar matahari untuk proses fotosintesis, terutama pada saat tanaman berbunga hingga pemasakan buah. Kelembapan nisbi menggambarkan defisit uap air di udara (Sugiarto, 2018). Kecepatan angin memiliki pengaruh positif (pada proses penyerbukan) dan negatif (penyebaran penyakit yang disebabkan oleh bakteri atau jamur, angin kencang pada saat berbunga, buah yang menjadi hampa, dan rebah).

Tanah

Lapisan tanah atas untuk pertanian umumnya memiliki ketebalan 22 cm dengan warna coklat hingga kehitam-hitaman. Tanaman padi sawah dibudidayakan pada tanah berlempung berat atau tanah dengan lapisan keras 30 cm dibawah permukaan tanah. Tanaman padi membutuhkan tanah lumpur yang subur dengan ketebalan 22 cm dengan pH 7. Padi mampu tumbuh pada tanah berkapur dengan pH 8, namun hasil produksinya akan berkurang. Padi juga kurang cocok jika dibudidayakan pada tanah dengan kandungan pasir dalam jumlah yang besar, karena air akan mudah lolos.

2.2 Faktor Utama yang Mempengaruhi Tanaman Padi

2.2.1 Faktor Genetik

1. DNA

DNA (*deoxyribonucleic acid*) pada makhluk hidup berfungsi untuk menyimpan informasi genetik dan meneruskan informasi tersebut pada generasi berikutnya. Tumbuhan memiliki kecenderungan menyalin gen, kromosom, dan terkadang seluruh genomnya yang bertujuan untuk menghasilkan keragaman genetik. Tanaman padi memiliki genom monokotil paling sederhana yang terdiri dari 12 kromosom ($2n = 24$) dan memiliki panjang total 430 Mb (megabase). Panjang genom tersebut tergolong kecil jika dibandingkan dengan sereal umum lainnya (Kurata, Nonomura, dan Harushima, 2020).

2. Jumlah dan bentuk struktur daun

Jumlah dan bentuk struktur daun serta luas dan posisi daun padi dapat menentukan hasil panen. Jika jumlah daun padi banyak, maka cahaya yang dapat diserap untuk proses fotosintesis juga semakin banyak dan fotosintat

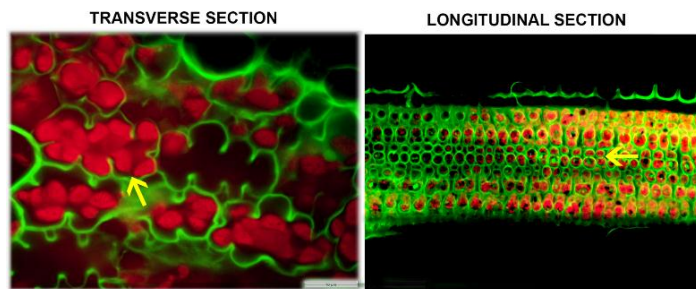
yang dihasilkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman akan semakin baik. Pada awal masa pertumbuhan jika padi memiliki daun yang luas akan menyebabkan laju tumbuhnya tinggi, karena kemampuan menghasilkan fotosintatnya yang baik (Mungara, Indradewa, dan Rogomulyo, 2013).

Bentuk struktur daun padi yang panjang, tegak, dan tebal mampu menghasilkan produktivitas yang tinggi. Selain itu, posisi daun dengan sudut daun kecil dapat menghasilkan indeks luas daun yang lebih besar, sehingga menyebabkan jumlah malai lebih banyak. Daun padi yang tegak mampu mendistribusikan cahaya yang lebih besar hingga ke bawah dan merata dengan tingkat fotosintesisnya 20% lebih tinggi jika dibandingkan dengan daun yang terkulai (Wahyuti, Purwoko, Junaedi, Sugiyanta, dan Abdullah, 2013).

