

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan salah satu kebutuhan primer bagi masyarakat Indonesia, karena sebagai sumber karbohidrat dan energi (Ningrat dkk., 2021). Padi juga merupakan tanaman penghasil beras yang menjadi sumber utama karbohidrat yang berperan penting dalam penyediaan energi dan nutrisi. Kandungan nutrisi pada beras per 100 gram diantaranya karbohidrat berkisar 74,9-79,5 gram, total lemak 0,5-1,08 gram, protein 6-14 gram, vitamin B1 0,07-0,58 mg, B2 0,04-0,26 mg, dan B3 1,6 -6,7 mg (Fitriyah dkk., 2020). Penduduk Indonesia hampir 95% mengkonsumsi beras sebagai bahan pangan pokok, sehingga pada setiap tahunnya permintaan akan kebutuhan beras semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk (Rokhmah dkk., 2022).

Badan Pusat Statistik (2023) mencatat bahwa jumlah produksi padi pada tahun 2023 mencapai angka 53,98 juta ton gabah kering giling (GKG). Jumlah ini mengalami penurunan sebesar 1,40% atau sebanyak 0,77 juta ton gabah kering giling dari tahun sebelumnya yang mencapai 54,75 juta ton gabah kering giling. Produksi beras pada tahun 2023 untuk konsumsi pangan penduduk diperkirakan mencapai 30,90 juta ton dan mengalami penurunan 2,05% atau sebanyak 645,09 ribu ton dibandingkan produksi tahun sebelumnya yang mencapai 31,54 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2023).

Badan Pusat Statistik (2024) mencatat luas lahan produksi padi di Indonesia menurun dari lahan seluas 10,45 juta hektar pada tahun 2022 menjadi 10,21 juta hektar pada tahun 2023. Konversi lahan pertanian mengakibatkan semakin terbatasnya luas lahan produksi padi, sehingga perlu dilakukan upaya memperluas penanaman padi pada lahan marginal. Luas lahan marginal di Indonesia diperkirakan mencapai 56,93 juta hektar (Direktorat Jendral Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan, 1999). Salah satu upaya yang dilakukan yaitu dengan memanfaatkan lahan rawa jenis pasang surut (Alwi, 2014). Luas lahan rawa pasang surut pada beberapa pulau di Indonesia seluas 8,5 juta hektar diantaranya berada di pulau

Sumatera, Kalimantan, Papua dan sedikit di Sulawesi (Subagyo, 2006). Lahan rawa jenis pasang surut termasuk ke dalam lahan yang tercekam Fe (Turhadi, 2018). Menurut Turhadi (2018), lahan yang terkontaminasi Fe merupakan salah satu faktor pembatas dalam budidaya tanaman padi. Cekaman Fe pada tanaman padi menyebabkan terhambatnya metabolisme dan kerusakan pada tanaman padi yang ditandai oleh daun yang berkarat (Hirza, 2018). Produktivitas tanaman dapat menurun sekitar 15-30% dan bahkan dapat menyebabkan terjadinya gagal panen tergantung pada varietas dan tingkat keparahan Fe (Audebert dan Sahwat, 2000).

Oleh karena itu, perlu diketahui varietas padi apa saja yang toleran terhadap cekaman Fe. Deteksi toleransi pada fase *seedling* penting dilakukan karena dapat membantu petani dan mengidentifikasi benih yang dapat tumbuh dengan baik pada kondisi lingkungan yang terdampak cekaman besi (Fe). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan judul “Deteksi Toleransi Tiga Varietas Padi (*Oryza sativa* L.) terhadap Cekaman Besi (Fe) pada Fase *Seedling*”.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui varietas padi yang toleran terhadap cekaman besi (Fe) pada fase *seedling*.
2. Mengetahui apakah ada interaksi antara varietas padi dan konsentrasi besi (Fe).

