

TESIS

**PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI BEBERAPA GALUR
JAGUNG DAN POPULASI JAGUNG C0 PADA CEKAMAN
ALUMINIUM**

***THE GROWTH AND PRODUCTION OF SOME MAIZE LINE
AND C0 MAIZE POPULATION IN ALUMINIUM STRESS***

HERAWATI



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI BEBERAPA GALUR
JAGUNG DAN POPULASI JAGUNG C0 PADA CEKAMAN
ALUMINIUM**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi Agroteknologi

Disusun dan diajukan oleh:

HERAWATI

G012201004

Kepada

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN**PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI BEBERAPA GALUR
DAN POPULASI JAGUNG C0 PADA CEKAMAN
ALUMINIUM**

Disusun dan diajukan oleh:

HERAWATI

G012201004

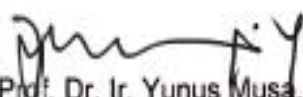
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi
Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin
pada tanggal 23 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Ketua Penasehat,

Anggota Penasehat,


Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P.
NIP. 19640905 198903 1 003



Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc.
NIP. 19541220 198303 1 001

Ketua Program Studi
Magister Agrroteknologi,

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin,


Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P.
NIP. 19640905 198903 1 003




Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.
NIP. 19631231 198811 1 005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Herawati
NIM : G012201004
Program Studi : Agroteknologi

Menyatakan dengan ini bahwa tesis dengan judul "Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Galur Jagung dan Populasi Jagung C0 Pada Cekaman Aluminium" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr.Ir. Muh Riadi, MP dan Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini. Sebagian isi dari tesis ini telah di publikasikan di Biodiversitas Journal of Biological Diversity (Evaluation of The Growth and Tolerance Of Maize Lines Under Aluminum Stress, Vol 23 NO. 3, 2023, hal. 1417-1430, <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240311>).

Makassar, Mei 2023

Yang menyatakan



Herawati

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya selama ini penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis yang berjudul **“Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Galur Jagung dan Populasi Jagung C0 Pada Cekaman Aluminium”**.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, penelitian dan penulisan tesis ini tidak akan terselesaikan dengan baik, karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dosen pembimbing Dr.Ir. Muh Riadi, MP dan Prof. Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc. sebagai pembimbing yang memberikan banyak saran serta ilmu kepada penulis sejak awal penelitian hingga selesainya tesis ini.
2. Tim penguji Bapak Prof. Rusnadi Padjung, M.Sc, Ph.D, Prof. Dr. Ir. Muh Farid BDR, MP., dan Dr. Roy Efendi, M.Si atas kesediaan waktu, sumbangan pemikiran dan saran untuk penyempurnaan tesis ini.
3. Kepala Balai Penelitian Tanaman Serealia Tahun 2021 Prof. Dr. Muhammad Azrai, SP, MP. yang telah mengizinkan untuk melanjutkan sekolah dan melaksanakan kegiatan penelitian ini.
4. Pimpinan BPSI Tanaman Serealia Dr. Amin Nur, SP, M.Si atas bantuan dan dukungannya.
5. Pimpinan Badan Riset dan Inovasi Nasional Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc. yang telah memberikan dukungan dan mengizinkan untuk melanjutkan sekolah.
6. Kedua orang tua tercinta H. Hasan. HG dan Hj. Hasiah atas doa, pengorbanan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada suami tercinta Hasbullah, SP, M.Si, ananda tercinta Muh. Ahnaf Al Hassan, St. Afifah Al Humaira, dan Nur Adzkiyah Ramadhani, dan keluarga tercinta.
7. Bapak/ibu dosen dan staf administrasi Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, teman-teman, serta keluarga besar Balai Penelitian Tanaman Serealia atas segala ilmu, bantuan, doa, dan motivasinya.

Akhir kata penulis mengharapkan tesis ini dapat menjadi bahan informasi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi para peneliti.

Makassar, Mei 2023

Penulis

ABSTRAK

Herawati (G012201004). Pertumbuhan dan Produksi Beberapa Galur Jagung Dan Populasi Jagung C0 Pada Cekaman Aluminium. Dibimbing oleh Muhammad Riadi dan Yunus Musa.

Penelitian ini bertujuan mengetahui pertumbuhan dan produksi galur dan populasi jagung C0 pada cekaman aluminium, memperoleh satu atau lebih galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran terhadap cekaman aluminium dengan pertumbuhan dan produksi terbaik, serta mengetahui karakter seleksi dari galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran terhadap cekaman aluminium. Penelitian terdiri dari dua tahap. Tahap pertama galur jagung di evaluasi pada lahan masam dengan pH 5,12 dan kejenuhan Al sekitar 22,13%, sedangkan kondisi normal dilakukan pada lahan dengan pH 6,60 dan kejenuhan Al 0%. Penelitian ini disusun dalam Rancangan Acak Kelompok dengan tiga ulangan. Genotipe jagung yang digunakan yaitu 34 genotipe jagung yang terdiri dari dua kelompok yaitu kelompok galur (20 galur dan 4 galur pembanding) dan kelompok populasi C0 (4 populasi C0 dan 6 varietas pembanding). Tahap kedua di laksanakan di *Screenhouse* yang disusun dalam rancangan petak terpisah Rancangan Petak Terpisah dimana petak utama adalah cekaman Aluminium yang terdiri dari tiga taraf yaitu 0, 7, dan 14 ppm dan sebagai anak petak adalah genotipe jagung yang mewakili kategori peka, medium toleran, dan toleran. Penelitian ini di laksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Serealia, Kecamatan Lau, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan pada bulan Agustus 2021 sampai Januari 2022. Hasil penelitian menunjukkan cekaman Al dapat menurunkan pertumbuhan galur jagung sekitar 10,84-36,09% dan hasil biji sebesar 62,23% serta pertumbuhan populasi jagung C0 sekitar 4,71-36,70% dan hasil biji sebesar 24,82%. Terdapat galur jagung yang toleran terhadap cekaman aluminium yaitu CB.Pop 11-2-3-4-2-1 dan CB.Pop 15-4-2-1-1-1 dengan potensi hasil pada cekaman Al yaitu masing-masing 2,39 t ha⁻¹ dan 1,59 t ha⁻¹. Terdapat populasi jagung C0 medium toleran cekaman Al yaitu Pop. Bisi-18/Sukmaraga, Pop. JH-37/Sukmaraga, dan Pop. NK-212/Sukmaraga dengan potensi hasil pada cekaman Al yaitu masing-masing 7,15 t ha⁻¹; 6,71 t ha⁻¹; dan 7,20 t ha⁻¹. Karakter seleksi galur jagung toleran Al yaitu umur berbunga betina, jumlah biji per baris, panjang tongkol, diameter tongkol, bobot tongkol kupasan basah, panjang akar setelah perendaman, pertambahan panjang akar relatif, jumlah akar setelah perendaman, bobot kering akar, rasio bobot kering akar dan tajuk, serapan Al akar, skor pewarnaan hematoxylin, serta rasio serapan Al akar-tajuk. Sedangkan karakter seleksi populasi jagung C0 toleran Al yaitu bobot tongkol kupasan basah, indeks sensitivitas cekaman, pertambahan panjang akar, dan bobot kering akar.

Kata Kunci: Jagung, indeks toleransi, cekaman aluminium

ABSTRACT

Herawati (G012201004). Evaluation of The Growth and Grain Yield of Maize Line and C0 Maize Population Under Aluminium Stress. Supervised by Muhammad Riadi and Yunus Musa.