3. Jumlah nilai klorofil

Klorofil merupakan pigmen yang paling penting dalam proses fotosintesis. Jumlah nilai klorofil sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya berupa naungan, semakin sedikit intensitas cahaya akan menyebabkan jumlah nilai klorofil semakin tinggi. Selain itu, jumlah nilai klorofil juga dipengaruhi oleh suhu, cahaya, unsur N, Mg, dan Fe yang berfungsi sebagai pembentuk dan katalis dalam sintesis klorofil. Pengaruh suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan mempengaruhi proses fotosintesis yang mengakibatkan jumlah nilai klorofil menjadi sedikit. Faktor cahaya juga menjadi penentu jumlah nilai klorofil, jika tanaman mendapatkan cahaya yang rendah, maka akan mengakibatkan daun menjadi pucat dan tidak sehat (Maharani, Sutan, dan Arimurti, 2018).

Nilai klorofil yang tinggi dapat berpengaruh terhadap hasil produksi padi, karena nilai klorofil tersebut menentukan kesehatan dari tanaman padi. Jika tanaman padi sehat, maka jumlah anakan pada tiap rumpun juga akan banyak (Nasution, Santosa, dan Putri, 2019). Selain itu, adanya sel mesofil juga sangat mempengaruhi proses fotosintesis. Sel mesofil adalah kloroplas utama yang mengandung sel hijau pada daun padi dan merupakan tempat utama fotosintesis (Chatterjee, Dionora, Elmido, Wanchana, Thakur, Bandyopandhyay, Brar, dan Quick, 2016). Sel mesofil pada daun padi dapat dilihat pada Gambar 2.6 yang ditandai dengan panah berwarna kuning.



Gambar 2.6 Sel Mesofil pada Daun Padi
 Sumber : Chatterjee et al., 2016

4. Fitohormon

Fitohormon terdapat pada berbagai aktivitas tanaman padi, seperti pertumbuhan, perkembangan, penuaan, adaptasi lingkungan, dan respon stres. Hampir semua fitohormon, seperti auksin, etilen, sitokinin, dan giberelin mengatur bobot biji-bijian. Fitohormon berfungsi secara sinergis atau antagonis untuk mengatur perkembangan tanaman padi (Chen, Lyskowski, Jaremko, dan Jaremko, 2021).

Auksin merupakan hormon pertumbuhan yang berfungsi mendorong pembelahan sel dan proliferasi sel. Selain itu, auksin juga berfungsi dalam berbagai tahap pertumbuhan tanaman, pertumbuhan bibit, pembentukan gamet, dan perkembangan embrio (Wang, Zhang, Wang, dan Zhao, 2018). Etilen merupakan satu-satunya hormon gas kecil yang diproduksi pada tanaman yang berfungsi mendorong penuaan daun, pematangan buah, dan dormansi benih. Etilen juga berdampak pada pengaturan fenotipe biji-bijian dalam beras dan penurunan bobot gabah. Sitokinin berperan dalam mendorong pembelahan sel, diferensiasi sel, perkembangan akar dan pucuk tanaman, penuaan, pematangan buah, cekaman biotik, dan abiotik. Sitokinin juga mampu meningkatkan bobot dan jumlah bulir gabah. Sedangkan, giberelin berfungsi untuk perkecambahan biji, pemanjangan pucuk, pembentukan daun, induksi pembungaan, dan tinggi tanaman. Selain itu, giberelin juga mempengaruhi jumlah gabah, produksi hasil, dan malai (Chen et al., 2021).

5. Enzim

Enzim pada tanaman berfungsi sebagai biokatalisator yang berguna dalam mempercepat laju reaksi metabolisme. Salah satu metabolisme yang terjadi pada padi adalah fotosintesis. Proses fotosintesis terdapat dua rangkaian reaksi,

yaitu reaksi terang dan gelap. Pada reaksi gelap terbagi menjadi dua jalur, yaitu siklus Calvin-Benson dan siklus Hatch-Slack. Tanaman padi tergolong dalam tanaman C₃, karena padi mengubah senyawa sribulosa 1,5 biofosfat menjadi senyawa dengan jumlah atom karbon tiga (3-phosphoglisarat). Pada tanaman yang tergolong C₃ ini, enzim yang membantu dalam proses reaksi gelap adalah anzim rubisco. Metabolisme lain yang terjadi pada tanaman padi adalah respirasi dan enzim yang berperan adalah enzim hiksokinase, aldolase, triosafosfat isomerase, fosfoheksokinase, enolase, fosfathifruktokinase, fosfahidrogenase, privatkinase, dan fosfogliseromutase (Wisnuwati, 2019).

