

Novri Youla Kandowangko

SOLUSI KEKERINGAN TANAMAN JAGUNG

(Pemanfaatan Mikroba *Azospirillum* dan Mikoriza Arbuskula)



Dr. Novri Youla Kandowangko, M.P., menempuh pendidikan S1 Pendidikan Biologi FKIP Universitas Sam Ratulangi Manado (1987-1992), S2 Ilmu Tanah, Kajian Utama Kesuburan Tanah dan Gizi Tanaman, Universitas Padjadjaran Bandung (1997-1999), dan S3 Ilmu Pertanian, Kajian Ekofisiologi Tanaman, Universitas Padjadjaran Bandung (2001-2004). Ia merupakan dosen di Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo sejak tahun 1993 - sekarang. Mata kuliah yang diampuh antara lain: Fisiologi Tumbuhan, Struktur Perkembangan Tumbuhan, Botani Tumbuhan Tinggi. Dalam 5 tahun terakhir, penulis telah menyelesaikan 18 penelitian ilmiah dan mempublikasikan artikel ilmiah. Salah satunya berjudul *Proline and Abscisic Acid Content in Droughted Corn Plant Inoculated with Azospirillum sp. and Arbuscular Mycorrhizae Fungi*. (*Hayati Journal of Biosciences*, 2009, 16(1): 15-20).



Jagung merupakan salah satu komoditas penting di Indonesia. Namun, budi daya jagung di Indonesia sering kali menghadapi kendala kekeringan yang menyebabkan hasil panen jagung rendah dan kualitas lahan pertanian menurun. Di sisi lain, dua jenis mikroba tanah yaitu *Azospirillum* dan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan dalam budi daya tanaman jagung.

Isi buku ini menyajikan proses percobaan penanaman tanaman jagung dengan Bakteri *Azospirillum* dan CMA. Setelah masa tanam, tanaman jagung yang diberi kedua mikroba *Azospirillum* dan CMA memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanaman jagung yang tidak diberikan mikroba. Hasil panen terbaik diperoleh dengan pemberian dosis optimum Bakteri *Azospirillum* dan CMA.

SOLUSI KEKERINGAN TANAMAN JAGUNG

(Pemanfaatan Mikroba *Azospirillum* dan Mikoriza Arbuskula)



SOLUSI KEKERINGAN TANAMAN JAGUNG

(Pemanfaatan Mikroba *Azospirillum* dan Mikoriza Arbuskula)

Novri Youla Kandowangko



IP.022.03.2019

**SOLUSI KEKERINGAN TANAMAN JAGUNG
(Pemanfaatan Mikroba *Azospirillum* dan Mikoriza Arbuskula)**

Novri Youla Kandowangko

Pertama kali diterbitkan pada Maret 2019
Oleh **Ideas Publishing**

Alamat : Jalan Prof. Dr. Ir. H Joesoef Dalie No. 110
Kota Gorontalo

Surel : infoideaspublishing@gmail.com
Anggota IKAPI, No. 0001/ikapi/gtlo/II/17

ISBN: 978-602-5878-87-9

Penyunting: Mudrikatul Jannah Djibu
Penata Letak: Siti Rahmatia Ntou
Sampul: Sintia R. Hasan

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit





DAFTAR ISI	_____	iii
DAFTAR TABEL	_____	v
DAFTAR GAMBAR	_____	ix
PRAKATA	_____	x

BAB I Proses Tumbuhnya Tanaman Jagung

- A. Karakteristik Tanaman Jagung _____ 1
- B. Pertumbuhan Tanaman Jagung _____ 2
- C. Pentingnya Unsur Hara bagi Tanaman Jagung _____ 3

BAB II Produksi Jagung di Indonesia

- A. Problema Swasembada Jagung _____ 9
- B. Alasan Menurunnya Produksi Jagung _____ 10
- C. Upaya Peningkatan Produksi Jagung _____ 11

BAB III Dampak Cekaman Kekeringan

- pada Tanaman Jagung _____ 13



BAB IV	Jenis Mikroba sebagai Solusi Cekaman Kekeringan Tanaman Jagung	
A.	Bakteri <i>Azospirillum</i> _____	22
B.	Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) _____	29
C.	Efek Interaksi antara <i>Azospirillum</i> dengan CMA _____	34
BAB V	Persiapan Percobaan Mikroba pada Tanaman Jagung	
A.	Alat dan Bahan _____	37
B.	Rancangan Percobaan _____	38
C.	Petak Pengambilan Sampel Percobaan Lapangan _____	41
D.	Tata Letak Perlakuan pada Percobaan Rumah Kaca _____	42
E.	Jumlah Pot Setiap pada Percobaan Rumah Kaca _____	43
F.	Prosedur-Prosedur Penting dalam Percobaan _____	43
BAB VI	Pertumbuhan Tanaman Jagung Selama Percobaan	
A.	Keadaan Lokasi Percobaan _____	65
B.	Keadaan Jagung Selama Masa Tanam _____	69
BAB VII	Respons Tanaman Jagung terhadap Pemberian Mikroba	
A.	Infeksi Akar oleh CMA _____	77
B.	Kadar Air Relatif Daun (KARD) _____	81
C.	Kadar Klorofil Daun _____	84
D.	Kadar Prolin _____	87
E.	Kadar Asam Absisat (ABA) _____	91
F.	Kandungan Unsur Hara setelah Percobaan _____	95
G.	Hasil Tanaman Jagung _____	115
BAB VIII	Analisis Statistik dalam Percobaan Pemberian Mikroba pada Tanaman Jagung	
A.	Hubungan antara Komponen Hasil dengan Hasil Jagung pada Percobaan Lapangan _____	141
B.	Hubungan antara Variabel Respons dengan Hasil Jagung pada Percobaan Pot _____	142
C.	Hubungan antara Komponen Hasil dengan Hasil Biji Jagung pada Percobaan Pot _____	143
	DAFTAR PUSTAKA _____	145





Tabel 1	Karakteristik <i>Azospirillum lipoferum</i> _____	23
Tabel 2	Karakteristik <i>Glomus manihotis</i> _____	31
Tabel 3	Rata-Rata Suhu Tanah, Suhu Udara, dan Kelembaban Udara Selama Percobaan Pot di Rumah Kaca _____	66
Tabel 4	Rata-Rata Harian Suhu Udara, Kelembaban Udara, Curah Hujan dan Evapotranspirasi (ETP) Selama Pertumbuhan Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan _____	67
Tabel 5	Rata-Rata Suhu Tanah, Suhu Udara, dan Kelembaban Udara Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji di Dalam Rumah Plastik pada Percobaan Lapangan _____	68
Tabel 6	Infeksi Akar oleh CMA pada Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	79
Tabel 7	Kadar Air Relatif Daun Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	82



Tabel 8	Kadar Klorofil Daun Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembuangan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	86
Tabel 9	Kadar Prolin Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	88
Tabel 10	Kadar ABA (asam absisat) Daun Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	91
Tabel 11	Fiksasi Nitrogen pada Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	96
Tabel 12	Kadar N Daun Tanaman yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	100
Tabel 13	Kadar Fosfor Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	103
Tabel 14	Kadar K Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	105
Tabel 15	Kandungan Nitrogen Total pada Rizosfer Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	107
Tabel 16	Fosfor Tersedia pada Rizosfer Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	111



Tabel 17	Kalium Tersedia pada Rizosfer Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	114
Tabel 18	Bobot Kering Pupus Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	116
Tabel 19	Bobot Kering Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	119
Tabel 20	Rasio Pupus Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	122
Tabel 21	Diameter Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	123
Tabel 22	Diameter Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Percobaan Lapangan _____	125
Tabel 23	Panjang Tongkol Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	127
Tabel 24	Panjang Tongkol Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Percobaan Lapangan _____	128
Tabel 25	Jumlah Biji per Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	129



Tabel 26	Jumlah Biji per Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Percobaan Lapangan _____	131
Tabel 27	Bobot 25 Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	133
Tabel 28	Bobot 25 Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Percobaan Lapangan _____	134
Tabel 29	Hasil Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca _____	135
Tabel 30	Hasil Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Percobaan Lapangan _____	138





Gambar 1	Kiri : Tanaman Jagung Segar; Kanan : Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan yang Ditandai dengan Daun Jagung yang Menggugulung	__ 11
Gambar 2	Jagung Lokal Gorontalo	_____ 12
Gambar 3	Petak Pengambilan Sampel pada Percobaan Lapangan	_____ 41
Gambar 4	Tata Letak Perlakuan pada Percobaan	_____ 42
Gambar 5	Dokumentasi Ketika Penelitian	_____ 64
Gambar 6	Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan pada Percobaan Pot di Rumah Kaca	_____ 70
Gambar 7	Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan pada Percobaan di Rumah Kaca	_____ 71
Gambar 8	Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan	_____ 73
Gambar 9	Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan yang Diberi Naungan Plastik	_____ 73
Gambar 10	Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan, Kiri : Perlakuan Tanpa Inokulan <i>Azospirillum</i> dan CMA (aomo); Kanan : Perlakuan dengan 0.3ml <i>Azospirillum</i> dan 18,75g CMA (a1ml)	_____ 75
Gambar 11	Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan, Kiri : Perlakuan dengan 0.6ml <i>Azospirillum</i> dan 37.50g CMA (a2m2); Kanan : Perlakuan dengan 0.9ml <i>Azospirillum</i> dan 56,25g CMA (a3m3)	_____ 75

Gambar 12	Infeksi Akar oleh CMA yang Ditunjukkan Adanya Hifa dan Vesikula, Nampak Jelas pada Perbesaran 600x_____	78
Gambar 13	Kurva Permukaan Respons Hasil Biji Jagung yang Diberi Inokulan <i>Azospirillum</i> dan CMA pada Percobaan Pot _____	136
Gambar 14	Kurva Respons Hasil Biji Jagung yang Diberi Inokulan <i>Azospirillum</i> pada Percobaan Lapangan _____	139
Gambar 15	Kurva Respons Hasil Biji Jagung yang Diberi Inokulan CMA pada Percobaan Lapangan _____	139





Penyelesaian buku ini tidak dapat direalisasikan tanpa izin Tuhan Yang Maha Esa. Karena hanya dengan kuasa-Nyalah, buku yang berjudul "*Solusi Kekeringan Tanaman Jagung (Pemanfaatan Mikroba *Azospirillum* dan Mikoriza Arbuskula)*" ini berada di hadapan pembaca. Buku ini disusun dengan penuh harapan, agar isi buku ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Budi daya tanaman jagung di Indonesia masih sering menemui kendala yang mengakibatkan hasil panen jagung rendah. Salah satu kendala tersebut adalah kekeringan. Untuk itu, diperlukan solusi dari permasalahan budi daya jagung di lahan kering. Dua jenis mikroba yaitu bakteri *Azospirillum* dan Cendawan Mikoriza Arbuskula memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan dalam budi daya jagung di lahan kering. Isi buku ini menyajikan serangkaian percobaan budi daya jagung dengan bakteri *Azospirillum* dan Cendawan Mikoriza Arbuskula. Kedua mikroba tersebut menghasilkan pengaruh positif bagi pertumbuhan dan hasil panen tanaman jagung yang mengalami cekaman kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji. Pengaruh positif tersebut berupa perubahan pada akar, kadar air relatif daun, kadar klorofil, kadar prolin, kadar asam absisat, kandungan unsur hara, dan ukuran tanaman jagung.