1.3 Kerangka Pemikiran

Padi adalah tanaman bahan pangan terpenting di dunia, terutama bagi negara-negara Asia, khususnya Indonesia. Meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia mengakibatkan jumlah produksi padi meningkat (Rokhmah dkk., 2022). Konversi lahan pertanian mengakibatkan semakin terbatasnya luas lahan produksi padi. Upaya yang dapat dilakukan untuk memperluas lahan produksi padi yaitu dengan penanaman padi pada lahan marginal, salah satunya yaitu memanfaatkan lahan rawa jenis pasang surut (Alwi, 2014). Lahan rawa jenis pasang surut termasuk lahan yang tercekam Fe (Turhadi, 2018). Hirza (2018) menyatakan cekaman Fe pada tanaman padi menyebabkan terhambatnya metabolisme dan kerusakan pada tanaman padi yang ditandai dengan daun yang berkarat.

Keracunan Fe merupakan gejala yang berasosiasi dengan tingginya konsentrasi Fe di dalam sel dan hal tersebut berbahaya bagi tanaman karena dapat memicu terjadinya stres oksidatif (Kampfenkel dkk., 1995). Keracunan Fe memicu terbentuknya *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan terjadinya peroksidasi lipid seperti halnya yang disebabkan cekaman abiotik lainnya seperti kekeringan, salinitas (Fang dkk., 2001). Fe merupakan unsur melimpah ke-4 penyusun kerak bumi setelah O, Si, dan Al. Kelimpahan Fe di kerak bumi dan di alam mencapai 5-6% dan 35%. Tanah-tanah yang mengandung Fe seperti oxisols, lotosol merah, potzolik merah, dan tanah sulfat masam yang tergenang atau menjadi lahan persawahan memiliki kandungan Fe^{2+} yang bersifat *mobile*. Fe^{2+} ini dalam kondisi tertentu bersifat meracun bagi tanaman oleh karena itu, pada lahan sawah bukan baru, lahan pasang surut, dan lahan sawah di daerah cekung Fe menjadi kendala utama dalam pertanian. Fe juga merupakan unsur hara utama bagi tanaman yang berfungsi menyusun klorofil dan kofaktor enzim, perkembangan kloroplas, dan berperan penting dalam transfer elektron dan proses respirasi. Fe yang terkandung dalam tanaman dalam keadaan normal berkisar 100-200 ppm. Kadar Fe pada tanaman yang melebihi 300 ppm dapat menyebabkan keracunan pada tanaman khususnya tanaman padi (Tanaka dan Tanado, 1972). Larutan ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0 ppm, 100 ppm, dan 300 ppm (Noor dkk., 2012). Audebert dan Sahwat (2000) menyatakan cekaman Fe dapat menyebabkan produktivitas tanaman menurun berkisar 15-30% tergantung pada varietas dan tingkat keparahannya, namun pada kasus cekaman Fe yang cukup parah dapat menyebabkan terjadinya gagal panen.

Beberapa padi varietas unggul yang sering dijumpai dan banyak digunakan oleh petani diantaranya padi varietas Ciliwung, Inpari 32, dan Inpari 50. Padi varietas Ciliwung memiliki keunggulan dalam ketahanan terhadap hama dan penyakit (CV. Sinar Tani, 2022). Selain itu, varietas Inpari 32 lebih fleksibel dalam lingkungan penanaman dengan berat biji yang lebih besar, dan varietas Inpari 50 memiliki potensi hasil yang sangat tinggi yaitu $\pm 9,69 \text{ t.ha}^{-1}$ GKG dengan siklus panen yang cepat (Dinas Pertanian dan Ketahanan pangan Daerah Istimewa Yogyakarta, 2023). Selain itu, ketiga varietas tersebut (Ciliwung, Inpari 32, dan Inpari 50) belum dilakukan untuk penelitian terhadap cekaman Fe.

1.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran di atas disusun hipotesis sebagai berikut:

1. Diduga terdapat satu varietas padi yang toleran terhadap cekaman besi (Fe) pada fase *seedling*.
2. Diduga terdapat interaksi antara galur padi dan konsentrasi besi (Fe).