Sedangkan, pada endosperma beras terdapat delapan enzim, diantaranya α -glukosidase, α -amilase, β -amilase, α -mannosidase, α -galactosidase, β -galactosidase, β -glucanase, dan β -xylanase (Iijima, Suzuki, Hori, Ebana, Kimura, Tsujii, dan Takano, 2019). Aktivitas enzim pada endosperma beras ini mempengaruhi rasa dan tekstur nasi. α -glukolisade sebagian besar berada pada lapisan endosperma bagian dalam, α -amilase sebagian besar berada pada lapisan endosperma bagian luar dan berperan dalam mempengaruhi tekstur dan rasa nasi, sedangkan β -amilase berada pada seluruh biji (Kazami, Tsujii, Uchino, Sakaguchi, dan Takano, 2017). Sedangkan, menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Iijima *et al.*, (2019), menyatakan bahwa aktivitas α -amilase dan β -galactosidase berada pada endosperma luar, sedangkan aktivitas α -glukosidase dan β -amilase tersebar merata dari permukaan hingga ke inti.

2.2.2 Faktor Lingkungan

1. Air

Ketersediaan air yang cukup menjadi salah satu unsur yang sangat penting dalam budidaya padi. Kebutuhan volume air untuk tanaman padi berbeda pada setiap fase pertumbuhannya. Peranan air sangat diperlukan pada fase pembentukan anakan dan awal fase pemasakan, namun sebaliknya pada akhir fase pemasakan peranan air tidak diperlukan. Jika terjadi kekurangan air pada fase pembungaan, maka akan mengakibatkan pengguguran bunga, sedangkan jika terjadi kekurangan air pada fase pengisian bulir akan menyebabkan biji gabah menjadi kecil. Rata-rata jumlah air optimal yang dibutuhkan untuk pertumbuhan padi adalah 200 mm/bulan. Tanaman padi yang memiliki umur

100 hari umumnya memerlukan air irigasi sebesar 1.620 mm, namun pada musim kemarau penggunaan air irigasi dapat mencapai 5.000 mm.

2. Suhu

Pengaruh suhu merupakan salah satu aspek lingkungan yang penting karena berkaitan dengan produksi beras dan kualitas gabah. Tanaman padi dapat tumbuh optimal dengan suhu rata-rata 23°C. Namun, padi tidak dapat tumbuh optimal pada suhu 15°C, karena perkecambahan tidak akan terjadi dibawah suhu tersebut. Sinar matahari yang melimpah sangat penting bagi empat bulan pertumbuhan padi. Pada fase vegetatif, padi cenderung lebih toleran terhadap suhu tinggi jika dibandingkan pada fase generatif. Hal ini disebabkan paparan suhu tinggi $\geq 33,7^{\circ}\text{C}$ selama satu jam dapat menurunkan fertilitas spikelet padi pada tahap anthesis. Selain itu, suhu yang tinggi dapat menyebabkan pengapuran pada saat pengisian bulir padi akibat hidrolisis pati (Jaisyurahman, Wirnas, Trikoesoemaningtyas, dan Purnamawati, 2019).