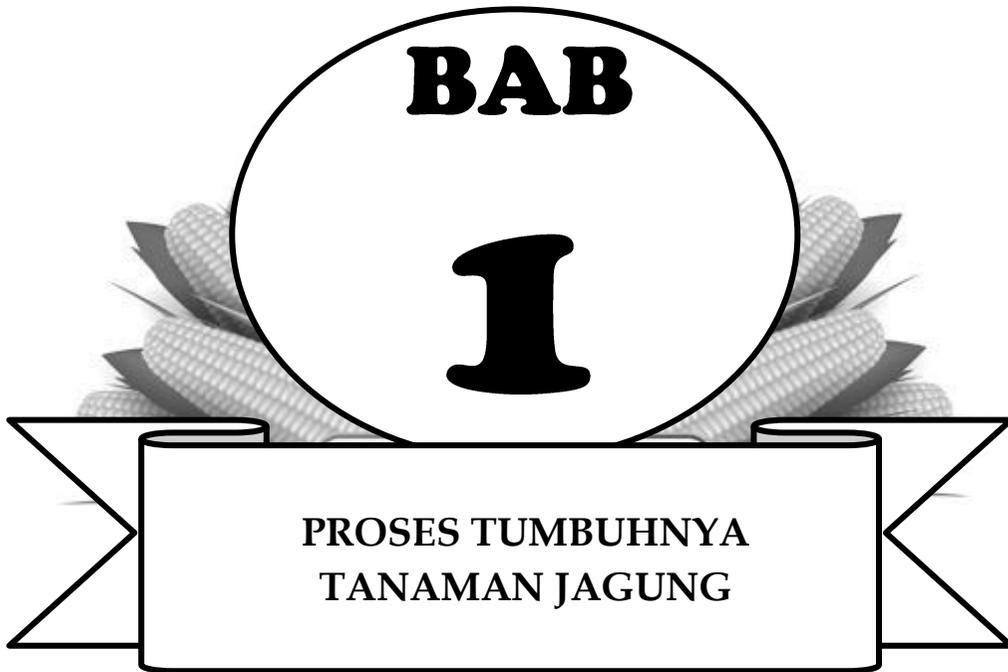
Sebagaimana kalimat “tidak ada satu pun yang sempurna di dunia”, begitu pula dengan buku ini. Maka kami penyusun sangat mengapresiasi segala bentuk kritik dan saran agar bisa lebih baik lagi di masa depan.

Terakhir kami ucapkan terima kasih kepada segala pihak yang turut andil dalam penyusunan buku ini dari awal hingga akhir. Semoga segala usaha dan perbuatan kita selalu diberi keberkahan oleh Tuhan semesta alam. Amin

Gorontalo, Maret 2019

Penyusun





BAB

1

PROSES TUMBUHNYA TANAMAN JAGUNG

Jagung merupakan salah satu komoditas penting di Indonesia. Sehingga menjadi penting untuk kita dalam mengenali tanaman jagung ini lebih jauh, terutama dalam hal yang memengaruhi pertumbuhannya. Pada bab ini akan dibahas mengenai proses pertumbuhan jagung dan nutrisi penting baginya.

A. Karakteristik Tanaman Jagung

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan tanaman berumah satu (*monoecious*), yaitu tanaman yang memiliki bunga jantan dan bunga betina dalam satu tanaman. Letak bunga jantan dan bunga betina pada satu tanaman jagung saling terpisah satu sama lain. Jagung termasuk ke dalam kelompok C-4 yang memiliki sifat-sifat menguntungkan, antara lain aktivitas fotosintesis pada keadaan normal relatif tinggi, fotorespirasi sangat rendah, transpirasi rendah,



serta efisien dalam penggunaan air. Keuntungan dari sifat-sifat tersebut terlihat pada hasil panen tanaman (Muhadjir, 1988).

Tanaman jagung mempunyai sistem perakaran serabut sehingga sangat efisien dalam menyerap unsur hara dan air yang terdapat dalam tanah. Daun tanaman jagung berbentuk pita atau garis. Di sisi sebelah atas daun tanaman jagung terdapat deretan sel yang disebut sel-sel kipas. Pada musim kemarau sel-sel kipas sangat berguna karena mampu menyerap air di bawah tekanan turgor sehingga daun menggulung atau mengerut. Daun tanaman C-4 merupakan organ tanaman penghasil fotosintat yang mengandung sel seludang pembuluh dan di dalamnya terdapat klorofil. Di dalam sel itu terjadi dekarboksilasi malat dan aspartat yang menghasilkan karbon dioksida (CO_2). Selanjutnya CO_2 memasuki siklus Calvin membentuk pati dan sukrosa (Muhadjir, 1988).

B. Pertumbuhan Tanaman Jagung

Pertumbuhan dan produksi tanaman termasuk jagung ditentukan oleh proses fisiologi yang berlangsung di dalamnya. Proses fisiologi tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor iklim seperti suhu radiasi matahari, kelembaban dan air (curah hujan). Tanaman jagung dapat tumbuh pada suhu 21°C – 30°C . Akan tetapi, untuk pertumbuhan tanaman jagung terbaik diperlukan suhu rata rata 24°C selama periode pertumbuhannya.

Tanaman jagung dapat tumbuh dengan baik dan sempurna serta menghasilkan dengan produktifitas yang tinggi, jika mendapatkan sinar matahari yang cukup. Intensitas cahaya yang tinggi baik untuk pertumbuhan jagung, akan berakibat tanaman jagung tumbuh memanjang (tinggi), tongkolnya ringan dan bijinya kurang berisi.

Selain cahaya, air juga merupakan salah satu faktor pembatas untuk pertumbuhan tanaman jagung. Air berfungsi sebagai pelarut



hara tanaman di dalam tanah dan berperan dalam translokasi fotosintat di dalam tanaman. Menurut Rifin (1990), setiap fase pertumbuhan tanaman jagung membutuhkan air yang berbeda-beda. Kebutuhan air meningkat sejalan dengan perkembangan tanaman. Kebutuhan air paling tinggi terjadi pada saat pembungaan sampai pengisian biji, kemudian menurun sampai tanaman dapat dipanen. Setiap hari, kebutuhan air untuk tanaman jagung sangat tergantung pada umur tanaman dan keadaan lingkungan tempat tumbuh. Saat tanaman masih kecil (tinggi tanaman 20–30cm), kebutuhan air setiap hari adalah sekitar 2.5mm. kemudian kebutuhan air meningkat sampai 6.4–7.6mm pada saat pembentukan biji (*filling period*) dan kadang-kadang mencapai 10.2mm.

Kekurangan atau kelebihan air pada tiap fase tumbuh akan mengakibatkan pertumbuhan tanaman tidak normal sehingga dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil. Kekurangan air yang terjadi pada fase vegetatif tidak berakibat langsung terhadap hasil, tetapi dapat mengurangi pertumbuhan sumber asimilasi seperti daun dan batang. Sementara kekurangan air pada saat pertumbuhan biji dapat menimbulkan pengaruh langsung terhadap hasil (Rifin, 1992 : Baneti dan Wesgate, 1992).

C. Pentingnya Unsur Hara bagi Tanaman Jagung

Tanaman jagung memerlukan hara dalam jumlah yang berbeda. Jumlah hara yang dibutuhkan bergantung umur, susunan organ, dan varietas tanaman. Hara yang diserap dari tanah akan ditranslokasikan ke organ-organ tanaman yang memerlukannya. Hal itu tergantung pada ketersediaan hara di tanah, fase pertumbuhan tanaman dan ada atau tidaknya kendala dari lingkungan tempat tumbuhnya (Fathan, dkk., 1988). Kurangnya ketersediaan air dalam tanah juga dapat memengaruhi penyerapan hara oleh tanaman. Unsur hara yang



banyak dibutuhkan tanaman adalah nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K).

1. Nitrogen

Gardner, dkk., (1991) menyatakan bahwa nitrogen diserap tanaman dalam bentuk ion NO_3 (nitrat) dan NH_4^+ (amonium). Fungsinya bagi tanaman adalah sebagai bahan penting penyusun asam amino, amida, nukleotida, dan nukleoprotein, serta senyawa esensial untuk pembelahan sel, pembesaran sel. Hal ini membuat nitrogen menjadi sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Menurut Sutoro, dkk. (1988), tanaman jagung yang kekurangan unsur nitrogen akan memperlihatkan pertumbuhan yang kerdil. Selain itu, daun tanaman berwarna hijau kekuning-kuningan yang berbentuk huruf V, dari ujung daun menuju tulang daun, dan dimulai dari daun bagian bawah terlebih dahulu. Tongkol jagung juga terbentuk menjadi kecil dan kandungan protein dalam biji rendah.

2. Fosfor

Sebagian besar unsur fosfor (P) yang diserap tanaman dalam bentuk ion bervalensi tunggal H_2PO_4 (asam fosfat), dan kurang dalam bentuk ion bervalensi dua HPO_4^{2-} . Fungsi fosfor bagi tanaman adalah sebagai komponen penting penyusun senyawa untuk mentransfer energi (ATP dan nukleoprotein lain), untuk sistem informasi genetik (DNA dan RNA), untuk membran sel (fosfolipid), dan fosfoprotein (Gambar dkk, 1991). Gejala kekurangan fosfor biasanya tampak pada awal pertumbuhan tanaman. Daun tanaman berwarna keunguan, perakaran tanaman menjadi dangkal dan penyebaran akarnya sempit, serta batang tanaman menjadi lemah. Selain itu, pembentukan tongkol jagung menjadi tidak sempurna dengan ukuran kecil dan barisan biji tidak beraturan dengan biji yang kurang berisi (Sutoro dkk, 1988).