This study aims to determine the growth and production of maize lines and C0 maize populations under Al stress, obtain maize lines and C0 maize populations that are tolerant to Al stress with best of the growth and production, as well as determine the selection character of maize lines and C0 populations that are tolerant to aluminum stress. This study comprised two steps. In the first step, maize lines were evaluated in acid soils with a pH of 5.12 and an Al saturation of around 22.13%, while the normal condition was carried out on soil with a pH of 6.60 and 0% Al saturation. The study was arranged in a randomized block with three replications. The maize genotype used were 34 genotypes consisting of maize line grup (20 lines and four elite lines as a check) and C0 maize population (four C0 populations and six varieties as a check). In the second step, the maize genotypes were evaluated in the nutrient solution. This study was arranged in a split-plot design with three replications. The main plot was the concentration of Al at three levels, i.e., 0, 7, and 14 ppm. The subplot comprised seven maize lines and six C0 maize populations representing sensitive, medium tolerant, and tolerant categories. These studies were conducted at the Indonesian Cereal Research Institute, Maros, South Sulawesi, Indonesia, from August 2021 to January 2022. This study showed that Al stress could reduce the growth of maize lines around 10.84-36.09% and seed yields of 62.23% and the growth of C0 maize population around 4.71-36.70% and grain yield of 24.82%. There were two maize lines tolerant to Al stress, namely CB.Pop 11-2-3-4-2-1 and CB.Pop 15-4-2-1-1-1, with potential yield under Al stress conditions of 2.39 t ha⁻¹ and 1.59 t ha⁻¹, respectively. Three C0 maize populations were medium tolerant to Al stress, namely Pop. Bisi-18/Sukmaraga, Pop. JH-37/Sukmaraga, and Pop. NK-212/Sukmaraga, with potential yields under Al stress conditions of 7,15 t ha⁻¹; 6,71 t ha⁻¹; dan 7,20 t ha⁻¹, respectively. Selection characters of Al-tolerant maize lines were the days to silking, number of kernels per row, ear length, ear diameter, fresh ear weight, root length after dyeing, relative root length, number of roots after dyeing, root dry weight, root-shoot dry weight ratio, root Al uptake, hematoxylin staining score, and root-shoot Al uptake ratio. Meanwhile, the selection characters of the Al-tolerant C0 maize population were fresh ear weight, stress sensitivity index, root length increase, and root dry weight.

Keywords: Zea mays, tolerance index, Al stress

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PRAKATA	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Karakteristik Dan Syarat Tumbuh Tanaman Jagung.....	6
2.2 Pembentukan Varietas Unggul Jagung	7
2.3 Kemasaman Tanah Dan Aluminium Dalam Tanah	8
2.4 Pengaruh Cekaman Aluminium Pada Tanaman Jagung	9
2.5 Pengembangan Jagung Toleran Cekaman Aluminium.....	11
2.6 Mekanisme Toleransi Tanaman Terhadap Aluminium	12
2.7 Simulasi Cekaman Al Untuk Pengujian Toleransi Tanaman Jagung Pada Cekaman Al.....	13
2.8 Kerangka Konseptual.....	15
2.9 Hipotesis	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Penelitian Lapangan	17
3.1.1 Waktu dan tempat	17
3.1.2 Alat dan bahan.....	17
3.1.3 Rancangan penelitian	17
3.1.4 Pelaksanaan penelitian	18
3.1.5 Parameter pengamatan	19
3.1.6 Analisis data	21
3.2 Penelitian Melalui Kultur Hara	22
3.2.1 Tempat dan waktu	22
3.2.2 Alat dan bahan.....	22
3.2.3 Rancangan penelitian	22
3.2.4 Pelaksanaan penelitian	23
3.2.5 Parameter pengamatan	23
3.2.6 Analisis data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Hasil Penelitian	25
4.1.1 Penelitian lapangan	25

4.1.2	Penelitian Kultur hara.....	65
4.2	Pembahasan	85
4.2.1	Penelitian lapangan	85
4.2.2	Penelitian kultur hara	105
4.2.3	Pembahasan umum.....	118
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	125
5.1	Kesimpulan.....	125
5.2	Saran.....	126
DAFTAR	PUSTAKA	127
LAMPIRAN	138

DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Persentase penurunan tinggi tanaman beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	25
2.	Persentase penurunan tinggi letak tongkol beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	27
3.	Persentase penurunan panjang daun beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	28
4.	Persentase penurunan lebar daun beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	29
5.	Persentase penurunan jumlah beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	30
6.	Persentase penurunan indeks luas daun beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	31
7.	Persentase penurunan diameter batang daun beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	32
8.	Persentase penurunan kandungan klorofil daun daun beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	33
9.	Persentase pertambahan umur berbunga jantan beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	34
10.	Persentase pertambahan umur berbunga betina beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	35
11.	Rata-rata selisih umur berbunga jantan dan betina daun beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	36
12.	Persentase penurunan bobot tongkol kupasan basah beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	38
13.	Persentase penurunan diameter tongkol beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	39
14.	Rata-rata panjang tongkol beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	41
15.	Rata-rata jumlah baris biji per tongkol beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	42
16.	Persentase penurunan jumlah biji per baris beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	43
17.	Persentase pertambahan kadar air biji panen beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	44
18.	Persentase penurunan rendemen biji beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	46
19.	Persentase penurunan bobot 100 biji beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	47
20.	Persentase penurunan hasil biji beberapa galur jagung pada cekaman aluminium.....	48
21.	Persentase penurunan tinggi tanaman beberapa populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	49
22.	Persentase penurunan tinggi letak tongkol beberapa populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	50
23.	Persentase penurunan panjang daun populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	51

24.	Persentase penurunan lebar daun populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	51
25.	Persentase penurunan jumlah daun populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	52
26.	Persentase penurunan indeks luas daun populasi jagung C0 pada kondisi cekaman aluminium.....	53
27.	Persentase penurunan diameter batang populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	53
28.	Persentase penurunan klorofil daun populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	54
29.	Persentase pertambahan umur berbunga jantan beberapa populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	55
30.	Persentase pertambahan umur berbunga betina beberapa populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	56
31.	Rata-rata selisih umur berbunga jantan dan betina populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman aluminium.....	56
32.	Persentase penurunan bobot tongkol kupasan basah populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	57
33.	Persentase penurunan diameter tongkol populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	58
34.	Persentase penurunan panjang tongkol populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	59
35.	Persentase penurunan jumlah baris biji per tongkol populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	60
36.	Persentase penurunan jumlah biji per baris populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	61
37.	Persentase pertambahan kadar air biji panen beberapa populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	62
38.	Persentase penurunan rendemen biji populasi jagung C0 pada kondisi cekaman aluminium.....	63
39.	Persentase penurunan bobot 100 biji populasi jagung C0 pada kondisi cekaman aluminium.....	63
40.	Persentase penurunan hasil biji populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.....	64
41.	Rata-rata panjang akar sebelum perendaman tujuh galur jagung pada beberapa konsentrasi Al.....	65
42.	Persentase penurunan panjang akar setelah perendaman tujuh galur jagung pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	66
43.	Persentase penurunan pertambahan panjang akar tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	67
44.	Persentase penurunan pertambahan panjang akar relatif tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	67
45.	Persentase penurunan jumlah akar setelah perendaman tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	68
46.	Persentase penurunan bobot kering akar tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	69
47.	Persentase penurunan bobot kering tajuk tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	70