3. Kelembapan

Kelembapan udara adalah konsentrasi jumlah uap air diudara dan merupakan salah satu faktor penting bagi pertumbuhan padi. Tanaman padi mampu tumbuh optimal pada daerah dengan hawa panas dan kandungan uap air yang tinggi (Hamsyani, Bulkis, dan Aisyah, 2021). Kelembapan relatif optimum untuk masa pertumbuhan batang padi adalah 80 – 85%, sedangkan pada masa pembungaan kelembapan relatif yang dibutuhkan adalah 70 – 80%. Jika pada fase reproduktif kelembapan tanahnya rendah, maka akan berdampak pada terhambatnya pembungaan. Sehingga akhirnya akan menyebabkan keguguran bunga, buah muda, dan menyebabkan sterilnya spikelet pada padi (Siswanti, Syahidah, dan Sudjino, 2018). Namun, jika kelembapan udara terlalu tinggi dapat meningkatkan adanya hama dan penyakit, sehingga dapat mempengaruhi produktivitas padi (Pramasani & Soelistyono, 2018).

4. Jenis tanah

Menurut Hardjowigeno, Subagyo, dan Rayes, (2017), jenis tanah sawah pada dataran rendah di Indonesia sebesar 55% didominasi oleh tanah aluvial dan tanah glei yang umumnya berasal dari tanah dengan air tanah yang dangkal atau selalu tergenang air. Sedangkan, pada tanah sawah dataran tinggi

didominasi 17% oleh tanah latosol dan regosol yang berasal dari tanah kering yang disawahkan. Tanah aluvial umumnya memiliki mineral smektit yang lebih banyak, karena tanah aluvial umumnya merupakan tempat terakumulasinya basa dan silika. Kandungan silika ini sangat bermanfaat bagi tanaman padi dalam meningkatkan pertumbuhan dan meningkatkan ketahanan terhadap serangan hama dan penyakit. Sedangkan, menurut Yuliyanto & Sudibyakto (2018), menyatakan bahwa tanaman padi tumbuh dengan optimal pada tanah dengan ketebalan lapisan atasnya 22 cm dan pH 7.

5. Kapasitas Tukar Kation (KTK)

KTK atau kapasitas tukar kation adalah jumlah kation yang dapat dijerap dan ditukar oleh tanah dengan satuan $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. Tanah yang memiliki nilai KTK yang tinggi akan memiliki kemampuan yang lebih besar dalam mempertahankan kation tanah, sehingga batas toleransi terhadap logam pencemar juga akan semakin meningkat. Adanya bahan organik mampu meningkatkan muatan negatif, sehingga KTK juga akan meningkat. Selain itu, jika fraksi tanah semakin halus, maka luas permukaan partikel juga semakin besar, sehingga nilai KTK akan semakin tinggi. Tanah lahan sawah umumnya memiliki tekstur yang lebih halus dibandingkan tanah dari lahan tegal. Semakin dalam lahan sawah pola sebaran KTK akan mengalami penurunan, karena kandungan bahan organik dan persentase liat yang semakin berkurang (Syachroni, 2019).

6. Curah hujan

Tanaman padi dapat tumbuh optimal pada daerah dengan hawa panas dan mengandung banyak uap air. Curah hujan yang sesuai untuk pertumbuhan padi rata-rata 200 mm/bulan dengan distribusinya selama 4 bulan (Yuliyanto & Sudibyakto, 2018).

2.3 Rebah pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.)

Perubahan iklim terjadi akibat adanya peningkatan Gas Rumah Kaca (GRK) yang disebabkan oleh aktivitas manusia, sehingga menyebabkan temperatur global terus meningkat. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika/BMKG (2020), menyatakan bahwa pada tahun 2019 rata-rata temperatur global meningkat

0,12°C di atas *baseline* periode pra revolusi industri (1850 – 1900). Kondisi tersebut memicu kejadian cuaca ekstrem, seperti hujan lebat, banjir, dan angin kencang.