3. Kalium

Kalium diserap oleh akar tanaman dalam bentuk K^+ (Ismupadji, 1989). Kandungan kalium yang cukup dalam tanaman dapat meningkatkan kepekaan stomata terhadap cekaman kekeringan. Hal itu terjadi karena adanya peningkatan konsentrasi kalium dalam sel penjaga. Kemudian serapan air dan turgor sel penjaga akan meningkat, mengakibatkan stomata terbuka dan CO_2 dapat masuk ke dalam tanaman, sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung dengan baik (Marschner, 1995). Pada tanaman yang tercekam kekeringan, kalium berperan dalam memperbaiki sifat morfologi (perkembangan akar yang pesat) dan sifat fisiologi tanaman, seperti meningkatkan turgor, menurunkan potensi osmotik, dan mendorong interaksi positif antara fitohormon yaitu sitokinin dan ABA. Kalium juga memperbaiki sifat biokimia tanaman, seperti meningkatkan akumulasi prolin dan meningkatkan aktifitas enzim, seperti *nitral reduktase* (Subramanian, 1982). Tanaman jagung yang kekurangan kalium memperlihatkan pingiran dan ujung daun menjadi berwarna kuning hingga menjadi kering. Gejala kekurangan kalium ini pertama terlihat pada daun bagian bawah. Dalam keadaan yang telah parah, daun tersebut akan kering dan mati. Kekurangan kalium juga berpengaruh pada pembentukan tongkol. Ujung tongkol bagian atas tidak terisi penuh oleh biji serta biji jagung melekat secara kuat pada tongkolnya (Sutoro dkk, 1988).

Peran hara N dan P sangat besar dalam budidaya tanaman jagung. Akan tetapi, ketersediaan hara tersebut dalam tanah sering menjadi kendala, terutama pada lahan-lahan marginal. Sutoro, dkk. (1988) menyatakan bahwa pada awal pertumbuhan, akumulasi N dan P dalam tanaman relatif lambat, namun setelah tanaman berumur 4 minggu, akumulasi N dan P meningkat dengan cepat. Pada saat



pembungaan (keluar bunga jantan) tanaman jagung telah mengabsorpsi N sebanyak 50% sedangkan akumulasi P baru mencapai 35% dari seluruh kebutuhannya. Selanjutnya akumulasi P meningkat hingga menjelang tanaman dapat dipanen. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil jagung yang baik, unsur hara N dan P dalam tanah harus cukup tersedia pada fase-fase pertumbuhan tersebut.

Kendala yang sering terjadi adalah kehilangan hara N melalui pencucian atau denitrifikasi sebelum fase pertumbuhan tersebut sehingga dapat mengakibatkan polusi lingkungan dari pengurangan hasil. Sebaliknya, hara P sangat stabil di dalam tanah sehingga kehilangannya akibat pencucian relatif tidak pernah terjadi. Hal itu pula yang menyebabkan kelarutan P di dalam tanah sangat rendah yang konsekuensinya ketersediaan P bagi tanaman juga sangat rendah. Ketersediaan P tanah untuk tanaman terutama sangat dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanahnya sendiri.

Untuk mengatasi kendala tersebut, pada umumnya dilakukan pemberian kapur (CaCO_3) dengan dosis 1.0–3.0t/ha untuk meningkatkan pH tanah yang asam dan pupuk kimia seperti pupuk N dengan dosis 115 – 138kg/ha N (250–300kg/ha urea) yang diberikan sebanyak 2–3 kali selama satu musim tanam jagung, pupuk P dengan dosis 11.27–15.03kg/ha P (75–100kg/ha SP-36), dan pupuk K dengan dosis 50kg/ha K (100kg/ha KCl) pada awal penanaman (Adisarwanto dan Widyastuti, 2001). Hal itu mengakibatkan kebutuhan pupuk kimia meningkat setiap tahun. Pemakaian pupuk kimia dengan dosis tinggi secara terus menerus ternyata dapat menimbulkan pencemaran, baik terhadap lahan pertanian maupun lingkungan, sehingga menyebabkan produktivitas lahan semakin merosot, degradasi lahan semakin meningkat, dan kesuburan tanah berkurang akibat diabaikannya proses alami. Simarmata (2002) menyatakan bahwa aplikasi pupuk kimia dalam dosis yang tinggi hanya bertujuan



untuk meningkatkan produksi dan produktivitas tanaman tanpa banyak memedulikan lingkungan sehingga penggunaannya menjadi tidak efisien dan mengganggu lingkungan. Dalam era lingkungan dan globalisasi, orientasi pengembangan pertanian diarahkan untuk meningkatkan produksi secara berkelanjutan (mempertahankan kualitas lahan dan lingkungan) dengan menitikberatkan pada pemanfaatan mikroorganisme tanah sebagai pupuk hayati (*bifertilizers*) (Simarmata dan Hindersah, 1999). Lebih lanjut dikemukakan bahwa aplikasi pupuk hayati yang tepat dapat meningkatkan hasil berbagai tanaman dengan signifikan dan menekan pemakaian pupuk buatan.







BAB

2

PRODUKSI JAGUNG DI INDONESIA

Kebutuhan jagung dari tahun ke tahun terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Menurut data Badan Pusat Statistik (2004), penduduk Indonesia telah berjumlah 217.488.533 orang. Bertambahnya jumlah penduduk itu mengakibatkan kebutuhan jagung pun semakin meningkat. Hal itu berkaitan dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap nilai gizi dan keanekaragaman pangan, meningkatnya industri yang menggunakan bahan baku jagung, serta meningkatnya kebutuhan pakan ternak.

A. Problema Swasembada Jagung

Jika ditinjau dari aspek produksi sebenarnya pada saat tertentu swasembada jagung sudah terpenuhi. Namun, karena kontinuitas kebutuhan tidak dapat terpenuhi, terpaksa dilakukan impor walaupun pada saat tertentu pun dilakukan ekspor jagung. Terjadinya ekspor dan impor jagung pada tahun yang sama



disebabkan antara lain oleh hasil panen jagung setiap musim panen yang tidak merata sepanjang tahun. Bahkan, selama tahun 1995–2000 rata-rata impor jagung Indonesia mencapai 895.000 ton per tahun, sedangkan ekspor hanya mencapai 140.000 ton (Budianto, 2002). Jumlah jagung yang diimpor selang waktu tersebut lebih besar dibandingkan dengan jumlah jagung yang dapat diekspor. Hal itu menunjukkan kebutuhan jagung di Indonesia belum dapat terpenuhi oleh produksi dalam negeri.

Rata-rata hasil jagung di Indonesia selama tahun 1990–2002 sebesar 2.4ton/ha yang berarti masih lebih rendah daripada rata-rata potensi kultivar unggul nasional yang berkisar antara 5.2 sampai 10.3 ton/ha (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, 1999) sehingga masih terbuka peluang untuk peningkatan hasil melalui penerapan teknologi budidaya tanaman.

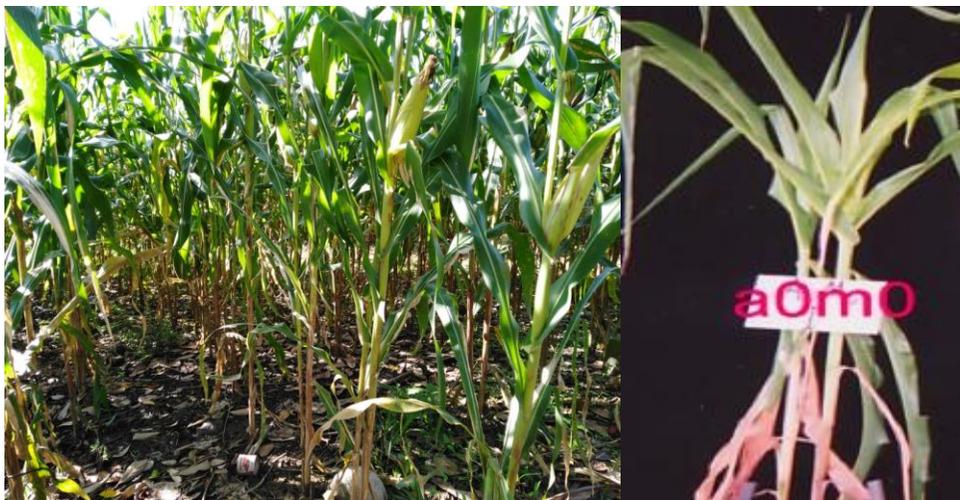
B. Alasan Menurunnya Produksi Jagung

Rendahnya produksi jagung dalam negeri dapat terjadi karena lingkungan tumbuh yang tidak menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kesuburan tanah yang sangat rendah dan terbatasnya ketersediaan air sering menjadi kendala dalam usaha budidaya tanaman jagung di lahan-lahan kering.

Pertumbuhan tanaman di lahan kering dapat mengalami cekaman kekeringan. Hal ini membuat tanaman menderita akibat kehilangan air yang lebih banyak dibandingkan pasokan air yang diterima. Kekurangan pasokan air disebabkan oleh keterbatasan jumlah air yang tersedia di zona akar, sehingga akar tanaman sulit mengabsorpsi air. Kramer (1983) menyatakan bahwa laju transpirasi yang jauh melebihi absorpsi air menyebabkan kandungan air tanaman berkurang, sehingga tekanan turgor dan potensi air di sel-sel daun dan sel-sel jaringan lain mengalami penurunan. Keadaan



tersebut menyebabkan terganggunya proses biokimia, fisiologi, dan anatomi yang dapat mengubah morfologi atau penampakan tanaman.



Gambar 1

Kiri : Tanaman Jagung Segar; Kanan : Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Ditandai dengan Daun Jagung yang Menggulung

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

C. Upaya Peningkatan Produksi Jagung

Memacu peningkatan produksi jagung di dalam negeri dapat ditempuh berbagai cara. Di antaranya perluasan areal penanaman pada lahan kering di daerah penanaman jagung serta peningkatan produktivitasnya.