1.5 Kontribusi

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sebagai bahan referensi di bidang pertanian tentang respon tiga varietas padi terhadap cekaman Fe, khususnya pada Varietas Ciliwung, Inpari 32, dan Inpari 50.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Tanaman Padi

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman semusim yang mampu beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan. Tanaman padi termasuk kedalam golongan Graminae atau rumput-rumputan. Menurut Ishaq dkk., (2017) tanaman padi (*Oryza sativa* L.) diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Superdivision	: Spermatopyta
Division	: Magnoliopyta
Class	: Liliopsida
Subclass	: Commelinidae
Ordo	: Cyperales
Family	: Graminae
Genus	: <i>Oryza</i> L.
Spesies	: <i>Oryza sativa</i> L.

Padi termasuk dalam genus *Oryza* yang mencakup kurang lebih 25 spesies. Terdapat dua spesies tanaman padi yang dibudidayakan yaitu *Oryza sativa* L. dan *Oryza glaberrima* Stead. *Oryza sativa* berkembang menjadi tiga ras sesuai eko geografisnya yaitu Indika, Japonika, dan Javanika (Eko, 2011). Secara morfologi tanaman padi mempunyai tiga fase pertumbuhan : (1) fase vegetatif (*seedling*), (2) fase reproduktif (pembungaan), (3) fase masak (pembungaan sampai pemasakan) (Sitorus, 2014).

2.2 Morfologi Tanaman Padi

Makarim dan Suhartatik (2009) menyatakan bahwa bagian-bagian tanaman padi digolongkan kedalam dua bagian besar yaitu bagian vegetatif yang meliputi akar, batang, daun dan tajuk, serta bagian generatif yang meliputi bunga dan biji.

a) Akar

Akar tanaman padi memiliki sistem perakaran serabut. Akar berfungsi sebagai penguat atau penunjang tanaman yang dapat tumbuh tegak, menyerap hara dan air dari dalam tanah untuk diteruskan ke organ lainnya. Tanaman padi terdiri dari dua macam akar yaitu akar seminal dan akar sekunder. Akar seminal yaitu akar primer (radikula) yang tumbuh saat berkecambah bersama akar lainnya yang muncul di dekat bagian buku sekutellum yang berjumlah 1-7. Akar-akar sekunder disebut adventif atau akar-akar buku (Makarim dan Suhartatik, 2009).

b) Batang

Tanaman padi memiliki batang yang beruas-ruas yang dibatasi oleh buku. Ruas-ruas pada batang padi memiliki panjang yang tidak sama. Pada buku bagian bawah dari ruas, tumbuh daun pelepah yang membalut ruas sampai buku yang paling atas. Pada bagian buku atas, ujung dari daun pelepah memperlihatkan *seedling* yang terpendek. Cabang yang paling pendek menjadi lidah daun dan bagian terpanjang dan besar menjadi daun (Jane dkk., 2018).

c) Daun dan Tajuk

Utama dan Harja (2015) menyatakan bahwa daun padi berupa daun tunggal dua baris dan pada batas antara pelepah dan helai daun terdapat lidah daun (*lingula*), permukaan daun dengan bagian ujung meruncing dan daun padi berwarna hijau tua akan menjadi kuning ketika tanaman padi akan memasuki masa panen. Daun tanaman padi tumbuh pada batang dalam susunan yang berselang seling dan terdapat satu daun pada tiap buku. Daun teratas pada tanaman padi disebut daun bendera yang posisi dan ukurannya tampak berbeda dari daun yang lain. Makarim dan Suhartatik (2009) menyebutkan bagian-bagian daun terdiri atas :

1. Helai daun yang menempel pada buku melalui pelepah daun.
2. Pelepah daun yang membungkus ruas di atasnya dan kadang-kadang pelepah daun dan helai daun ruas berikutnya.
3. Telinga daun pada dua sisi pangkal helai daun.
4. Lidah daun (*lingula*) yaitu struktur segitiga tipis tepat diatas telinga daun.