Subsektor tanaman pangan terutama padi menjadi salah satu tanaman yang paling rentan terhadap cuaca ekstrem, karena tanaman pangan umumnya merupakan tanaman semusim yang relatif sensitif. Hal ini sejalan dengan pernyataan Badan FAO/IAEA (2018) yang menyatakan bahwa sebagian besar ilmuwan padi sepakat bahwa, (a) kenaikan suhu, (b) perubahan pola curah hujan, (c) cuaca ekstrem, (d) dan naiknya permukaan air laut akan berdampak besar dan buruk pada produksi beras di Asia. Dampak cuaca ekstrem akibat angin kencang dapat menimbulkan rebah pada tanaman padi. Menurut Widayat (2020), cuaca ekstrem adalah fenomena atau kondisi atmosfer disuatu tempat pada waktu tertentu yang mengalami perubahan secara signifikan. BMKG (2022), mengategorikan angin kencang merupakan angin yang bergerak dengan kecepatan 40 km/jam lebih. Rebah pada tanaman padi dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rebah pada Tanaman Padi
Sumber: Dokumentasi Lutfiana, Maret 2023

Rebah merupakan kondisi kecondongan permanen dari posisi tegak yang normal dan akan merugikan pada saat periode pengisian bulir padi. Rebah merupakan fenomena yang kompleks karena melibatkan faktor angin, topografi, jenis tanah, cara budidaya, pupuk nitrogen, penyakit, waktu tanam, populasi, dan varietas tanaman. Dulbari *et al.*, (2018), menyatakan bahwa rebah pada padi dapat menyebabkan kehilangan hasil akibat terganggunya transport air, unsur hara, dan asimilat dengan kehilangan hasil mencapai 11,89%. Sedangkan, menurut Santosa

et al., (2016), setiap tanaman padi rebah 2% menyebabkan pengurangan hasil 1% pada saat pengisian bulir padi dan mengurangi kualitas hasil giling padi.

Selain disebabkan oleh faktor lingkungan, menurut Santosa *et al.*, (2016), rebah pada tanaman padi dapat dipengaruhi oleh faktor genetik tanaman padi, seperti tinggi tanaman, ketebalan kulit batang (*straw ring thickness*), diameter batang padi, tingkat penutupan buku batang oleh pelepah daun, densitas lignin, bobot kering per satuan panjang, dan kekuatan batang.

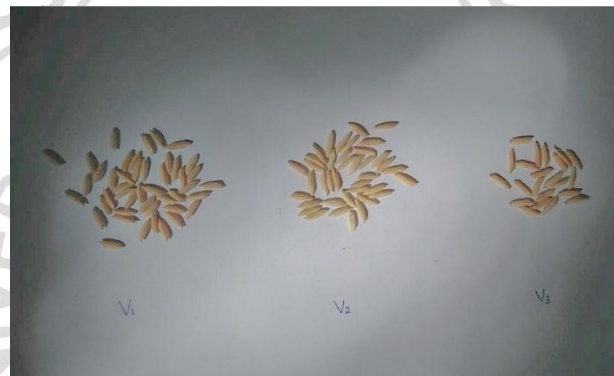
2.4 Penggunaan Varietas Padi

Varietas merupakan sekelompok dari suatu spesies tanaman yang memiliki karakter tertentu yang dapat menjadi pembeda dari spesies tanaman lain. Penggunaan varietas menjadi salah satu unsur penting dalam budidaya tanaman padi untuk meningkatkan produktivitas dan pendapatan petani. Jenis varietas padi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Padjajaran Agritan, MR 219, dan Cakrabuana Agritan dengan deskripsi sebagai berikut:

Varietas Padjajaran Agritan (Lampiran 1) memiliki umur 105 hari setelah semai, bentuk tanamannya agak tegak dengan tinggi 97 cm. Varietas ini memiliki bentuk daun bendera yang agak tegak dengan bentuk gabah ramping berwarna kuning kecoklatan dan tekstur nasi pulen serta memiliki kadar amilosa 20,6%. Varietas Padjajaran Agritan memiliki rata-rata hasil 7,8 t/ha, potensi hasil 11,0 t/ha, dan bobot 1000 butir 26 gram. Varietas ini termasuk varietas yang agak tahan terhadap wereng batang coklat biotipe 1 dan 2, agak rentan biotipe 3, serta agak tahan terhadap penyakit hawar daun bakteri strain III, rentan strain IV, dan VIII.