Upaya peningkatan produksi jagung pada lahan kering marginal dengan tingkat kesuburan rendah dapat dilakukan dengan menanam varietas tanaman yang toleran terhadap kekeringan (Sutoro, dkk., 2001) disertai perbaikan budidaya tanaman dengan menghindari dampak negatif penggunaan pupuk kimia. Penerapan teknologi yang memungkinkan tanaman tumbuh dengan baik tanpa pemakaian air yang berlebihan dari sumber air yang terbatas merupakan tindakan penting dalam pengembangan budidaya jagung di lahan kering. Salah satu terobosan budidaya yang



dapat mengatasi kendala tersebut adalah penggunaan pupuk hayati (*bifertilizers*) dengan memanfaatkan potensi mikroorganisme tanah seperti Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) dan bakteri *Azospirillum sp.*



Gambar 2
Jagung Lokal Gorontalo
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



BAB

3

DAMPAK CEKAMAN KEKERINGAN PADA TANAMAN

Pada musim kemarau tanaman sering mendapatkan cekaman kekeringan karena kurangnya suplai air di daerah perakaran dan atau laju jagung yang mendapatkan cekaman kekeringan biasanya ditandai dengan peristiwa menggulungnya daun, yang mengakibatkan laju asimilasi berkurang (Sutoro, dkk., 1989). Lebih lanjut dikemukakan bahwa cekaman kekeringan dapat mengurangi tinggi tanaman, luas daun, berat tajuk, dan berat akar tanaman jagung dan sorgum.

Miglietta, dkk. (1988) menyatakan bahwa secara umum cekaman kekeringan menyebabkan berkurangnya ukuran tanaman, luas daun, perakaran, dan hasil tanaman karena terganggunya proses pertumbuhan dan terjadinya perubahan pada distribusi asimilat. Beberapa proses fisiologi yang berubah akibat cekaman kekeringan adalah perilaku stomata, fotosintesis, respirasi, partisi fotosintat, transpirasi, pasokan unsur hara, metabolisme karbohidrat,

metabolisme nitrogen, keseimbangan hormonal, dan kandungan klorofil (Kramer, 1983). Berkurangnya kandungan klorofil daun adalah salah satu gejala tanaman yang mengalami proses *senses* (Pell dan Dann, 1991).

Clawson, dkk. (1989) menyatakan bahwa tanaman yang mengalami cekaman kekeringan menunjukkan peningkatan sintesis asam absisat (ABA) pada daun, kemudian ABA menyebabkan ruang antar sel penjaga stomata menyempit sebelum terjadi penutupan stomata.

Menurut Mansfield dan McAinsh (1995), penutupan stomata terjadi sangat cepat sebelum perubahan status air dalam sel-sel daun dapat diukur. Hal itu berkaitan erat dengan sintesis ABA beberapa saat setelah tanaman bersentuhan dengan medium tumbuh yang kering. Sebaliknya, jika tanaman disiram air, kekeringan berkurang dan konsentrasi ABA dalam sel penjaga akan turun, konsentrasi ion K dan tekanan turgor naik kembali, dan stomata membuka yang menyebabkan karbondioksida (CO_2) dapat masuk ke dalam daun sehingga fotosintesis dapat berjalan normal kembali.

Pada dasarnya tanaman mempunyai dua sifat ketahanan terhadap cekaman kekeringan, yaitu toleransi (*drought toleransi*) dan penghindaran (*drought avoidance*). Menurut Haryadi dan Yahya (1988), toleransi terhadap cekaman kekeringan diartikan sebagai kemampuan sel-sel tanaman untuk hidup dan berfungsi secara fisiologis meskipun ada kerusakan jaringan atau berkurangnya potensial air. Penghindaran terhadap cekaman kekeringan menunjukkan kemampuan sel-sel tanaman untuk menjaga tegangan air, baik dengan cara menyerap air dan mengirimkannya ke batang dan daun, maupun mengurangi kehilangan air dengan penutupan stomata atau membentuk lapisan kutikula pada daun.

Dampak kekurangan air selama fase pertumbuhan vegetatif dapat diketahui dengan terbentuknya ukuran daun-daun yang lebih



kecil. Hal ini mengakibatkan penyerapan cahaya pada proses fotosintesis berkurang (Gardner, dkk., 1991).

Penurunan produk bahan kering dapat disebabkan oleh penurunan kandungan klorofil yang terjadi akibat cekaman kekeringan. Pada tanaman gandum, kandungan klorofil daun yang berkurang memiliki hubungan erat dengan peristiwa peningkatan senyawa fenol dan peningkatan aktivitas peroksidase H_2O_2 (hidrogen peroksida). Senyawa fenol ini dapat mendegradasi klorofil sehingga laju *senescens* akan meningkat. Peningkatan aktifitas polifenol oksidase akan mengganggu integritas membran sel dan laju fotosintesis akan menurun drastis (Ashraf, dkk., 1994).

Dampak dari kekeringan yang terlihat sangat jelas adalah layunya daun yang memperlihatkan ketidakmampuan akar untuk mensuplai air yang cukup ke daun. Hal ini disebabkan oleh potensial air di dalam tanah lebih rendah (Passioura, 1994).

Mapegau (1998) melaporkan bahwa kadar sukrosa, protein klorofil daun, kadar air relatif (KAR) dan rasio pupus akar tanaman jagung menurun sejalan dengan ketersediaan kadar air tanah yang menurun. Sebaliknya, kadar asam absisat (ABA) dalam tanaman berbanding terbalik dengan kadar air tanah yang tersedia, sehingga peningkatan ABA sejalan dengan penurunan kadar air tanah tersedia.

Menurut Salisbury dan Ross (1995), pada saat tanaman tercekam kekeringan, ABA menyebabkan stomata menutup dengan cara menghambat kerja pompa proton. Kerja pompa proton membutuhkan ATP pada membran plasma sel penjaga. Pompa proton mengangkut proton keluar dari sel penjaga, menyebabkan terjadinya aliran masuk cepat dan penimbunan K^+ . Kemudian terjadi penyerapan air secara osmotik serta pembukaan stomata. Akan tetapi, ABA yang bekerja di ruang bebas pada permukaan luar membran plasma sel penjaga membatasi masuknya K^+ , sehingga K^+ dan air merembes keluar. Akibatnya, turgor berkurang, dan stomata menutup.



Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa membran plasma yang memberikan respons terhadap penurunan turgor. Hal itu terjadi dengan cara mengangkut Ca^{2+} ke dalam sel dengan laju yang lebih cepat. Ca^{2+} dan fotoinositol berperan dalam mengaktifkan gen yang diperlukan untuk sintesis ABA (Lynch, dkk., 1989, *dikutip* Salisbury dan Ross, 1995).

Selain ABA, asam amino seperti prolin juga menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan asam amino lainnya pada tanaman yang tercekam. Cekaman yang dapat terjadi yaitu cekaman kekeringan, cekaman kelebihan air, dan cekaman garam (salinitas) (Rai, 2002). Yang dan Kao (1999) mengemukakan bahwa prolin yang terakumulasi di dalam sitoplasma berperan memelihara keseimbangan air di antara vakuola, sitoplasma, dan komponen sel lainnya. Selanjutnya Nottle, dkk. (1997) dan Walton, dkk. (1998) menyatakan bahwa prolin juga memiliki fungsi untuk memproteksi denaturasi protein, sebagai sumber energi grup amino. Oleh karena itu, prolin dikenal sebagai salah satu osmoprotektan. Sebagai osmoprotektan, prolin diduga terlibat langsung dalam osmoregulasi yang menjaga kelarutan protein, kestabilan membran fosfolipid, dan sebagai sumber cadangan karbon, nitrogen, dan energi.

Hare dan Cress (1997), menyatakan bahwa prolin tidak hanya berperan sebagai *regulator osmotic*, namun juga sangat berperan dalam metabolisme tanaman. Sedikit peningkatan prolin dapat mengubah keseimbangan redoks dari NADP/NADPH (meningkat pada prolin tinggi), yang diduga sangat berperan pada jalur oksidasi pentosa fosfat. Selain itu, metabolisme prolin berperan pada potensial redoks sel, yang diduga penting untuk proses pemberian isyarat, serta berhubungan dengan toleransi pada cekaman kekeringan maupun pada cekaman lainnya.

Jalur sintesis prolin diatur oleh enzim sintesis dan degradasi prolin. Sintesis prolin diduga berasal dari asam glutamat (*glutamic*



acid) atau ornithin. Namun, sintesis prolin dari asam *glutamate* diduga paling banyak terjadi selama tekanan osmotik atau dalam kondisi nitrogen terbatas (Delauney dan Verna., 1993). Sintesis prolin dari asam glutamat diduga melibatkan 2 enzim, yaitu : *pyrroline-5-carboxylate synthetase* (P5CS), dan Δ' -*pyrroline -5-carboxylate reductase* (P5CR). Sementara biosintesis prolin dengan prekursor berupa ornithin melalui jalur *ornithin*, melibatkan enzim *ornithin- α -aminotransferase* (α -OAT) dan enzim *pyrroline-5-carboxylate reductase*. Yosiba, dkk. (1997) menyatakan konsentrasi prolin diatur oleh jalur degradasi yang melibatkan *proline dehydrogenase* (PDH) dan *pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase* (P5CDH). Lebih lanjut dinyatakan bahwa pada tekanan osmotik (kekeringan), jumlah mRNA untuk P5CS meningkat pada PDH dan menurun pada *Arabidopsis thaliana*. Hal ini mengakibatkan konsentrasi prolin meningkat. Namun, bila diairi kembali (*recovery*) justru terjadi sebaliknya (Peng, dkk., 1996).

Tanaman lebih peka terhadap cekaman kekeringan selama fase reproduksi dibandingkan fase vegetatif (Yusniani dkk., 1999). Hal ini berkaitan dengan mobilisasi asimilatif dari daun ke biji (Khanna Chopra dkk., 1980), yaitu ketika fungsi daun sebagai pemasok fotosintat ke biji terganggu, daun menjadi lebih cepat mengalami *senescens* akibat cekaman tersebut, sehingga mempengaruhi hasil secara drastis (De Souza, dkk., 1997).

Potensi tanaman ditentukan banyaknya biji yang terbentuk. Kekeringan menyebabkan berkurangnya jumlah biji karena proporsi bahan kering yang dihasilkan saat pembungaan berkurang. Rendahnya ketersediaan air pada saat pembungaan menyebabkan bunga menjadi steril, serta bunga dan zigot gugur (Westgate dan Boyer, 1986). Mapegau (1988) menyatakan bahwa kadar air tanah tersedia yang menurun sampai tingkat 50% dan 25%, dapat menurunkan serapan N, P, Ca, dan Mg pada tanaman jagung kultivar Arjuna yang ditanam pada Ultisois, Batanghari Jambi. Selain



itu, bobot biji kering per tanaman menurun dari 31.26g per tanaman pada tingkat 50% kadar air tanah tersedia menjadi 23.65g per tanaman pada tingkat 25% kadar air tanah tersedia turun sebanyak 24.35%.