48.	Rata-rata rasio bobot kering akar-tajuk tujuh galur jagung pada beberapa konsentrasi Al.....	71
49.	Persentase pertambahan skor pewarnaan hematoxylin tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	72
50.	Persentase penurunan bobot biomassa tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	73
51.	Persentase pertambahan serapan Al akar tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	73
52.	Persentase pertambahan serapan Al tajuk tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	74
53.	Persentase pertambahan rasio serapan Al akar dan tajuk tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	75
54.	Rata-rata panjang akar sebelum perendaman enam populasi jagung C0 pada beberapa konsentrasi Al.....	76
55.	Persentase penurunan panjang akar setelah perendaman enam populasi jagung C0 pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	76
56.	Persentase penurunan pertambahan panjang akar enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	77
57.	Persentase penurunan pertambahan panjang akar relatif enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	78
58.	Persentase penurunan jumlah akar setelah perendaman enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	79
59.	Persentase penurunan bobot kering akar enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	79
60.	Persentase penurunan bobot kering tajuk enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	80
61.	Rata-rata rasio bobot kering akar-tajuk enam populasi jagung C0 pada beberapa konsentrasi Al.....	81
62.	Persentase pertambahan skor pewarnaan hematoxylin enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	82
63.	Persentase penurunan bobot biomassa enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	82
64.	Persentase pertambahan serapan Al akar enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	83
65.	Persentase pertambahan serapan Al tajuk enam populasi jagung C0 setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi 7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	84
66.	Persentase pertambahan rasio serapan Al akar dan tajuk tujuh galur jagung setelah perendaman larutan hara pada konsentrasi	

7 dan 14 ppm Al selama 14 hari.....	84
67. Rata-rata hasil biji 24 galur pada kondisi normal dan cekaman aluminium, persentase penurunan hasil, dan indeks sensitivitas cekaman (ISC)	86
68. Hasil analisis regresi bertahap karakter galur jagung pada cekaman Al.....	94
69. Koefisien sidik lintas karakter galur jagung pada cekaman Al.....	95
70. Rata-rata hasil biji populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman aluminium, persentase penurunan hasil, dan indeks sensitivitas cekaman (ISC)	97
71. Koefisien sidik lintas karakter populasi jagung C0 pada cekaman Al.....	104
72. Hasil analisis regresi bertahap karakter galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 7 ppm Al.....	110
73. Hasil analisis regresi bertahap karakter galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 14 ppm Al.....	111
74. Koefisien sidik lintas karakter galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 7 ppm Al.....	111
75. Koefisien sidik lintas karakter galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 14 ppm Al.....	112
76. Hasil analisis regresi bertahap karakter populasi jagung C0 pada cekaman Al dengan konsentrasi 7 ppm Al.....	116
77. Hasil analisis regresi bertahap karakter populasi jagung C0 pada cekaman Al dengan konsentrasi 14 ppm Al.....	117
78. Koefisien sidik lintas karakter jagung populasi C0 pada cekaman Al dengan konsentrasi 7 ppm Al.....	117
79. Koefisien sidik lintas karakter jagung populasi C0 pada cekaman Al dengan konsentrasi 14 ppm Al.....	118

DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Kerangka konseptual penelitian.....	15
2.	Hubungan antara nilai ISC dengan hasil biji pada cekaman Al.....	87
3.	Penampilan beberapa galur jagung pada kondisi normal dan cekaman Al.....	90
4.	Korelasi antara karakter agronomi dan komponen hasil dengan hasil biji pada galur jagung kondisi cekaman Al.....	93
5.	Penampilan beberapa tongkol populasi jagung C0, hibrida, dan komposit pada kondisi normal dan cekaman Al.....	101
6.	Korelasi antara karakter agronomi dan komponen hasil dengan hasil biji populasi jagung C0 pada kondisi cekaman Al.....	103
7.	Korelasi antara karakter lapangan dengan karakter kultur hara galur jagung pada konsentrasi 7 ppm Al.....	120
8.	Korelasi antara karakter lapangan dengan karakter kultur hara galur jagung pada konsentrasi 14 ppm.....	121
9.	Korelasi antara karakter lapangan dengan karakter kultur hara populasi jagung C0 pada konsentrasi 7 ppm Al.....	123
10.	Korelasi antara karakter lapangan dengan karakter kultur hara populasi jagung C0 pada konsentrasi 14 ppm Al.....	124

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks Tabel	Halaman
1.	Sidik ragam tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, panjang daun, dan lebar daun 24 genotipe galur jagung pada kondisi normal dan cekaman Al.....	139
2.	Sidik ragam jumlah daun, indeks luas daun, diameter batang, dan klorofil daun 24 genotipe galur jagung pada kondisi normal dan cekaman Al.....	139
3.	Sidik ragam umur berbunga jantan, umur berbunga betina, ASI, dan ASI setelah ditransformasi ke $(X + 0,5)^{1/2}$ dari 24 genotipe galur jagung pada kondisi normal dan cekaman Al.....	140
4.	Sidik ragam umur bobot tongkol kupasan basah, diameter tongkol, panjang tongkol, dan jumlah baris biji per tongkol dari 24 genotipe galur jagung pada kondisi normal dan cekaman Al.....	140
5.	Sidik ragam jumlah biji per baris, kadar air biji, rendemen biji, bobot 100 biji, dan hasil biji 24 genotipe galur jagung pada kondisi normal dan cekaman Al.....	141
6.	Sidik ragam panjang akar sebelum perendaman, panjang akar setelah perendaman, pertambahan panjang akar, pertambahan panjang akar relatif dan jumlah akar setelah perendaman tujuh genotipe galur jagung pada perendaman Al dengan konsentrasi 0, 7, dan 14 ppm selama 14 hari.....	141
7.	Sidik ragam bobot kering akar, bobot kering tajuk, rasio bobot kering akar-tajuk, pewarnaan hematoxilin, dan bobot biomassa tujuh genotipe galur jagung pada perendaman Al dengan konsentrasi 0, 7, dan 14 ppm selama 14 hari.....	142
8.	Sidik ragam tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, panjang daun, dan lebar daun 10 genotipe populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman Al.....	142
9.	Sidik ragam jumlah daun, indeks luas daun, diameter batang, dan klorofil daun 10 populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman Al.....	143
10.	Sidik ragam umur berbunga jantan, umur berbunga betina, ASI, dan ASI setelah ditransformasi ke $(X + 0,5)^{1/2}$ dari 10 populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman Al.....	143
11.	Sidik ragam umur bobot tongkol kupasan basah, diameter tongkol, panjang tongkol, dan jumlah baris biji per tongkol 10 populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman Al.....	144
12.	Sidik ragam jumlah biji per baris, kadar air biji, rendemen biji, bobot 100 biji, dan hasil biji 10 populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman Al.....	144
13.	Sidik ragam panjang akar sebelum perendaman, panjang akar setelah perendaman, pertambahan panjang akar, pertambahan	

	panjang relatif akar, dan jumlah akar setelah perendaman enam populasi jagung C0 pada perendaman Al dengan konsentrasi 0, 7, dan 14 ppm selama 14 hari.....	145
14.	Sidik ragam jumlah akar setelah perendaman bobot kering akar, bobot kering tajuk, rasio bobot kering akar-tajuk, pewarnaan hematoxilin, dan bobot biomassa populasi jagung C0 pada perendaman Al dengan konsentrasi 0, 7, dan 14 ppm selama 14 hari.....	145
15.	Daftar galur jagung yang digunakan dalam penelitian.....	163
16.	Daftar populasi jagung C0 dan varietas pembanding yang digunakan dalam penelitian.....	163
17.	Hasil analisis tanah pada lahan normal sebelum penelitian.....	164
18.	Hasil analisis tanah pada lahan masam sebelum penelitian.....	165
19.	Komposisi larutan hara yang digunakan.....	166
20.	Data curah hujan bulana pada saat penelitian di lapangan.....	167