Varietas MR 219 (Lampiran 2) memiliki umur 110 hari setelah semai dengan tinggi tanaman 85-90 cm dan jumlah anakan produktif 30-50 batang. Varietas ini memiliki bentuk daun bendera yang tegak dengan bentuk gabah lonjong panjang berwarna kuning pucat, dan tekstur nasi lembut, pulen. Varietas MR 219 memiliki rata-rata hasil 9 t/ha, potensi hasil 13 t/ha, dan bobot 1000 butir 27,1 gram dengan jumlah bulirnya mencapai 250 bulir per malai. Varietas ini termasuk varietas yang tahan terhadap wereng dan tahan terhadap HDB, blas, dan virus klowor.

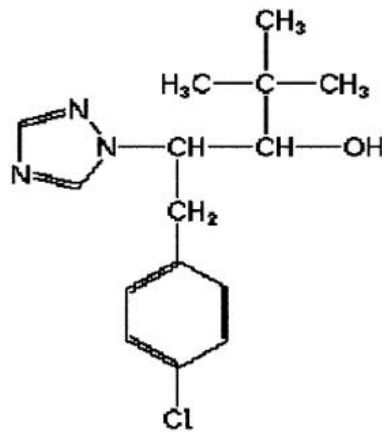
Varietas Cakrabuana Agritan (Lampiran 3) memiliki umur 104 hari setelah semai, bentuk tanamannya tegak dengan tinggi 105 cm. Varietas ini memiliki bentuk daun bendera yang tegak dengan bentuk gabah panjang ramping berwarna kuning dan tekstur nasi pulen serta memiliki kadar amilosa 22,0%. Varietas Cakrabuana Agritan memiliki rata-rata hasil 7,5 t/ha, potensi hasil 10,2 t/ha, dan bobot 1000 butir 27,1 gram. Varietas ini termasuk varietas yang agak tahan terhadap wereng batang coklat biotipe 1, 2 dan 3, serta agak tahan terhadap penyakit HDB strain III, rentan strain IV, dan VIII. Tahan blas ras 033 dan 173, serta agak tahan tungro inokulum Purwakarta (Sasmita *et al.*, 2020). Bentuk gabah pada varietas Padjajaran Agritan, MR 219, dan Cakrabuana Agritan dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Bentuk Gabah pada Ketiga Varietas
Sumber: Dokumentasi Lutfiana, Juni 2023

2.5 Paclobutrazol

Paclobutrazol merupakan salah satu jenis zat penghambat tumbuh (retardan) turunan pirimidin yang memiliki rumus empiris $C_{15}H_{20}ClN_3O$ dan rumus kimia (2RS, 3RS)-1-(4-chloro-phenyl)-4,4-dimethyl-2-(1,2,4-triazol-1-yl)-penta-3-ol. *Paclobutrazol* merupakan salah satu jenis retardan selain daminozide (*Alar* dan *B-nine*), chloromequat (*cycocel*), ancymindol (*A-Rest*), dan maleic hydrazine (Gusmawan, 2018). Retardan memiliki beberapa fungsi, yaitu menghambat pembentukan giberelin, mengurangi laju perpanjangan batang tanpa membatasi pertumbuhan daun, dan bekerja pada maristem sub apikal dengan menghambat pemanjangan sel. Rumus bangun *paclobutrazol* (Gambar 2.9) menurut Desta & Amare (2021), yaitu



Gambar 2.9 Struktur *Paclobutrazol*
 Sumber: Desta & Amare, 2021

Paclobutrazol bekerja dengan menghambat pertumbuhan vegetatif, sehingga fase generatif berlangsung lebih cepat dan umur panen lebih singkat. *Paclobutrazol* memiliki fungsi menghambat pertumbuhan, menyebabkan tanaman menjadi kerdil, dan meningkatkan kandungan klorofil, sehingga fotosintesis dapat berjalan maksimal (Ardian, Arintonang, dan Setiawan, 2019). *Paclobutrazol* mampu mendorong pembungaan, membentuk pigmen, mencegah etiolase, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit jika diaplikasikan dalam konsentrasi rendah. Selain itu, *paclobutrazol* juga dapat mempertebal diameter batang yang disebabkan oleh peningkatan volume sel parenkim di korteks, sehingga produksi sel didaerah kambium meningkat dan menjadi tebal (Kinasih & Elfarisna, 2020).