Efek cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan tanaman terutama terjadi pada fase-fase kritis. Pada tanaman jagung, periode kritis terjadi pada waktu keluarnya bunga jantan (*tasseling*) dan keluarnya bunga betina (*silking*) atau selama stadia pertumbuhan 3.0–6.0, sehingga cekaman kekeringan pada periode tersebut dapat menurunkan hasil secara drastis (Kramer, 1972 ; Baneti dan Wesgate, 1992).

Hasil penelitian Rifin (1990) menunjukkan bahwa cekaman kekeringan pada fase pertumbuhan yang berbeda pengaruh terhadap pertumbuhan, hasil dan komponen hasil serta serapan N, P, dan K tanaman jagung. Lebih lanjut dikemukakan bahwa penurunan hasil jagung yang tertinggi diperoleh jika cekaman kekeringan terjadi pada umur 50–60 hari setelah tanam (hst), yaitu 70%, dan jika cekaman kekeringan terjadi pada umur 60–70 hst, penurunan hasilnya sekitar 68%. Terjadinya penurunan hasil yang sangat besar tersebut, disebabkan pada umur antara 50–70 hst, tanaman berada dalam fase pembungaan dan pembentukan tongkol sampai pengisian biji.

Tanaman yang tercekam kekeringan menunjukkan terjadinya akumulasi prolin. Prolin merupakan salah satu senyawa osmotik pada tanaman. Prolin diakumulasikan pada berbagai jaringan tanaman yang dicekam kekeringan, terutama pada daun. Peningkatan kadar prolin tersebut sangat jelas dibandingkan asam amino lainnya. Pada awal terjadinya cekaman kekeringan, peningkatan kadar prolin relatif lambat dan meningkat cepat setelah tanaman mengalami cekaman lebih lanjut (Grousse, dkk., 1996 ; Yang dan Kao, 1999).

Yoshiba, dkk. (1997) menyatakan bahwa prolin terakumulasi lebih banyak pada tanaman yang lebih toleran terhadap cekaman kekeringan dibandingkan dengan tanaman yang peka. Hal itu



berkaitan dengan peran prolin yang dapat membantu tanaman untuk segera pulih jika diairi kembali (Peng, dkk., 1996).

Pada tanaman yang tercekam kekeringan tampak juga terjadi peningkatan asam absisat (ABA). Menurut Orcutt dan Nilsen (2000), fitohormon seperti sitokinin dan ABA diproduksi dalam akar tanaman dan boleh jadi sebagai pemberi isyarat antara bagian akar dan tajuk (shoots) melalui transport dalam sistem vaskular yang mengontrol pembukaan dan penutupan stomata dalam tanaman sebagai respons terhadap cekaman kekurangan air. Konsentrasi kedua fitohormon tersebut dalam tanaman dapat dipengaruhi oleh level dan sumber nitrogen (NO_3 atau NH_4). Lebih lanjut dinyatakan bahwa perubahan level-level K, P, dan Ca, telah terbukti dapat memengaruhi konsentrasi sitokinin, sedangkan perubahan level-level Zn, K, dan P memengaruhi konsentrasi ABA dalam beberapa tanaman.

Pertumbuhan tanaman sangat peka terhadap cekaman kekeringan. Dalam kondisi demikian, ukuran sel-sel menjadi lebih kecil dan daun menggulung atau mengerut yang mengakibatkan luas daun berkurang. Daun merupakan lokasi terjadinya fotosintesis, sehingga luas yang daun berkurang dapat menurunkan hasil panen (Salisbury dan Ross, 1995).







BAB

4

JENIS MIKROBA SEBAGAI SOLUSI CEKAMAN KEKERINGAN TANAMAN JAGUNG

Melihat dampak cekaman kekeringan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, maka perlu dilakukan upaya pembudidayaan pada tanaman jagung. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan inokulasi (pembiasaan) mikroba rizosfer pada zona akar tanaman. Hal ini bertujuan untuk menghemat pemakaian pupuk anorganik, dapat meningkatkan kualitas lahan, serta meningkatkan ketahanan tanaman jagung pada lahan kering. Menurut Gunarto (2000), pada dasarnya inokulasi mikroba bertujuan untuk meningkatkan populasi mikroba berguna yang efektif. Mikroba tersebut antara lain bakteri *Azospirillum sp.*, dan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA).

Inokulasi *Azospirillum sp.* dan CMA dengan dosis yang berbeda pada tanaman jagung yang mengalami cekaman kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji akan menyebabkan variasi dalam aspek metabolik (kadar prolin, asam absisat (ABA), klorofil), aspek fisiologis (kadar air relatif, rasio pupus akar), kadar hara N, P,

dan K tanaman, dan status hara N, P, serta K dalam tanah yang secara keseluruhan akan berdampak pada keberagaman hasil jagung. Berikut akan dipaparkan spesifikasi dari kedua jenis mikroba.

A. Bakteri *Azospirillum*

Azospirillum adalah mikroorganisme pertama yang berfungsi memfiksasi nitrogen dan mendisimilasi nitrat menjadi gas secara bersamaan (Boddey dan Döbereiner, 1994). Penambatan nitrogen secara hayati merupakan proses alami yang mendukung kehidupan di bumi. Proses ini mengubah N_2 udara menjadi amonia karena adanya enzim nitrogenase. Mikroorganisme yang mempunyai enzim nitrogenase dan mampu menambat nitrogen secara hayati disebut *diazotrof*. Biosintesa enzim nitrogenase pada bakteri *diazotrof endofitik* ditentukan oleh 15-20 gen *nif* (Dean dan Jacobson, 1992).

Bakteri genus *Azospirillum* semula dipilah menjadi 5 spesies, yaitu *A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, dan *A. irakense* (Döbereiner, 1991). Pada saat ini, ada dua spesies tambahan yaitu *A. dobereineriae* dan *A. largimobile* (DSMZ, 2003). Karakteristik dari *Azospirillum lipoferum* tertera pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel. 1 Karakteristik *Azospirillum lipoferum*

Lebar sel (μm)	1.0-1.5
Sel pleomorfik	+
Flagella	MP, L
Kebutuhan biotin	+
Disimilasi :	
$\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$	+
$\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}$	+
Pertumbuhan anaerob tergantung	
NO_3	+
Penggunaan :	
Glukosa	+
Sukrosa & maltose	-
Ketoglutarat	+
pH optimal	5.7 – 6.8

Keterangan : + = ada - = tidak ada MP = monopolar
L = lateral

Sumber : Dobereiner (1991).

Bakteri *Azospirillum* juga digolongkan ke dalam kelompok bakteri *diazotrof endofitik fakultatif*, karena bakteri ini mengandung enzim nitrogenase, sehingga mampu menambat nitrogen secara hayati, dapat hidup dalam jaringan akar, dan mengkolonisasi permukaan akar (James dan Olivares, 1997). Ada empat spesies yang tergolong ke dalam kelompok bakteri itu, yaitu *Azospirillum lipoferum*, *A. amazonense*, *A. brasilense*, dan *A. irakense* (Baldani dkk., 1997).

Menurut Rocha, dkk. (1981), akar tanaman kelompok C4 seperti jagung, sorgum, tanaman rumput-rumputan, dan tanaman lainnya secara khusus dikolonisasi oleh *Azospirillum lipoferum*, sedangkan akar tanaman C-3 seperti gandum, padi, dan oats pada umumnya dikolonisasi oleh *Azospirillum brasilense*.



Asosiasi *Azospirillum* dengan akar tanaman (*rhizocoenoses*) tergantung pada keamatan interaksi mutualisme di antara keduanya. Interaksi itu dapat terjadi dalam rizosfer atau jaringan akar, tetapi tanpa struktur seperti simbiosis *Rhizobium-Legum*. Asosiasi dapat terjadi terutama karena kemampuan spesies itu dalam memanfaatkan eksudat-eksudat akar secara selektif.

Menurut Del Gallo dan Fendrik (1994), proses asosiasi *Azospirillum* pada tanaman diduga terjadi sebagai berikut : (1) Adanya sifat kemotaksis dari bakteri. Kemampuan sensitivitas bakteri itu menyebabkan *Azospirillum* mampu mendeteksi dan tanggap terhadap eksudat akar yang sesuai dengan kebutuhannya. Dengan sifat kemotaksis tersebut bakteri mendekati permukaan akar; (2) bakteri kemudian melekat pada permukaan akar. *Flagella* dan polisakarida bakteri akan saling berikatan (fase pelekatan 1); (3) terjadi pertukaran sinyal antara tanaman dengan bakteri; (4) bakteri memproduksi serat-serat selulosa yang menyebabkan bakteri terikat kuat pada permukaan akar (fase pelekatan 2); (5) asosiasi sudah terjadi secara sempurna. *Azospirillum* memproduksi senyawa yang mendukung pertumbuhan tanaman dan menstimulasi produksi hormon tumbuh endogen di perakaran. *Azospirillum* berada di rizoplan (permukaan akar) dan di dalam jaringan akar tanaman.

Keefektifan asosiasi *Azospirillum*—tanaman tergantung pada ketersediaan nutrisi sumber karbon, nitrogen, dan energi dalam rizosfer tanaman. Martinez-Drets dkk. (1989) mengungkapkan bahwa aktivitas reduksi asetilen oleh *Azospirillum lipoferum* paling baik jika menggunakan glukosa sebagai sumber karbonnya, diikuti oleh malat, fruktosa, suksinat, piruvat, arabinosa, a-ketoglutarat, laktat, galaktosa, mannose, dan mannitol.

Kelompok diazotrof mikroaerob mempunyai situs fiksasi N₂ dalam akar yang belum diketahui persis, tetapi adanya koloni terlokalisasi pada aerenkim akar atau setubung *protoxylem* yang



diselaputi oleh bakteri merupakan contoh situs dengan akses O₂ yang terbatas. Aktivitas mikrobial intensif pada permukaan akar yang mereduksi O₂ dan eksudat-eksudat akar mendorong atraksi kemotaksis berbagai diazotrof ke akar (Dobereiner, 1991).

Berdasarkan pengamatan yang intensif, ada beberapa faktor yang mempengaruhi fiksasi nitrogen pada asosiasi tanaman *Gramineae* dengan *Azospirillum* yang meliputi temperatur maksimum-minimum tanah dan udara, serta kandungan nitrogen dan kelembaban tanah (Boddey dan Döbereiner 1994). Penambatan (fiksasi) N₂ bebas oleh *Azospirillum* dimungkinkan oleh adanya enzim nitrogenase. Pada *A. brasilense* dan *A. lipoferum* enzim tersebut terdiri atas komponen nitrogenase (protein MoFe), denitrogen reduktase (protein Fe) yang inaktif, dan aktivator enzimnya (Song seung dkk., 1985).