Gambar

1.	Penampilan galur pada kondisi cekaman Al dan normal pada umur 34 hst.....	146
2.	Penampilan galur pada kondisi normal dan cekaman Al pada umur 30 hst.....	147
3.	Penampilan populasi jagung C0 pada kondisi normal dan cekaman Al pada umur 30 hst.....	147
4.	Penampilan populasi jagung C0 pada kondisi cekaman Al dan normal pada umur 105 hst.....	148
5.	Penampilan galur jagung setelah perendaman pada media kultur hara selama 14 hari dengan konsentrasi Al 0, 7, dan 14 ppm.....	150
6.	Penampilan populasi jagung C0 setelah perendaman pada media kultur hara selama 14 hari dengan konsentrasi Al 0, 7, dan 14 ppm.....	152
7.	Korelasi antar karakter kultur hara dengan bobot biomassa galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 0 ppm Al.....	153
8.	Korelasi antar karakter kultur hara dengan bobot biomassa galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 7 ppm Al.....	154
9.	Korelasi antar karakter kultur hara dengan bobot biomassa galur jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 14 ppm Al.....	155
10.	Korelasi antar karakter kultur hara dengan bobot biomassa populasi jagung C0 pada cekaman Al dengan konsentrasi 0 ppm Al.....	156
11.	Korelasi antar karakter kultur hara dengan bobot biomassa populasi C0 jagung pada cekaman Al dengan konsentrasi 7 ppm Al.....	157
12.	Korelasi antar karakter kultur hara dengan bobot biomassa populasi jagung C0 pada cekaman Al dengan konsentrasi 14 ppm Al.....	158
13.	Penampilan akar galur jagung dengan pewarnaan hematoxylin	

	setelah ditumbuhkan pada media larutan hara selama 14 hari dengan konsentrasi Al : (A) 0 ppm, (B) 7 ppm, dan (C) 14 ppm.....	160
14.	Penampilan akar populasi jagung C0 dengan pewarnaan hematoxylin setelah ditumbuhkan pada media larutan hara selama 14 hari dengan konsentrasi Al : (A) 0 ppm, (B) 7 ppm, dan (C) 14 ppm.....	162
15.	Denah penelitian galur jagung pada lahan normal dan lahan masam (cekaman Al)	168
16.	Denah penelitian galur jagung pada lahan normal dan lahan masam (cekaman Al)	169
17.	Denah penelitian screening galur jagung melalui kultur hara.....	170
18.	Denah penelitian screening populasi jagung C0 melalui kultur hara.....	171

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jagung merupakan salah satu komoditas pangan yang memiliki nilai ekonomi tinggi yang dapat memacu pertumbuhan perekonomian nasional. Jagung mengandung karbohidrat yang cukup tinggi yaitu sekitar 63,03-69,36% dan juga mengandung glukosa, sukrosa, dan fruktosa sekitar 1-3% sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pangan pengganti beras (Wahyudin *et al.*, 2016; Ely *et al.*, 2016; Bruyn *et al.*, 2002 dan Khan *et al.*, 2014). Selain sebagai bahan pangan, jagung dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan bahan baku industri (Gomez *et al.*, 2017; Khan, 2016). Pada tahun 2019 total kebutuhan jagung yaitu 16,64 juta ton dan mengalami peningkatan sekitar 1,29% mejadi 16,85 juta ton pada tahun 2020. Pada tahun 2021, kebutuhan jagung mengalami peningkatan sekitar 2,24% dari tahun 2020 menjadi 17,23 juta ton. Karena itu, permintaan jagung terus meningkat setiap tahun sehingga mendorong kegiatan pengembangan jagung di setiap wilayah Indonesia (PUSDATIN Kementerian Pertanian, 2020 ; BAPPETI, 2020).

Peralihan fungsi lahan pertanian menjadi perumahan dan lahan industri mendorong pemanfaatan lahan marginal sebagai lahan pengembangan jagung seperti tanah ultisol dan oxisol yang bereaksi masam. Luas lahan masam di Indonesia mencapai 146,46 juta ha (BBSDLP, 2018). Tanah ultisol dan oxisol memiliki pH masam (4,6-5,5) dengan tingkat kesuburan tanah yang rendah, tingginya kejenuhan Al (22,63-75,64%) serta memiliki unsur hara makro, mikro, dan C-organik yang relatif rendah yaitu 0,11-1,12% (Indrasari and Syukur, 2006; Tambunan *et al.*, 2014; Kasno, 2019; Syahputra *et al.*, 2015) sehingga pengembangan tanaman jagung pada tanah masam menyebabkan penurunan produktivitas.

Salah satu unsur kimia yang berupa logam yang menyebabkan kemasaman tanah yaitu Aluminium (Al). Aluminium merupakan ion rhizotoksik yang dapat menghambat pertumbuhan dan produktifitas tanaman di tanah mineral masam (Utama, 2008). Ketersediaan aluminium di kerak bumi yaitu

sekitar 8,07-8,23% dari seluruh massa padat yang ada pada lapisan tersebut dengan produksi mencapai 30 juta ton per tahun dalam bentuk bauskit dan bebatuan lainnya seperti corundum, gibbsite, boehmite, dan diaspore (Favero and Jobstraibizer, 1996). Kelebihan Al di dalam tanah dapat menghambat pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Menurut Sopandie (2013) bentuk Al yang sangat toksik bagi tanaman adalah $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ atau Al^{3+} . Apabila kejenuhan Al > 25-40% maka pertumbuhan tanaman jagung akan menurun secara tajam (Indrasari and Syukur, 2006; Syafruddin, 2003; Magnavaca *et al.*, 1987). Kemasaman tanah yang tinggi berkolerasi negatif dengan panjang akar dan bobot akar (Joris, *et al.*, 2013). Menurut Dalimunthe *et al.* (2015) keracunan Al menyebabkan kerusakan plasmalemma sel-sel akar sehingga akan menghambat penyerapan hara dan air. Kemasaman tanah yang tinggi dapat menyebabkan penurunan hasil jagung sekitar 38-80% pada daerah tropikal (Tekeu *et al.*, 2015; Tandzi *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2011). Potensi hasil jagung pada lahan masam dengan kejenuhan Al 45-70% berkisar antara 1,55-3,76 t ha⁻¹ (Hayati *et al.*, 2014; Evans *et al.*, 2013).

Perakitan jagung toleran kemasaman dan kadar Al tinggi merupakan salah satu cara untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktifitas jagung pada daerah yang memiliki tingkat kemasaman yang tinggi. Tanaman jagung yang toleran terhadap kadar Al yang tinggi memiliki kemampuan mendetoksifikasi dan mencegah absorpsi Al dari dalam tanah serta mampu menaikkan pH rizosfer serta mengeksudasi asam dan fosfor organik (Sopandie, 2013; Syafruddin, 2003). Hasil penelitian Syafruddin (2003) menunjukkan bahwa berdasarkan nilai panjang akar relatif (PAR) terdapat beberapa genotipe jagung yang tenggang terhadap Al yaitu AMATL-(HIS)-C2-S0 dan MRSS-1(S1)-C1-29-1 tenggang hingga 10 ppm Al serta taraf konsentrasi untuk pengujian tingkat toleransi tanaman jagung terhadap cekaman Al berdasarkan nilai pertambahan panjang akar relatif (PPAR) yaitu 7 ppm. Pertumbuhan akar menurun sekitar 40% pada 60 $\mu\text{mol/L}$ AlCl_3 (7,99 ppm) selama 6 jam (Xu *et al.*, 2018).

Setiap genotipe jagung yang dikembangkan pada lahan dengan kejenuhan Al tinggi akan memiliki penampilan karakter agronomi dan potensi hasil yang berbeda. Fenotipe dan produksi tanaman merupakan hasil dari interaksi antara tanaman dan lingkungannya (Anley *et al.*, 2013; Adnan *et al.*, 2020). Selain itu, perbedaan interaksi gen dengan lingkungan dapat menyebabkan terjadinya perbedaan indeks toleransi tanaman jagung terhadap

cekaman kemasaman. Toleransi jagung terhadap Al diwariskan secara genetik oleh dua gen dominan yaitu *Alm1* dan *Alm2* (Boni *et al.*, 2009). Menurut Ndeke and Tembo (2019) bahwa panjang akar yang merupakan karakter penting dalam pengukuran toleransi jagung terhadap cekaman aluminium dipengaruhi oleh aksi gen aditif dan gen non aditif.