Tajuk merupakan kumpulan daun yang tersusun rapi dengan bentuk, orientasi, dan besar (dalam jumlah dan bobot) tertentu. Varietas-varietas padi memiliki tajuk yang sangat beragam (Makarim dan Suhartatik, 2009).

d) Bunga

Bunga padi secara keseluruhan disebut malai. Malai terdiri dari 8–10 buku yang menghasilkan cabang-cabang primer yang selanjutnya menghasilkan cabang-cabang sekunder. Buku pangkal malai pada umumnya hanya menghasilkan satu cabang primer, tetapi dalam keadaan tertentu buku tersebut dapat menghasilkan 2–3 cabang primer. Lemma yaitu bagian bunga floet yang berurat lima dan keras yang sebagian menutupi palea. Lemma memiliki satu ekor palea yaitu bagian floet yang berurat tiga yang keras dan sangat pas dengan lemma. Bunga terdiri dari enam benang sari dan sebuah putik (Makarim dan Suhartatik, 2009).

e) Biji

Biji adalah bakal buah yang matang dengan lemma, palea, lemma steril, dan ekor gabah yang menempel sangat kuat. Buah padi adalah sebuah kariopsis, yaitu biji tunggal yang bersatu dengan kulit bakal buah yang matang (kulit ari) yang membentuk sebuah bulir seperti biji (Makarim dan Suhartatik, 2009).

2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Padi

Dinas Pertanian Kabupaten Bantul (2008) menyatakan tanaman padi dapat hidup dengan baik di daerah yang berhawa panas dan banyak mengandung uap air. Suhu yang baik untuk pertumbuhan tanaman padi yaitu 23°C dengan tinggi tempat berkisar antara 0-1500 mdpl. Curah hujan yang dikehendaki per tahun sekitar 1500-2000 mm atau rata-rata 200 mm per bulan atau lebih, dengan distribusi selama 4 bulan. Tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman padi adalah tanah sawah dengan kandungan fraksi pasir, debu, dan lempeng dalam perbandingan tertentu dengan diperlukan air dengan jumlah yang cukup. Padi dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang memiliki ketebalan berkisar 8-12 cm dengan pH antara 4-7.

2.4 Perkecambahan Benih

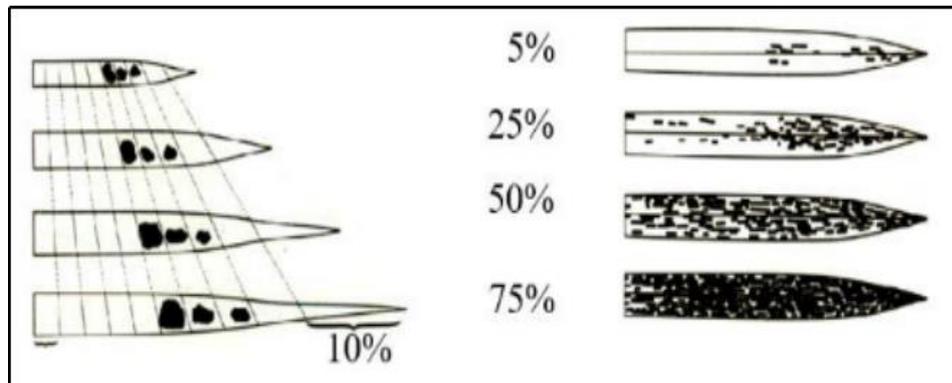
Sutopo (1985) menyatakan terdapat dua faktor yang mempengaruhi perkecambahan benih yaitu faktor dalam dan faktor luar. Faktor dalam meliputi: Tingkatukuran benih, kemasakan benih, penghambat perkecambahan dan dormansi. Faktor luar yang mempengaruhi perkecambahan yaitu temperatur, air, media tanam dan oksigen. Proses perkecambahan benih merupakan suatu rangkaian yang

komplek dari perubahan fisiologi, morfologi dan biokimia. Tahap pertama suatu perkecambahan benih dimulai dari proses penyerapan air oleh benih, melunaknya kulit biji lalu hidrasi dari protoplasma. Tahap kedua dimulai dengan kegiatan-kegiatan sel dan enzim-enzim serta naiknya tingkat respirasi benih. Tahap ketiga merupakan tahap dimana terjadi penguraian bahan-bahan karbohidrat, lemak, dan protein menjadi bentuk-bentuk yang melarut dan ditranslokasikan ke titik tumbuh. Tahap keempat adalah asimilasi dari bahan-bahan yang diuraikan tadi di daerah meristematis untuk menghasilkan energi bagi kegiatan pembentukan komponen dan pembentukan sel-sel baru. Tahap kelima yaitu pertumbuhan kecambah melalui proses pembelahan, pembesaran, dan pembagian sel-sel pada titik-titik tumbuh.