Dalam proses fiksasi N₂ diperlukan energi ATP dan pembawa elektron (feredoksin). Marschner (1995) menjelaskan bahwa proses yang terjadi diawali dengan energi ATP dan elektron feredoksin mereduksi protein Fe menjadi reduktan. Setelah itu, reduktan mereduksi protein MoFe yang kemudian mereduksi NI menjadi NH₃ dengan hasil samping berupa gas H₂. Bersamaan dengan itu, terjadi reduksi asetilen menjadi etilen yang dapat digunakan sebagai indikator proses fiksasi N₂ bebas secara biologis.

Untuk mereduksi 1 molekul N₂ diperlukan 15–30 ATP dengan 30–60% dari energi ATP terbuang dalam bentuk gas H₂. Namun, bagi *Azospirillum* autotroph, energi dalam bentuk H₂ dengan bantuan enzim *hydrogenase* dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Enzim tersebut terdapat di dalam sitoplasma dan bersifat peka oksigen (Tibelius dan Knowles, 1984). Menurut Michiels, dkk. (1989), reaksi umum katalis nitrogenase adalah:



Aktivitas nitrogenase dipengaruhi oleh konsentrasi nitrogen dan oksigen lingkungan. Menurut Marschner (1995), di samping karena afinitasnya yang tinggi terhadap amonium, hal itu karena enzim nitrogenase peka terhadap kedua komponen tersebut akibat tidak terdapat pelindung khusus seperti *leghaemoglobin* pada sistem nitrogenase Rhizobium. Namun, pada *A. brasilense* dan *A. lipoferum*, adanya struktur protein Fe "inaktif" dan aktivator enzimnya menyebabkan inhibisi akibat kelebihan amonium itu terjadi secara enzimatik pada masa transisi sebelum nitrogenase benar-benar terhambat (Hartman dkk., 1986).

Konsentrasi nitrit yang berlebihan dapat menghambat aktivitas nitrogenase secara permanen. Tibelius dan Knowles (1984) mengemukakan bahwa nitrit dapat membentuk kompleks dengan Fe pada sistem protein Fe-S sehingga enzim hidrogenase menjadi inaktif dan aktivitasnya terhambat.

Konsentrasi oksigen juga mempengaruhi fiksasi nitrogen oleh *Azospirillum*. Enzim nitrogenase dari bakteri itu sangat sensitif terhadap oksigen, tetapi oksigen sangat diperlukan untuk pembentukan ATP. Hal itu merupakan problema umum bagi semua bakteri yang memfiksasi nitrogen bersifat aerob. Meskipun demikian, sebagian besar dari bakteri tersebut dapat berkembang secara efisien dengan mekanisme pembatasan oksigen. Pembatasan oksigen dilakukan dengan cara mengeluarkan oksigen dari daerah fiksasi nitrogen (Okon, 1985). Untuk memberikan kondisi mikroaerofilik pada situs enzim, konsumsi O₂ yang berlebihan akan diimbangi dengan respirasi yang berlebihan juga (Marschner, 1995).

Dalam keadaan oksigen sangat kurang (mikroaerofil), secara kukuh bakteri itu dapat berkembang, Konsentrasi oksigen terlarut optimum untuk fiksasi N oleh *Azospirillum* berkisar antara 0.1–0.5kPa oksigen (Hartmann dan Zimmer, 1994).

Faktor lain yang juga berimplikasi terhadap pengaturan cepat nitrogenase in vivo adalah rasio MgADP/MgATP, level oksigen terlarut, atau potensial membran. Berdasarkan studi nitrogenase yang telah dimurnikan, aktivitas enzim nitrogenase sangat memerlukan ATP dan dihambat oleh ADP. Dengan demikian, sangat logis jika rasio MgADP/MgATP in vivo berperan dalam sistem kontrol aktivitas nitrogenase.

Tingkat penghambatan aktivitas nitrogenase oleh rasio ADP/ATP tergantung pada level Mg^{2+} . Level Mg^{2+} mengontrol tingkat kekuatan membran. Apabila kekuatan membran menurun, maka akan menghasilkan pelepasan (efflux) Mg^{2+} dan penghambatan aktivitas nitrogenase yang disebabkan oleh rasio MgADP/MgATP yang meningkat.

Pada saat input oksigen tinggi, rasio ATP/ADP dan kekuatan membran maksimal, namun enzim nitrogenase mengalami inaktivasi (Eady, 1981). Protein Fe dan protein FeMo dari enzim nitrogenase mengalami denaturasi secara oksidatif oleh oksigen (Salisbury dan Ross: 1995).

Menurut Hartmann, dkk. (1986), ADP-ribose berperan dalam regulasi enzim nitrogenase (*reversible*). Mekanisme itu melibatkan dua macam enzim, yaitu *dinitrogenase reductase activating ADP-ribosyltransferase* (DRAT) dan *dinitrogenase reductase activating glycohydrolase* (DRAG). DRAT mengkatalis transfer ADP-ribose dari NAD ke sebuah residu arginin dari satu subunit dinitrogenase reduktase dimer sehingga menyebabkan protein-Fe inaktif. DRAG menghidrolisis ADP-ribose dari subunit dinitrogenase reduktase dimer sehingga protein-Fe aktif kembali.

Tanaman yang berasosiasi dengan *Azospirillum* akan memperoleh banyak keuntungan, antara lain: (1) adanya suplai amonia (NH_3) dalam jumlah yang tidak berlebihan atau sesuai dengan kebutuhan secara terus-menerus, memungkinkan efek negatif



pemberian pupuk buatan takaran tinggi, atau defisiensi akibat rendahnya takaran, atau pencucian dapat dihindarkan; (2) adanya produksi hormon tumbuh seperti auksin dan giberelin pada kondisi tertentu; (3) adanya vitamin berupa tiamin, niasin dan pantotenik (Rodelas dkk., 1993) yang bersama-sama dengan hormon tumbuh berfungsi sebagai pemacu pertumbuhan dan produksi tanaman; dan (4) bakteriosin yang berfungsi melindungi tanaman dari serangan bakteri (Michiels dkk., 1989).

Imas, dkk. (1989) menyatakan bahwa nitrogen yang disumbangkan *Azospirillum* pada tanaman, diukur dari kemampuan *Azospirillum* dalam memfiksasi N_2 , berkisar antara 0.002–1.1kg N_2 /ha per musim. Sementara Hanafiah (2001) melaporkan bahwa sumbangan *Azospirillum brasilense* yang diinokulasikan pada tanaman padi sawah tadah hujan sebesar 1.41–8.87mg N_2 per tanaman.

Auksin dihasilkan pada akhir stasioner pertumbuhan *Azospirillum* yang terbentuk secara nyata jika ditambahkan triptofan ke dalam mediumnya (Baca, dkk., 1994). Dalam hal itu, *A. brasilense* memproduksi auksin lebih banyak dibanding *A. lipoferum* (Esparza-Mascarus, 1988). Menurut Malik, dkk. (1997), strain bakteri *Azospirillum lipoferum* N-4 mampu memproduksi auksin (IAA) sebesar 6.3 μ g m/L, sedangkan *Azospirillum brasiliense* Wb-3 sebesar 16.1 μ g m/L. Auksin itu berfungsi memacu pembentukan akar dan rambut-rambut akar sehingga dapat memperluas daerah serapan hara dan air (Hadas dan Okon, 1987). Giberelin terbentuk jika *A. brasiliense* berasosiasi dengan *Trichoderma harzianum* dan substratnya mengandung senyawa pembentuk giberelin (Jansen, dkk., 1992).

Keberadaan *Azospirillum sp.* pada akar tanaman dapat meningkatkan luas permukaan akar karena jumlah akar rambutnya meningkat yang disebabkan oleh penambahan konsentrasi asam indol asetat (IAA) dan asam indol butirat (IBA) bebas di daerah perakaran (Fallik, dkk., 1988a), memperbesar respirasi dan aktivitas



enzim metabolisme pada akar kecambah tanaman jagung (Fallik, dkk., 1988b), serta peningkatan serapan hara (Okon, dan Kalpunik 1986). *Azospirillum sp.* juga dapat meningkatkan pengambilan N, P, K, dan unsur mikro, status air tanaman, penimbunan bahan kering, dan hasil biji jagung (Cosico, dkk., 1991).

B. Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA)

Mikoriza merupakan struktur yang terbentuk karena simbiosis mutualisme (asosiasi nonpatogenik) antara cendawan tanah dengan akar tanaman. Dalam simbiosis itu, tanaman inang memperoleh hara dengan bantuan cendawan, sedangkan cendawan mendapatkan fotosintat dari inang (Sieverding, 1991; Brundrett dkk, 1994). Lebih dari 90% tumbuhan yang ada di muka bumi berasosiasi dengan cendawan pembentuk mikoriza. Namun ada beberapa jenis tanaman yang tidak membentuk mikoriza, misalnya famili *Cyperaceae*, *Brassicaceae*, dan *Chenopodiaceae* (Vierheilig dkk.,2003).

Brundrett dkk, (1996) menyatakan bahwa saat ini dikenal paling sedikit tujuh tipe mikoriza, yaitu mikoriza arbuskula, mikoriza ekto, mikoriza ektendo, mikoriza arbutoid, mikoriza monotropoid, mikoriza orchid. Tipe-tipe mikoriza tersebut dikelompokkan berdasarkan keterlibatan cendawan dengan tanaman inang serta struktur morfologi mikoriza yang terbentuk.

Mikoriza arbuskula merupakan penamaan terbaru (Hodge, 2000), sebelumnya dikenal dengan mikoriza vesikula arbuskula atau cendawan mikoriza arbuskula (CMA) (Sieverding, 1991). Menurut Hodge (2000), terdapat beberapa genus cendawan pembentuk mikoriza yang tidak menghasilkan vesikula seperti pada *Gigaspora* dan *Scutelospora*, sehingga penamaan yang lebih diterima adalah mikoriza arbuskula. Arbuskula merupakan struktur hifa yang bercabang-cabang secara intensif di dalam sel korteks akar. Arbuskula dibentuk oleh semua jenis cendawan pembentuk mikoriza



arbuskula. Bentuk yang bercabang-cabang pada arbuskula akan menghasilkan luas permukaan yang besar dan berperan dalam pertukaran hara dan makanan antara tanaman inang dengan cendawan (Sieverding, 1991). Oleh karena itu, arbuskula sering dianggap sebagai perwujudan dari terjadinya simbiosis mutualisme.