Permasalahan produktifitas jagung yang relatif rendah pada lahan masam dengan kejenuhan Al tinggi sesuai dengan yang diuraikan di atas, maka diperlukan varietas jagung yang toleran terhadap cekaman Al. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi pertumbuhan dan produksi galur jagung dan populasi jagung C0 pada cekaman Al sebagai bahan genetik pembentuk varietas jagung toleran cekaman Al.

1.2 Rumusan Masalah

Cekaman aluminium merupakan salah satu kendala dalam pengembangan jagung di lahan masam. Pada konsentrasi Al yang tinggi menyebabkan pH tanah rendah dan bersifat masam sehingga ketersediaan unsur hara esensial terbatas. Cekaman Al menyebabkan penurunan panjang akar tanaman jagung sekitar 25%-44% karena kandungan Al yang tinggi dalam tanah secara langsung dapat menekan pertumbuhan akar sehingga akan menekan pertumbuhan pucuk yang disebabkan oleh penghambatan fungsi dan pembelahan sel yang membatasi eksplorasi akar untuk menyerap dan mengtranslokasi nutrisi dan air (Malekzadeh *et al.*, 2005).

Saat ini di Indonesia baru memiliki dua varietas jagung yang dilepas sebagai varietas jagung toleran cekaman kemasaman yaitu varietas Sukmaraga dan Antasena yang merupakan varietas bersari bebas yang memiliki rata-rata potensi hasil 8,50 t/ha pada lahan masam. Varietas Sukmaraga berasal dari bahan introduksi AMATL (*Asian Mildew Acid Tolerance Late*) asal CIMMYT Thailand yang *diintrogressi* dengan jagung lokal yang diperbaiki sifat ketahanan terhadap penyakit bulai. Populasi awalnya diseleksi pada tanah kering masam Sitiung Sumatera Barat dan tanah sulfat masam di Barambai (Kalimantan Selatan). Hasil kombinasi diuji pada berbagai lingkungan asam dan normal yang memiliki rata-rata potensi hasil 8,50 t/ha (Balai Penelitian Tanaman Serealia, 2013). Oleh karena itu masih diperlukan perakitan varietas jagung toleran cekaman kemasaman tanah.

Balai Penelitian Tanaman Serealia memiliki beberapa populasi C0 dan galur jagung yang potensial untuk dikembangkan menjadi jagung toleran cekaman aluminium. Galur jagung tersebut berasal dari rekombinasi dari galur-galur komersial yang diseleksi pada lahan masam sampai pada galur S5. Galur Pop A1 sampai dengan Pop A7 merupakan galur S1 yang berasal dari populasi jagung toleran masam CIMMYT. Sedangkan populasi jagung C0 berasal dari persilangan beberapa varietas hibrida (Nasa-29, JH-37, NK-212, ADV-777, dan Bisi-18) dengan varietas Sukmaraga sebagai induk jantan pada lahan masam. Tujuan pembentukan populasi tersebut yaitu sebagai bahan materi pembentuk varietas jagung hibrida toleran cekaman Aluminium. Oleh karena itu dilakukan pengujian pertumbuhan dan produksi populasi C0 serta galur jagung tersebut pada cekaman aluminium.

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pertumbuhan dan produksi galur jagung dan populasi jagung C0 terhadap cekaman aluminium?
2. Apakah terdapat galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran terhadap aluminium yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi terbaik?
3. Apakah terdapat karakter seleksi dari galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran terhadap cekaman aluminium?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pertumbuhan dan produksi galur jagung dan populasi jagung C0 pada cekaman aluminium.
2. Memperoleh satu atau lebih galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran atau medium toleran terhadap cekaman aluminium yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi terbaik.
3. Mengetahui karakter seleksi dari galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran terhadap cekaman aluminium.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan akan memberikan informasi dan kontribusi sebagai bahan kajian lanjut dalam pengembangan jagung yang toleran cekaman aluminium serta memenuhi galur-galur yang memungkinkan membentuk jagung hibrida yang dapat dikembangkan pada lahan masam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Dan Syarat Tumbuh Tanaman Jagung

Berdasarkan temuan-temuan genetik, antropologi, dan arkeologi diketahui bahwa jagung berasal dari Amerika Tengah (Meksiko bagian selatan). Menurut Wilkes and Goodman (1995) teori asal usul jagung terbagi atas empat bagian yaitu a) evolusi jagung liar teosinte langsung menjadi jagung modern melalui proses persilangan dan fiksasi genetik; b) jagung dan teosinte berasal dari nenek moyang yang sama dan terpisah selama proses evolusi menjadi teosintedan jagung; c) terjadi kemajuan genetik dari teosinte menjadi jagung; d) terjadi persilangan antara teosinte dengan rumput liar dan keturunannya menjadi jagung (Wilkes and Goodman, 1995).

Karakteristik tanaman jagung dapat dibedakan berdasarkan ciri vegetatif dan ciri generatif. Ciri vegetatif meliputi akar, batang, dan daun sedangkan ciri generatif mencakup bunga dan biji. Karakteristik sangat berguna untuk mendapatkan deskripsi dan klasifikasi tanaman jagung sehingga memudahkan dalam menentukan kultivar tanaman jagung. Selain itu, keragaman karakter dari tanaman jagung dapat menunjukkan hubungan kekerabatan (Draseffi *et al.*, 2015). Menurut Coffey *et al.* (2019) bahwa daya hasil suatu genotipe jagung ditentukan oleh karakter agronomi lainnya. Potensi hasil panen merupakan karakter hasil yang menjadi sifat kuantitatif dengan pengaruh atau interaksi lingkungan cukup tinggi (Amrullah dan Sugiharto, 2019).

Jagung dapat tumbuh dengan baik pada daerah dengan ketinggian 0-1300 mdpl. Temperatur udara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman jagung adalah 23 – 27⁰C. Curah hujan yang ideal untuk tanaman jagung pada umumnya antara 200 sampai dengan 300 mm per bulan atau yang memiliki curah hujan tahunan antara 800 sampai dengan 1200 mm. Tingkat kemasaman tanah (pH) tanah yang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung berkisar antara 5,6 sampai dengan 6,2. Saat tanam jagung tidak tergantung pada musim namun tergantung pada ketersediaan air. Apabila pengairannya cukup, penanaman jagung pada musim kemarau akan

memberikan pertumbuhan jagung yang lebih baik (Riwandi *et al.*, 2014; Subedi and Ma, 2009; Niley and Kleinjan, 2019).

2.2 Pembentukan Varietas Unggul Jagung

Pembentukan varietas unggul jagung melalui program pemuliaan tanaman terdiri atas tiga tahapan yaitu pembentukan populasi dasar, perbaikan populasi dasar, serta pembuatan galur induk hibrida dan sintetik dari populasi dasar yang telah diperbaiki. Populasi dasar dibentuk dari plasma nutfah yang merupakan sumber gen yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keragaman tanaman. Pemilihan sumber genetik dari plasma nutfah digunakan untuk menentukan potensi perbaikan genetik. Perbaikan populasi dan program seleksi bertujuan untuk memaksimalkan karakter penting dengan mempertahankan karakter lainnya pada tingkat yang sama atau di atas standar sehingga dapat diterima sebagai varietas komersial (Mejaya *et al.*, 2007; Salamah *et al.*, 2017). Populasi dasar dapat dibentuk dari varietas atau gabungan varietas, hibrida dan galur yang memiliki kerabatan jauh dan mengandung gen-gen untuk suatu karakter yang diinginkan (Adriani *et al.*, 2015).