Sedangkan, menurut Desta & Amare (2021), menjelaskan bahwa *paclobutrazol* dapat menekan pertumbuhan tinggi batang, meningkatkan ketebalan batang, menekan pertumbuhan vegetatif tanaman padi, dan mengalihkan asimilat untuk mengintensifkan pembungaan serta meningkatkan hasil panen. *Paclobutrazol* juga dapat meningkatkan jumlah anakan produktif dan panjang malai (Tambajong, Lengkong, dan Runtunuwu, 2016) serta menambah luas daun bendera (Prihantari *et al.*, 2021). Pengaplikasian *paclobutrazol* akan lebih berjalan optimal jika diberikan pada saat tanaman masih muda, karena akan semakin besar sifat menghambatnya. Namun, penggunaan *paclobutrazol* jika berlebihan tentunya akan menyebabkan efek negatif pada tanaman melalui penimbunan pada vakuola. Jika suatu tanaman kelebihan akibat aplikasi *paclobutrazol*, maka tanaman tersebut akan

mengurangi tingka keracunan dengan menggugurkan daunnya (Adilah, Rochmatino, dan Prayoga, 2020).

Hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Rombon *et al.*, (2019), menyatakan bahwa pengaplikasian *paclobutrazol* dengan konsentrasi 600 ppm yang diberikan pada 30 HST mampu menghasilkan tinggi tanaman terendah, yaitu 73,67 cm. Selain itu, konsentrasi *paclobutrazol* 600 ppm secara tunggal mampu menghasilkan jumlah gabah isi per rumpun terbanyak dengan rata-rata 4.322,2 bulir, bobot gabah isi per rumpun (89,77 g), dan bobot gabah kering panen terberat (8,47 t/ha). Sedangkan, menurut Ningsih & Rahmawati (2017), menyatakan bahwa pengaplikasian *paclobutrazol* 100 ppm mampu menghasilkan bobot panen tertinggi, yaitu 15,73 t/ha. Menurut Prihantari *et al.*, (2021), menyatakan bahwa penambahan *paclobutrazol* dengan konsentrasi 300 ppm menyebabkan penghambatan tinggi tanaman padi hitam, yaitu sebesar 74,97 cm. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Suriyanto (2017), menyatakan bahwa pengaplikasian *paclobutrazol* dengan dosis 400 ppm memberikan hasil bobot 1000 butir tertinggi, yaitu sebesar 26,9 g. Selain itu, aplikasi *paclobutrazol* dengan dosis 600 ppm menghasilkan panjang ruas batang kelima terpendek, yaitu 0,88 cm. Menurut Sitompul (2021), menyatakan bahwa penggunaan *paclobutrazol* dengan dosis 450 ppm mampu menghasilkan bobot 1000 butir tertinggi, yaitu 24,67 g dan jumlah anakan produktif terbanyak dengan rata-rata sebesar 19,78 batang.

2.5.1 Mekanisme Kerja *Paclobutrazol*

Paclobutrazol dapat diaplikasikan pada tanaman melalui daun (*foliar spray*), tanah atau media tanam (*media drench*). *Paclobutrazol* saat diaplikasikan melalui daun akan diserap oleh tangkai daun dan batang, lalu dipindahkan melalui xilem menuju maristem apikal (Desta & Amare, 2021). *Paclobutrazol* diserap tanaman dengan cara masuk melalui stomata dan langsung ditranslokasikan ke maristem sub apikal, sehingga pengaruhnya terhadap tanaman menjadi cepat terlihat (Adilah *et al.*, 2020).