Mikoriza arbuskula merupakan mikoriza yang tersebar luas. Sekitar 80% jenis tumbuhan yang ada di muka bumi membentuk mikoriza arbuskula, dan sisanya membentuk tipe mikoriza ekto dan mikoriza yang lainnya (Madan dkk., 2002).

Berdasarkan taksonomi dahulu (Morton, 1988; Sieverding, 1991; Smith dan Read, 1997), cendawan mikoriza arbuskula (CMA) termasuk ke dalam kelas *Zygomycetes* dengan ordo *Glomales*. Ordo itu dikelompokkan dalam dua subordo yaitu *Glomineae* dan *Gigasporineae*. Subordo *Glomineae* terdiri atas dua famili, yaitu *Glomaceae* dan *Acaulosporaceae* yang masing-masing memiliki dua genus. *Glomaceae* mencakup genus *Glornus* dan *Sclerocystis*, sedangkan famili *Acaulosporaceae* terdiri atas genus *Acaulospora* dan *Entrophospora*. Keempat genus itu dapat berasosiasi dengan akar tanaman sehingga membentuk arbuskula dan vesikula.

Vesikula merupakan bentuk pembengkakan hifa yang terdapat di dalam dan antara gel-sel korteks. Vesikula berbentuk seperti kantong yang terbentuk pada ujung hifa. Dalam subordo *Gigasporineae* hanya ada satu famili yaitu *Gigasporaceae*, dengan dua genus, yaitu *Gigaspora* dan *Scutellospora*. Kedua genus itu dapat berasosiasi dengan akar tanaman, namun hanya membentuk arbuskula, tidak membentuk vesikula.

Saat ini cendawan mikoriza arbuskula (CMA) atau mikoriza arbuskula tersebut termasuk ke dalam Divisi *Glomeromycota* dan ditemukan hampir pada setiap habitat di daerah tropik dan subtropik. Cendawan pembentuk tipe mikoriza berasal dari ordo *Glomales* sehingga disebut pula cendawan kelompok glomalean. Saat



ini terdapat sekitar 150 jenis CMA dari lima genus yang dikenal membentuk mikoriza arbuskula yaitu: *Glomus*, *Gigaspora*, *Scutelospora*, *Acaulospora*, dan *Entrophospora*. Genus *Sclerocystis* yang dahulu termasuk dalam family Glomaceae, terbukti tidak membentuk mikoriza arbuskula (Walker dan Schüßler, 2002). Fagbola, dkk. (2001) menyatakan bahwa terdapat dua genus baru yaitu *Paraglomus* dan *Archaeospora* yang juga termasuk dalam kelompok cendawan glomalean.

Salah satu spesies yang banyak berasosiasi dengan tanaman jagung adalah *Glomus manihotis* (Soenartiningasih dkk., 1999). Menurut Walker dan Schüßler (2002), karakteristik dari *Glomus manihotis* seperti tertera pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Karakteristik *Glomus manihotis*

Warna	Putih hingga coklat kekuningan (0-10-60-0), dengan beberapa kuning muda (0-0-20-0) hingga coklat muda (0-10-20-0).
Bentuk	Globus, subglobus, elips, oblong, irregular
Ukuran spora	100-260, rata-rata 182 (um)
Dinding spora	3 Lapis (L1, L2, L3); <ol style="list-style-type: none"> 1. L1 <i>mucilaginous</i>, sering mengelupas, 10-4,7 um ; merah – merah muda (20-80-40-0) dalam larutan Melzer's. 2. L2 permanen, <i>hyaline</i>; 9 – 14,5um, mempunyai beberapa sublapisan, muda pecah pada larutan PVLG dan Melzer's. 3. L3permanen, 2-4 sublapis; kuning (0-0-40-0) hingga kuning tua (0-10-60-0); 1.2 – 3.5um.
Struktur	Silendris hingga melebar, 18-24 um.
Kedudukan hifa	
Struktur dinding hifa	3 lapis (L1, L2, L3)

Sumber : Walker dan Schüßler (2002).

Struktur utama yang terbentuk dari adanya asosiasi CMA dengan tanaman adalah spora, hifa, vesikula, dan arbuskula yang ada



dalam tanah dan/atau di akar tanaman inang. Spora kebanyakan dihasilkan oleh sistem miselia CMA yang terdapat di dalam tanah. Selain itu, spora juga dapat ditemui di dalam akar tanaman inang seperti spora dari jenis *Glomus manihotis* dan *Glomus mossae*. Pada umumnya spora terbentuk di ujung hifa eksternal dan mampu hidup dalam tanah selama beberapa bulan bahkan beberapa tahun, sehingga spora penting untuk bertahan hidup dan penyebaran CMA (Nakano dkk., 2001).

Vierheilig, dkk. (2003) menyatakan bahwa mikoriza akan terbentuk jika tanaman inang sudah ada pada saat spora berkecambah. Apabila tanaman inang belum ada, maka tabung perkecambahan yang biasanya muncul pada spora akan terhenti pertumbuhannya, atau bahkan mati. Simbiosis dimulai dengan adanya kontak antara sel akar dengan sel CMA. Fase kontak dimulai dengan polarisasi pertumbuhan hifa cendawan terhadap akar, pertumbuhan cabang-cabang baru dan akhirnya membentuk apresorium (struktur infeksi). Apresorium merupakan struktur khusus hifa yang penting dalam pengenalan dengan set inang dan dapat memelihara kelangsungan hidup CMA.

Sieverding (1991), menyatakan bahwa perkecambahan spora dan pertumbuhan awal dari tabung perkecambahan di dalam tanah, sangat ditentukan oleh keadaan lingkungan dalam tanah seperti kadar air tanah, pH tanah, dan kandungan hara. Secara umum, penetrasi cendawan ke dalam akar adalah melalui sel epidermis dan membentuk apresorium pada bagian sel pertama (sel terluar). Apresorium masuk melalui celah antara sel epidermis dan kemudian membentuk hifa intraseluler dan interseluler. Setelah proses penetrasi terjadi, tidak lama kemudian terbentuk arbuskula dan/atau vesikula.

Secara fisik peran CMA bagi tanaman inangnya adalah memperbesar areal serapan bulu-bulu akar melalui pembentukan miselium di sekeliling akar. Menurut Sieverding (1991), volume tanah



yang dijelajah oleh 1 cm akar tanaman tanpa CMA hanya sekitar 1–2 cm³, sedangkan 1cm akar tanaman ber-CMA dapat menjelajahi 12–15cm³ (6–15 kali).

Menurut Mosse (1981), Sieverding (1991), dan Abbott, dkk. (1992), pembesaran volume jelajah akar bermikoriza memberikan beberapa keuntungan bagi tanaman tanaman, meliputi : (1) peningkatan daya serap air dan hara terutama yang relatif imobil seperti P, Cu, dan Zn, serta yang relatif mobil seperti K, S, NH⁴⁺, dan Mo; (2) penurunan stres tanaman akibat infeksi patogen akar, kondisi tanah bergaram, kelembaban tanah yang rendah, temperatur tanah yang tinggi, serta faktor-taktor merugikan lainnya; (3) peningkatan toleransi tanaman terhadap defisiensi hara pada tanah tidak subur dan terhadap kemasaman serta toksisitas Al, Fe, dan Mn pada tanah masam; (4) peningkatan serapan dan toleransi tanaman terhadap toksisitas Zn (Thompson, 1994); (5) perangsangan laju fotosintesis dan transportasi fotosintat ke akar, produksi hormon seperti IAA (asam indol asetat), sitokinin, giberelin, dan eksudasi asam-asam organik dari akar, serta permeabilitas membran terhadap lintasan hara (Abbott, dkk.,1992) (Gianinazzi-Pearson dan Gianinazzi, 1984); (6) percepatan fase pertumbuhan sehingga waktu berbunga dan panen dipercepat, serta peningkatan daya tahan tanaman pada awal pertumbuhan (Linderman dan Hendrix, 1984); dan (7) berperan penting dalam agregasi tanah sehingga dapat mengurangi erosi/pencucian hara tanah (Sieverding, 1991).

Untuk tanaman yang tumbuh di daerah kering, keberadaan CMA menguntungkan karena dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan bertahan pada kondisi kekurangan air. Rusaknya jaringan korteks akibat kekurangan air dan matinya akar tidak permanen dapat memengaruhi akar bermikoriza. Setelah periode kekurangan air, akar bermikoriza akan cepat kembali normal. Hal itu berlangsung karena hifa cendawan mampu menyerap air



yang ada pada pori tanah saat akar tanaman tidak mampu lagi menyerap air yang ada pada pori tanah saat akar tanaman tidak mampu lagi menyerap air. Penyebaran hifa yang sangat luas di dalam tanah menyebabkan jumlah air yang diambil meningkat (Osonubi, dkk., 1991). Pengaruh tidak langsung CMA pada ketahanan tanaman terhadap kekeringan adalah melalui perbaikan penyediaan P (Sieverding, 1991) dan K yang diketahui berperan penting dalam pengaturan air pada tanaman (Mengel dan Kirkby, 1980).

C. Efek Interaksi antara *Azospirillum* dengan CMA

Efek interaksi antara CMA dengan *Azospirillum* dapat dilihat dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Negi, dkk. (1990) mengenai tanaman *barley* pada tanah Aluvial. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik pada kondisi tanpa pupuk N dan/atau pupuk P, maupun tanpa pupuk tersebut, menghasilkan peningkatan populasi *Azospirillum brasilense*, bobot akar, jerami, dan biji, serapan N dan P, serta jumlah N_2 . Nitrogen (N) ini kemudian difiksasi akibat interaksi *Glomus versiforme* dan *Azospirillum brasilense* selalu jauh lebih besar dibandingkan dengan *Glomus versiforme* saja atau dipupuk N dan I atau P saja. Produksi yang diperoleh pada perlakuan kontrol (tanpa inokulasi dan tanpa pupuk) sebesar 7.32g biji per tanaman, kemudian jika dipupuk NP naik 10%, setelah diinokulasi dengan *Glomus versiforme* naik 33%, dan jika diinokulasi dengan keduanya (*Glomus versiforme* dan *Azospirillum brasilense*) naik 82%.