Varietas jagung yang diperoleh dari perbaikan populasi dapat meningkatkan hasil biji dan pendapatan petani jagung karena daerah produksi jagung khususnya di Indonesia memiliki agroklimat yang berbeda sehingga dengan perbaikan populasi dasar dapat menciptakan varietas jagung yang toleran terhadap cekaman lingkungan yang merupakan komponen penting dalam stabilitas hasil jagung (Mejaya *et al.*, 2007). Dalam pembentukan varietas jagung hibrida, perbaikan populasi dilakukan melalui perbaikan dalam populasi (*intrapopulation improvement*) dan perbaikan antarpopulasi (*interpopulation improvement*). Perbaikan dalam populasi bertujuan untuk memperbaiki populasi secara langsung sedangkan perbaikan antarpopulasi bertujuan untuk memperbaiki galur hibrida yang berasal dari dua populasi terpilih secara timbal balik untuk meningkatkan hasil populasi dan heterosis antara dua populasi tersebut. Prinsip dasar dalam perbaikan populasi yaitu untuk meningkatkan frekuensi gen yang baik (*desirable genes*) sehingga akan meningkatkan rata-rata populasi dari karakter yang ditentukan (Makkulawu *et al.*, 2007).

Varietas unggul jagung dapat berupa varietas bersari bebas dan jagung hibrida. Varietas jagung bersari bebas terdiri dari varietas sintetik dan komposit. Varietas sintetik dibentuk dari beberapa galur inbrida yang memiliki daya gabung

yang baik yang diikuti dengan perbaikan melalui seleksi sedangkan varietas komposit dibentuk dari galur, populasi, hibrida, ataupun varietas yang tidak dilakukan uji daya gabung terlebih dahulu. Jagung hibrida terbentuk dari persilangan antara dua galur inbrida yang memiliki tingkat homozigotsitas yang tinggi (Mejaya *et al.*, 2007; Makkulawu *et al.*, 2007; Rahmawati *et al.*, 2014).

2.3 Kemasaman Tanah Dan Aluminium Dalam Tanah

Kemasaman tanah merupakan salah satu faktor pembatas bagi pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Pada tanah masam pH tanah lebih rendah sehingga dalam sistem tanah akan terjadi perubahan kimia sebagai berikut : (a) aluminium menjadi lebih larut dan beracun untuk tanaman; (b) sebagian besar hara tanaman menjadi kurang tersedia bagi tanaman, sedangkan beberapa hara mikro menjadi lebih larut dan beracun; (c) penurunan hasil tanaman; (d) mempengaruhi fungsi penting biota tanah yang bersimbiosis dengan tanaman seperti fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium* (Kurnia, 2017).

Berbagai kendala teknis akan dihadapi dalam pemanfaatan lahan tanah masam terutama masalah keracunan Al, pH rendah < 5,5, fiksasi P tinggi, kandungan basa-basa dapat ditukar dan KTK rendah, kandungan Fe dan Mn yang tinggi, peka erosi, serta miskin elemen biotik. Pada umumnya, toksisitas Al merupakan kendala utama untuk pengembangan tanaman pada lahan masam. Selain itu juga sering terjadi kahat hara terutama unsur P, Ca, Mg, N, dan K. Pada tanah masam di bawah pH 5,5 akan terdapat daerah pertukaran kation yang proporsinya semakin meningkat untuk dijenuhi Al, yang terutama akan menggantikan kation polivalen (Ca^{2+} dan Mg^{2+}); secara bersamaan Al akan berlaku sebagai pengikat P dan Mo. Persentase Al yang dapat ditukar akan berkorelasi erat dengan nilai pH tanah dan pengaruhnya dalam pertumbuhan akar pada kebanyakan tanaman. Dengan penurunan pH, jumlah Mn yang dapat ditukar meningkat pada beberapa tanah. Peningkatan dari Mn-dd juga merupakan fungsi dari potensial redoks ($\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$). Beberapa tanah masam pada daerah tropis mengalami pengaruh iklim yang hebat, sehingga total kandungan Mn sering rendah, sehingga pada tanah-tanah semacam ini risiko keracunan Mn lebih sedikit dibandingkan dengan toksisitas Al (Marschner, 1995).

Aluminium merupakan salah satu penyebab kemasaman tanah. Al dilepas dari tanah dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ dan $\text{Al}(\text{OH})^{3+}$ atau sering disebut

dengan Al^{3+} . Aluminium mengalami hidrolisis pada larutan tanah membentuk kation trivalen Al^{3+} pada pH <5,0. Apabila terjadi kenaikan pH, maka Al akan berubah menjadi $\text{Al}(\text{OH})^+_2$. Pada kondisi pH tanah netral maka Al akan menjadi bentuk yang tidak larut yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan pada kondisi alkalin bentuknya akan menjadi $\text{Al}(\text{OH})^-_4$ (Sopandie, 2013; Ryan *et al.*, 1995; Pandey, 2015; Violante *et al.*, 2010).

2.4 Pengaruh Cekaman Aluminium Pada Tanaman Jagung

Gejala yang umum dijumpai akibat cekaman Al adalah terjadinya klorosis, defisiensi nutrisi, dan tanaman menjadi kerdil (Taiz and Zeiger, 2002). Respons nyata terhadap morfologi akibat cekaman Al adalah terjadinya penebalan pada ujung akar dan akar cabang. Menurut Delhaize and Ryan (1995) dan Miyasaka *et al.* (2006) bahwa daerah yang paling peka terhadap keracunan Al terutama pada bagian ujung akar (tudung akar, meristem, dan zona pemanjangan) dan apabila Al teradsorpsi sekitar 2-3 mm pada akar jagung akan menghambat pertumbuhan tanaman jagung tersebut.

Gejala keracunan Al pada akar tanaman dikenal dengan istilah “*coralloid*”, yakni terhambatnya pembentukan akar lateral dan akar primer terlihat lebih tebal (Miyasaka *et al.* 2007). Terhambatnya pertumbuhan akar disebabkan Al berasosiasi dengan DNA pada inti sel dan menghentikan proses pembelahan sel meristem apikal. Penghambatan pembelahan sel (mitosis) pada meristem apikal akar merupakan suatu respons yang cepat dari perlakuan Al, dalam waktu 3 jam saja sedikitnya 50% sel dihambat untuk mitosis, dan 80% penghambatan proses mitosis sel akar terjadi dalam waktu 4 jam, walaupun pada 12 jam berikutnya terjadi sebagian pemulihan (Sopandie, 2013).

Cekaman aluminium menghambat penyerapan unsur hara esensial yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga dapat menekan pertumbuhan dan menurunkan produksi tanaman. Menurut Alam *et al.* (1999) terdapat tiga proses Al dalam menghambat pertumbuhan tanaman di lahan masam yaitu (a) mengurangi kation bervalensi dua khususnya Ca pada akar tanaman; (b) menghambat fungsi-fungsi sel pada jaringan meristem akar karena adanya penetrasi Al ke dalam protoplasma akar sehingga morfologi akar tanaman tersebut menjadi abnormal; (3) menekan adsorpsi anion karena meningkatnya situs adsorpsi positif pada daerah perakaran dan apoplas akar.

Toksisitas Al dapat mengubah keseimbangan kritis antara produksi ROS (*reactive oxygen species*) dan aktifitas antioksidan sehingga menghasilkan stres oksidatif yang menyebabkan kerusakan pada jaringan tanaman. Cekaman Al menyebabkan penurunan panjang akar tanaman jagung sekitar 25%-44% karena kandungan Al yang tinggi dalam tanah secara langsung dapat menghambat pertumbuhan akar dan pucuk yang disebabkan penghambatan fungsi dan pembelahan sel sehingga membatasi eksplorasi akar untuk menyerap dan mengtranslokasi nutrisi dan air. Toksisitas Al berdampak negatif pada aktifitas fotosintesis tanaman jagung karena terjadinya penurunan kandungan klorofil daun (Malekzadeh et al., 2005). Penurunan kandungan pigmen dikaitkan antara penghambatan yang diinduksi oleh Al pada biosintesis atau degradasi pigmen yang dimediasi ROS (Malekzadeh et al., 2014).