Paclobutrazol memiliki mekanisme kerja menghambat biosintesis giberelin di retikulum endoplasma pada tahap kedua dengan cara mengblokir aktivitas enzim. Senyawa ini menghambat enzim menggunakan sitokrom P450 sebagai kofaktor (senyawa kimia non-protein yang berfungsi dalam aktivitas

biologis protein). Isomer (2S, 3S) akan menghambat enzim target, yaitu enzim *ent-kaurene oxidase*, sehingga proses oksidasi *ent-kaurent* menjadi *ent-kaurenoic acid* akan terganggu dan ketersediaannya akan menurun. Kondisi tersebut akan menyebabkan menurunnya laju pemanjangan sel, karena ketika pembentukan *ent-kaurenoic acid* menurun, maka pembentukan GA₁₂ juga akan menurun. Pembentukan GA aktif akan menurun seiring dengan penurunan kadar GA₁₂, sehingga menyebabkan terhambatnya pemanjangan sel dan penurunan laju pemanjangan batang, sehingga panjang buku lebih pendek. Selain itu, *paclobutrazol* juga menekan pengaruh asam absisik, etilen, dan IAA pada tanaman dengan cara menghalangi tiga tahapan untuk produksi giberelin pada jalur terpenoid dengan menghambat enzim yang mengkatalis proses reaksi metabolis (Gusmawan, 2018). *Paclobutrazol* dengan merk dagang Poston dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Paclobutrazol* dengan Merk Dagang Poston
Sumber: Dokumentasi Lutfiana, April 2023

2.6 Mekanisme Serapan Unsur Hara Melalui Daun

2.6.1 Proses Absorpsi

Umumnya tanaman menyerap unsur hara melalui akar, namun penyerapan melalui daun juga dapat dilakukan. Penyerapan oleh daun tersebut dibatasi oleh dinding sel epidermis bagian luar yang diselubungi oleh kutikula dengan kandungan lilin, *pectin*, hemiselulosa, dan selulosa. Kutikula menutupi permukaan daun termasuk lubang stomata dan bulu daun (*trichomes*), sehingga bersifat sebagai penghalang pertama absorpsi. Permeabilitas kutikula sangat dipengaruhi oleh perkembangan daun. Daun yang masih muda akan lebih mudah ditembus, karena

lapisan kutikula masih bersifat hidrofilik, sedangkan daun tua sifatnya hidrofobik (Wiraatmaja, 2016).

Ektodesmata merupakan salah satu bagian yang terdapat pada daun, yaitu semacam lubang tempat Bergeraknya unsur hara dan zat terlarut menyeberangi lapisan kutikula. Penetrasi hara ke dalam jaringan daun melalui stomata terbuka juga cukup sulit dilalui, karena lapisan kutikula juga menutupi permukaan sel jaga (*guard cell*) pada lubang stomata. Mekanisme membuka dan menutupnya stomata dipengaruhi oleh tekanan turgor dari sel penutup. Jika tekanan turgor meningkat, maka akan mengakibatkan membukanya stomata. Penetrasi melalui daun terjadi akibat adanya proses difusi. Difusi adalah peristiwa Bergeraknya molekul dari konsentrasi tinggi menuju daerah dengan konsentrasi rendah (Wiraatmaja, 2016).

Mekanisme terserapnya hara pada permukaan daun terjadi dalam bentuk gas maupun ion dan Bergerak masuk secara difusi. Kepadatan dalam stomata mendorong serapan ion, karena serapannya melalui ektodesmata dan sel dibawahnya. Unsur hara dalam berupa kation akan menembus daun melewati kutikula, sementara anion dan gas akan diserap melalui stomata. Hara yang telah melewati kutikula akan masuk ke daerah *water free space* (WFS) dan terakumulasi. WFS merupakan salah satu bagian ruang dari daun diantara dinding sel dan membran plasma dengan volume 3 – 5% dari total volume daun. Setelah itu, hara akan masuk ke sitoplasma dengan menyeberangi membran plasma aktif melalui energi dari respirasi (Wiraatmaja, 2016).