2.5 Respon Tanaman terhadap Cekaman Fe

Becker dan Asch (2005) menyatakan cekaman Fe merupakan gejala yang ditunjukkan oleh tanaman yang disebabkan kelebihan unsur Fe di dalam tanah. Gejala visual dari keracunan besi adalah akibat adanya akumulasi polifenol membentuk *bronzing* pada daun tanaman, nampak dengan adanya noda kecil yang terus menyebar dari ujung daun ke bagian pangkal daun. Gejala selanjutnya adalah ujung daun menguning dan mengering, diikuti laju respirasi yang sangat tinggi hingga pada akhirnya seluruh daun menjadi kekuningan dan berwarna coklat (seperti karat), atau daun akan berwarna coklat ungu, serta menjadi kaku dan keras. Kondisi-kondisi ini menunjukkan tingkat keracunan besi yang sangat parah (Yamanouchi dan Yoshida, 1981). Menurut Audebert dan Syahrawat (2000) munculnya bintik-bintik coklat pada helai daun merupakan gejala yang ditimbulkan oleh tanaman yang tercekaman Fe. Cekaman Fe dilaporkan menyebabkan penurunan terhadap aktivitas pertumbuhan tanaman padi (Audebert dan Fofana, 2009). Dampak yang cukup merugikan bagi tanaman yang tercekam Fe yaitu menurunnya produktivitas tanaman. Keracunan Fe yang terjadi pada tanaman padi sejak fase vegetatif akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman. Tanaman akan menjadi kerdil dan perkembangan fase reproduktif yang terhambat. Akibatnya, tanaman menghasilkan lebih sedikit malai dan bulir kopong (Abu dkk., 1989). Keracunan Fe pada varietas sangat peka menyebabkan umur panen mundur 20–25 hari, atau bahkan tanaman tidak akan menghasilkan bunga. Tingkat

keracunan Fe (*bronzing*) dinilai menggunakan sistem evaluasi baku yang dikembangkan oleh IRRI. Persentase luas daun yang mengalami bronzing dikelaskan dan setiap kelas diberikan skor berdasarkan Standar Sistem Evaluasi blas pada daun tanaman padi (IRRI, 1996) dan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Nilai indeks dan tingkat keparahan cekaman Fe (IRRI, 1996)

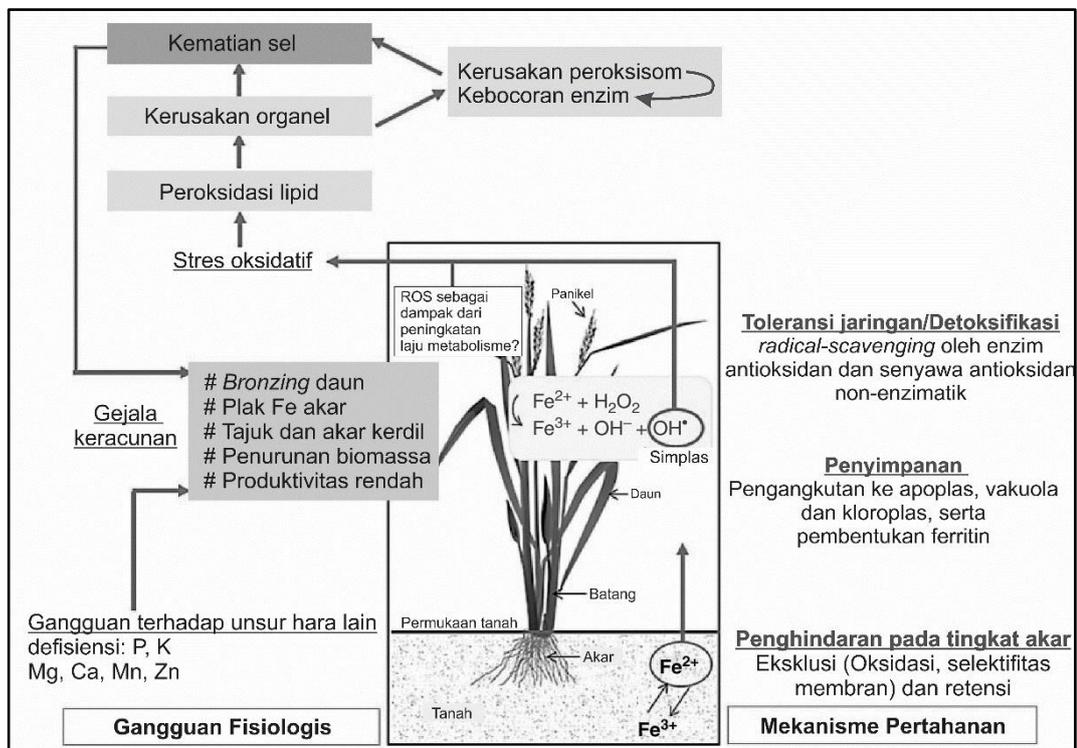
2.6 Mekanisme Toleransi Tanaman terhadap Fe