Keracunan Al dapat menghambat pertumbuhan tajuk dengan cara menghambat pasokan hara, air, dan sitokinin dari akar karena buruknya penetrasi akar ke subsoil atau kondisi hidrolis akar rendah. Akumulasi Al akan menyebabkan kebocoran membran, disintegrasi struktur, dan berkurangnya kandungan K dalam jaringan ujung akar, serta menurunkan viabilitas protoplasma. Terbentuknya ikatan polimer Al dengan membran plasma akar akibat cekaman Al akan menyebabkan kerusakan pada membran dan kebocoran K dari sel akar. Toksisitas Al memengaruhi efluks unsur K dan Ca. Gangguan Al terhadap Ca pada ujung akar menyebabkan defisiensi Ca pada sel apikal akar atau mengubah homeostatis Ca. Perubahan ini akan memicu penyimpangan fungsi metabolisme dalam sel ujung akar yang selanjutnya dapat menghambat pemanjangan akar (Marschner, 1995; Sopandie, 2013).

Respons tanaman yang peka terhadap cekaman keracunan Al, antara lain berupa akar menjadi pendek dan rapuh, cabang-cabang akar halus (*fine root branching*) pada akar lateral berkurang, ujung akar dan akar lateral menebal dan berubah warna menjadi cokelat. Akar yang mengalami kerusakan seperti itu menjadi tidak efisien dalam penyerapan hara dan air dari dalam tanah. Sebagai akibatnya, tanaman menjadi peka terhadap berbagai cekaman lingkungan, kekeringan khususnya (Tasma, 2016).

Selain memasuki sel-sel akar, sebagian ion Al^{3+} bereaksi dengan P terlarut di dalam tanah menyebabkan P yang tersedia bagi tanaman membentuk senyawa kompleks dengan Al dan P dalam bentuk tidak terlarut sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Pengikatan P oleh Al menyebabkan gejala

kekahatan P pada tanaman yang ditumbuhkan pada tanah masam, walaupun sebelumnya tanah tersebut telah dipupuk P dengan dosis yang cukup (Kochian *et al.*, 2004).

2.5 Pengembangan Jagung Toleran Cekaman Aluminium

Karakteristik tanah masam dicirikan oleh pH rendah (5,5), kejenuhan basa dan kapasitas tukar kation rendah, kandungan hara N, P, dan K rendah serta kejenuhan Al tinggi. Kejenuhan Al yang tinggi dapat memfiksasi hara P dan N tidak tersedia bagi tanaman, dalam kompleks jerapan hara K antagonis dengan kation lain menjadi tidak tersedia untuk tanaman (Kasno, 2019).

Lahan masam tersebar luas di Indonesia terutama di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Luas lahan masam di Sumatera yaitu sekitar 44,35 juta ha, Kalimantan 50,48 juta ha, dan Papua sekitar 33,23 juta ha. Potensi pengembangan lahan masam untuk tanaman pangan seperti jagung yaitu Sumatera 9,41 juta ha, Kalimantan 5,94 juta ha, dan Papua 2,30 juta ha (Ritung *et al.*, 2015).

Perakitan jagung toleran cekaman aluminium dapat memanfaatkan luasan lahan masam yang tersedia untuk pengembangan tanaman jagung. Pengembangan jagung varietas Sukmaraga sebagai salah satu jagung toleran cekaman kemasaman tanah dengan kejenuhan aluminium sampai 80% dapat meningkatkan produktifitas jagung pada lahan kering masam di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan dari 2,4-3,4 t ha⁻¹ menjadi 6,52 t ha⁻¹ (Prasetyo, 2018).

Pengembangan jagung hibrida JH-37 di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan yang didominasi lahan kering masam dengan pH 4,62 memberikan produksi sebesar 10 t ha⁻¹ dimana sebelumnya produksi pertanaman jagung lokal di daerah ini hanya mencapai 4-6,5 t/ha. Jagung JH-37 memiliki daya adaptasi yang cukup luas pada lahan masam sehingga mampu berproduksi dan memenuhi kebutuhan pakan ternak serta meningkatkan pendapatan petani setempat (Anggreani, 2021; Galib, 2016).

Pengembangan varietas jagung Sukmaraga sebagai jagung komposit toleran cekaman aluminium yaitu pembentukan galur inbrida dengan menyilangkan galur-galur jagung tertentu dengan varietas Sukmaraga dengan tujuan untuk meningkatkan keragaman genetik jagung toleran cekaman aluminium serta sebagai calon tetua dalam pembentukan jagung hibrida toleran cekaman aluminium. Hasil penelitian Hayati *et al.* (2016) menunjukkan bahwa

jagung hibrida silang tunggal yang berasal dari kombinasi persilangan yang melibatkan galur inbrida yang berasal dari varietas Sukmaraga memiliki potensi hasil 7,38-8,47 t ha⁻¹. Galur-galur inbred yang berasal dari varietas komposit Sukmaraga memiliki indeks toleransi medium toleran hingga toleran (Hayati dan Armansyah, 2011)

Pengembangan varietas jagung toleran cekaman kemasaman tanah dapat memelihara kelestarian lingkungan, menghemat energi, dan biaya untuk meningkatkan produksi jagung pada lahan masam. Hal ini juga akan memungkinkan sistem penanaman jagung yang berkelanjutan untuk dikembangkan di sabana, hutan, dan lahan masam lereng bukit sehingga akan membantu mengurangi kerusakan lahan pertanian yang rapuh dan mengurangi penebangan hutan hujan tropis untuk mendapatkan lahan pertanian tambahan (Pandey *et al.*, 1994).

2.6 Mekanisme Toleransi Tanaman Terhadap Aluminium

Suatu tanaman yang toleran terhadap keracunan Al mempunyai kriteria antara lain: (1) pertumbuhan akar normal, (2) mampu meningkatkan pH tanah di sekitar perakaran, (3) sebagian besar Al tertahan di akar dan sedikit ditranslokasikan ke bagian atas tanaman, dan (4) ion Al tidak dapat menghambat serapan dan translokasi Ca, Mg, K, dan P (Kochian *et al.*, 2004; Sopandie, 2013).

Mekanisme tanaman untuk mengatasi dampak keracunan Al di dalam tanah yaitu (1) mekanisme simplastik melibatkan immobilisasi atau netralisasi Al³⁺ yang telah memasuki sel apikal akar (*detoxification of internal Al*), dimana pada mekanisme ini ion Al³⁺ yang telah memasuki sitoplasma dengan cepat didetoksifikasi di dalam sel dengan terbentuknya senyawa kompleks dengan asam-asam organik. Asam-asam organik yang membentuk senyawa kompleks dengan Al³⁺ pada mekanisme apoplastik juga terlibat pada mekanisme simplastik. Ion Al³⁺ atau senyawa kompleks Al³⁺ dan agen pengelat kemudian ditransportasi dan disimpan di dalam sel-sel vakuola sehingga sel-sel apikal akar akan terhindar dari efek keracunan Al; (2) mekanisme apoplastik yaitu pencegahan (*exclusion*) ion memasuki sel apikal akar (*root apical cells*) yang berada dekat ujung akar, dimana mencegah ion Al³⁺ memasuki sel apikal akar melalui pelepasan asam-asam organik dari ujung akar segera setelah terpapar ion Al³⁺. Asam-asam organik ini mengkelat ion Al³⁺ dan membentuk

senyawa kompleks Al dan asam organik yang menetralkan sifat toksik ion Al^{3+} . Asam-asam organik yang dilepaskan oleh ujung akar berbeda antarspesies tanaman toleran, terdiri atas asam malat, asam sitrat, dan asam oksalat. Dari asam-asam organik tersebut, asam sitrat memiliki afinitas pengikatan ion Al^{3+} terbesar diikuti oleh asam oksalat, asam malat, dan asam suksinat (Tasma, 2016; Kochian *et al.*, 2004); Neto and Borém, 2012).

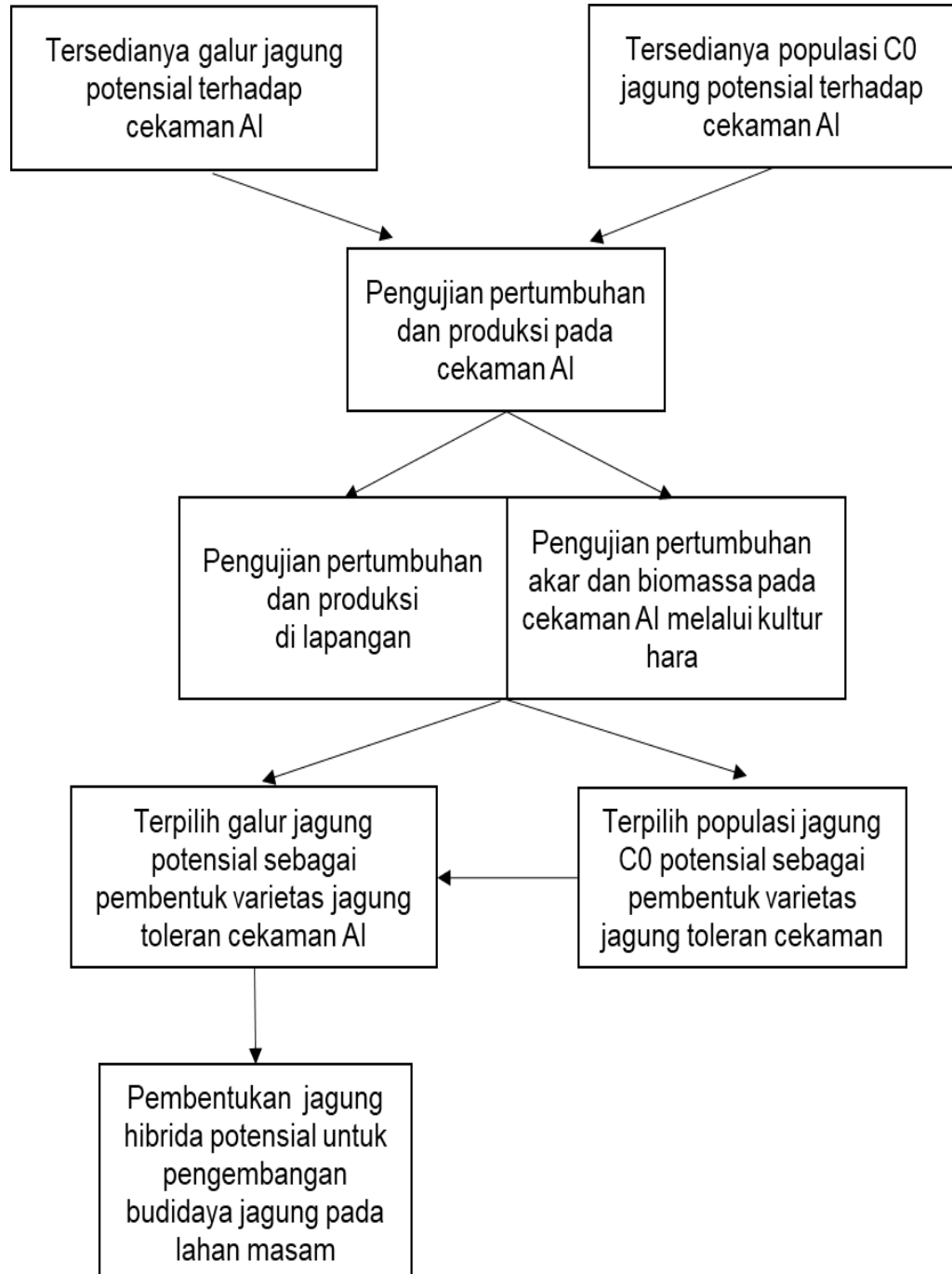
2.7 Simulasi Cekaman Al Untuk Pengujian Toleransi Tanaman Jagung Pada Cekaman Al

Penelitian Magnavaca *et al.* (1987) yang mengevaluasi beberapa galur inbrid dari USA dan Brazil pada cekaman aluminium dengan menggunakan metode kultur hara. Komposisi larutan hara yang digunakan yaitu 10.900 NO_3-N ; 3500 Ca; 2300 k; 1300 NH_4-N ; 850 Mg; 590 S; 25 B; 9,1 Mn; 2,29 Zn; 0,88 Mo; 0,63 Cu; 77 Fe dengan satuan masing-masing $\mu mol L^{-1}$. Aluminium yang ditambahkan pada media kultur hara yaitu $KAl(SO_4)$ dengan konsentrasi 0, 7, 148, 222 $\mu mol L^{-1}$. pH larutan hara yaitu 4,0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang akar seminal semakin seiring dengan meningkatnya konsentrasi Al. Konsentrasi Al tertinggi (222 $\mu mol L^{-1}$) tidak berpengaruh nyata pada galur inbred Brazil terutama pada panjang akar seminal relatif (1,93) dan panjang akar seminal netto (66 cm) dibandingkan galur inbred USA memiliki panjang akar seminal relatif (1,67) dan panjang akar seminal netto (50 cm). Galur inbred Brazil lebih toleran cekaman Al dibanding galur inbred USA.

Penelitian Evans *et al.* (2013) beberapa galur jagung yang merupakan plasma nutfah dari Institusi Penelitian Pertanian Kenya diuji tingkat toleransinya pada larutan hara dengan menggunakan $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Konsentrasi Al yang digunakan yaitu 0 dan 222 $\mu mol L^{-1}$ dengan pH larutan hara 4,0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa galur jagung yang toleran cekaman Al memiliki pertumbuhan akar netto relatif >50% sedangkan galur jagung yang peka cekaman Al memiliki pertumbuhan akar netto relatif 9-49%. Galur CON 5 memiliki pertumbuhan akar netto relatif tertinggi yaitu 105%. Galur jagung yang diuji memiliki perbedaan signifikan dalam adsorpsi pewarnaan hematoxylin. Galur yang peka terhadap cekaman Al berwarna biru gelap pada akar sedangkan galur yang toleran ujung akar yang bersih tidak bernoda biru.

Pengujian jagung hibrida silang tunggal dan hibrida silang puncak pada lahan masam dan lahan normal kebun percobaan IRAD, Kamerun Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata hasil biji jagung yang diuji pada lahan normal dengan kejenuhan AI 33,80% yaitu 3,50-7,40 t ha⁻¹, jumlah tongkol pertanaman berkisar 0,95-1,36 tongkol, panjang tongkol berkisar 9,32-12,86 cm, dan tinggi tanaman berkisar 194,40-222,19 cm. Sedangkan pada lahan masam dengan kejenuhan AI 73,20% memiliki rata-rata hasil biji jagung yang diuji pada lahan normal yaitu 1,40-6,10 t ha⁻¹, jumlah tongkol pertanaman berkisar 0,90-1,30 tongkol, panjang tongkol berkisar 5,20-10,15 cm, dan tinggi tanaman berkisar 135,4-198 cm (Liliane N Tandzi et al., 2015).

2.8 Kerangka Konseptual



Gambar 2. 1. Kerangka konseptual penelitian

2.9 Hipotesis

1. Terdapat penurunan pertumbuhan dan produksi galur jagung serta populasi jagung C0 pada cekaman aluminium dibanding dengan kondisi normal.
2. Terdapat satu atau lebih galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran atau medium toleran terhadap cekaman aluminium yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi terbaik.
3. Terdapat satu atau lebih karakter seleksi dari galur jagung dan populasi jagung C0 yang toleran terhadap cekaman aluminium.