Padi yang mengalami gejala cekaman Fe ditandai dengan adanya karat (*bronzing*) dan timbul bitnik-bintik coklat pada daun (Wu dkk., 2014). Guna pertahanan yang dikembangkan oleh menghadapi kondisi lingkungan yang tercekam Fe berlebih, terdapat tiga strategi tanaman menurut Becker dan Asch (2005) yaitu *eksklunder-avoidance*, *inkunder-avoidance*, dan *inkluder-tolerance*. Pemahaman mengenai mekanisme ini sangat penting untuk mendapatkan padi yang adaptif dan toleran terhadap cekaman Fe.

1. Strategi *eksklunder-avoidance*, tanaman melakukan pertahanan melalui akar untuk menghindari efek toksik Fe^{2+} pada jaringan tajuk. Strategi ini dilakukan dengan oksidasi pada daerah rhizosfer dan tanaman mengembangkan selektifitas ion pada akar.
2. Strategi *inkunder-avoidance*, Fe^{2+} diambil melalui akar, namun kerusakan jaringan dicegah melalui mekanisme kompartementasi. Mekanisme ini dilakukan melalui dua cara diantaranya : (1) Fe yang masuk secara simplas diangkut ke bagian apoplast daun, dan (2) Fe yang masuk akan diangkut ke jaringan daun tua karena dianggap sebagai jaringan pembuangan.

3. Strategi inkluder-*tolerance*, tanaman mentoleransi kandungan Fe^{2+} yang tinggi pada jaringan daun diperkirakan melalui aktivitas detoksifikasi enzimatik pada simplas.

Becker dan Asch (2005), menyatakan mekanisme eksklusi melalui aktivitas oksidasi pada daerah rhizosfer, penyimpanan Fe pada tajuk, serta toleransi Fe pada jaringan daun melalui aktivitas detoksifikasi diduga merupakan mekanisme utama yang terlibat dalam sifat toleransi tanaman terhadap cekaman Fe seperti yang dinyatakan oleh (Onaga dkk., 2015) dan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dampak dan mekanisme pertumbuhan tanaman terhadap cekaman Fe (Onaga dkk., 2015)

2.7 Stress Susceptibility Index (SSI)

Stress susceptibility index (SSI) merupakan metode atau pengukuran yang memungkinkan untuk mengevaluasi seberapa toleran, moderat, dan peka suatu jenis tanaman terhadap cekaman salinitas. *Stress susceptibility index* (SSI) berperan dalam pemilihan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap tingkat salinitas tertentu atau dalam mengevaluasi seberapa baik tanaman dapat tumbuh dalam

kondisi lingkungan yang memiliki tingkat garam tinggi (Kusuma dkk., 2017). Suryaningrum dkk., (2015) menyatakan *Stress Susceptibility Indexs* (SSI) dapat digunakan untuk mengevaluasi ketahanan beberapa varietas tanaman terhadap cekaman. Anugrahtama (2020) menyatakan bahwa bahwa nilai *Stress Susceptibility Indexs* (SSI) digunakan untuk mengkategorikan ketahanan atau toleransi varietas terhadap cekaman salinitas.