Di Indonesia penelitian Hanafiah (2001) mengenai tanaman padi sawah tadah hujan pada tanah Latosol Bogor menunjukkan bahwa inokulasi ganda *A. brasilense* dan CMA berhasil meningkatkan efektivitas pemupukan (50% N + 65% P) menjadi menyamai atau melebihi pengaruh pemupukan NP (100 % N + 100 % P) terhadap hampir semua peubah ketersediaan dan serapan P, fiksasi dan serapan N, pertumbuhan dan produksi padi sawah tadah hujan.



Dalam meningkatkan keefektifan pemupukan NP, inokulasi ganda (*Azospirillum brasilense* + CMA) lebih baik dibandingkan dengan inokulan tunggal (*Azospirillum brasilense* saja atau CMA saja).

Interaksi yang terjadi antara *Azospirillum* dan CMA secara nyata mampu meningkatkan secara sinergistik persentase infeksi akar oleh CMA, fiksasi N secara hayati, kadar air relatif daun, kadar prolin, bobot kering pupus, bobot kering akar dan mampu menurunkan secara sinergis kadar ABA pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji sehingga mampu meningkatkan hasil jagung pipilan kering.

Mekanisme interaksi yang terjadi pada tanaman jagung yang berasosiasi dengan *Azospirillum* dan CMA adalah sebagai berikut. Secara fisik CMA memperbesar areal serapan bulu-bulu akar melalui pembentukan miselium di sekeliling akar, keberadaan *Azospirillum* yang dapat melekat pada permukaan akar atau membentuk koloni dalam korteks akar akan membantu meningkatkan pertumbuhan rambut akar dan luas permukaan akar. Hal itu terjadi karena *Azospirillum* dan CMA mampu mengekskresikan hormon tumbuh, yaitu asam indolasetat (IAA) (Gunarto, 1995; Gianinazzi-Pearson dan Gianinazzi, 1984). Adanya asosiasi dengan mikroorganisme tersebut menyebabkan jumlah akar yang dapat dikolonisasi oleh CMA akan lebih meningkat sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan persentase infeksi akar oleh CMA (tabel 6).

Sebaliknya, adanya CMA pada asosiasi mikroorganisme dengan tanaman dapat membantu pertumbuhan bakteri *Azospirillum* untuk memfiksasi N pada tanah yang kadar P tersedianya rendah (Donahue, dkk., 1983). Hal itu terjadi karena CMA dapat meningkatkan ketersediaan P dalam tanah dan penyerapan P bagi tanaman dengan cara mengekskresikan enzim fosfatase dan asam-asam organik sehingga P yang terikat oleh liat atau ion Fe dan Al yang banyak terdapat pada tanah masam terlepas sehingga dapat diserap



tanaman (Fakuara, 1994) dan fosfor juga dimanfaatkan bakteri *Azospirillum* sebagai sumber energi (ATP) yang diperlukan untuk memfiksasi nitrogen secara hayati (Marschner, 1995).





BAB

5

**PERSIAPAN PERCOBAAN MIKROBA
PADA TANAMAN JAGUNG**

Dalam proses pemberian *Azospirillum* sp. dan CMA terhadap tanaman jagung, dibutuhkan beberapa alat dan bahan. Selain itu, dibutuhkan rancangan percobaan yang akan dilakukan.

A. Alat dan Bahan

1. Benih jagung kultivar Bayu dengan daya kecambah 97%
2. Tanah Inseptisol sebagai medium tumbuh yang diambil secara komposit pada kedalaman
3. Isolate CMA (*Glomus manihotis*) dalam bentuk propagul cair sebagai inokulum dengan dosis dan kepadatan sejumlah faktor perlakuan percobaan
4. *Azospirillum* sp. dalam bentuk medium cair sebagai inokulum dengan dosis dan kepadatan sejumlah faktor perlakuan percobaan

5. Pupuk N (Nitrogen) dengan dosis 30 kg/ha atau setara dengan pemberian pupuk urea (46% N) sebanyak 65.2kg/ha
6. Pupuk P (Fosfor) dengan dosis 7.5kg/ha atau setara pemberian pupuk SP-36 (15.03% P) sebanyak 50kg/ha
7. Pupuk K (Kalium) dengan dosis 50kg/ha setara dengan pemberian pupuk KCl (41.5% K) sebanyak 100kg/ha

B. Rancangan Percobaan

Tahap awal percobaan pemberian *Azospirillum sp.* dan CMA (*Glomus manihotis*) pada tanaman jagung diawali dengan proses pengolahan tanah yang akan digunakan sebagai medium tumbuh. Tanah dibersihkan dari sisa-sisa akar dan gulma yang tertinggal dan dibagi menjadi beberapa petak. Dalam percobaan ini, masing-masing petak berukuran 3 m x 1 m dan diberi jarak masing-masing petak 1 m. Terdapat saluran drainase yang dibuat mengelilingi petak percobaan dengan kedalaman 30 cm dan lebar 50 cm.

Sebelum ditanam, benih jagung disterilkan dengan senyawa HgCl₂ (merkuri klorida) dengan konsentrasi 0.1% selama 10 menit. Setelah itu benih dicuci dengan air steril sebanyak 5 kali. Selanjutnya, benih jagung ditanam dengan kedalaman lubang 5cm. setiap lubang diisi dengan 3 butir benih jagung. Jarak tanam yang digunakan 50cm x 20cm sehingga pada setiap petak percobaan terdapat 30 lubang tanam.

Pemberian pupuk N (urea), pupuk P (SP-36), dan pupuk K (KCl) dilakukan pada saat jagung ditanam. Pupuk diberikan dalam larikan yang dibuat dengan cangkul di sisi sebelah kiri dan kanan lubang yang ditanami benih jagung. Jarak larikan pupuk dengan lubang tanam adalah sekitar 25cm dengan kedalaman pupuk 5cm. Dalam 1 petak dibuat 5 larikan. Jumlah masing-masing pupuk yang diberikan adalah pupuk N sebanyak 4.2g per larikan urea, pupuk P sebanyak 3g per larikan SP-36, dan pupuk K sebanyak 6g per larikan KCl.



Proses pertumbuhan tanaman jagung yang diberi *Azospirillum sp.* dan CMA (*Glomus manihotis*) dilakukan di dua lokasi, yaitu rumah kaca dan lapangan. Sebelum diberikan pada tanaman jagung, masing-masing *Azospirillum sp.* dan CMA (*Glomus manihotis*) dibedakan menjadi empat taraf dosis. Setiap dosis *Azospirillum sp.* dikombinasikan dengan setiap dosis CMA (*Glomus manihotis*), sehingga diperoleh enam belas kombinasi *Azospirillum sp.* dan CMA (*Glomus manihotis*) yang diberikan kepada tanaman jagung.

Pemberian inokulasi *Azospirillum sp.* dilakukan dengan menyemprotkan inokulum ke dalam lubang tanam di sekitar benih jagung sesuai dengan dosis perlakuan. Sementara inokulum CMA diberikan di bawah benih jagung pada saat tanam, yang juga disesuaikan dengan dosis perlakuan. Selain perlakuan tersebut, juga dilakukan perlakuan kontrol pada percobaan lapangan. Pada perlakuan kontrol, hanya diberikan inokulum CMA sebanyak 56.25g per tanaman yang telah disterilkan dengan autoklaf. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh nutrisi pada medium inokulum.

Apabila benih tidak tumbuh, dilakukan penyulaman pada lubang tanam sekitar 7 hari setelah tanam. Tanaman yang tumbuh dijarangkan pada umur 2 minggu setelah tanam, sehingga yang tersisa hanya tinggal dua tanaman. Cara untuk menjaga agar unsur hara yang diserap tanaman (yang akan dihilangkan) tidak terbang, maka tanaman tersebut ditanam kembali ke dalam tanah.

Proses menyiangi dan membumbun tanaman dilakukan sebanyak 3 kali. Proses tersebut dilakukan pada saat tanaman berumur 15 hari setelah tanam (hst), 30 hst, dan 45 hst.

Hama dan penyakit yang muncul selama proses pertumbuhan tanaman, dikendalikan dengan menggunakan Decis 2.5 EC dengan konsentrasi 25g/L. Decis 2.5 EC merupakan insektisida yang berfungsi untuk menghindarkan tanaman dari serangan belalang (*Locusta migratoria*). Selain itu, insektisida Matador 25 EC dengan konsentrasi



25g/L juga digunakan untuk membasmi ulat grayak (*Spodoptera Maurita*). Sementara tanaman yang terserang penyakit bulai, dicabut dan dibakar.

Selama proses pertumbuhan tanaman, hanya dilakukan 1 kali penyiraman yaitu tepat setelah penanaman benih. Setelah itu tidak dilakukan penyiraman lagi sampai panen.

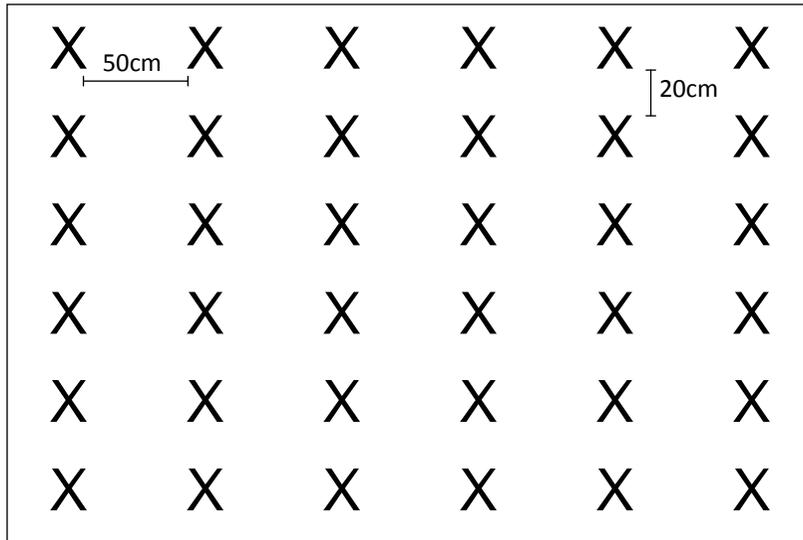
Untuk menjadikan kondisi kekeringan di lapangan, dibuatkan rumah plastik dengan ukuran panjang 26m, lebar 12m, dan tinggi 4m. Tanaman percobaan ditutupi dengan rumah plastik selama 12 hari, yaitu pada umur 51 hst sampai 63 hst atau yang disebut sebagai fase pembungaan sampai pengisian biji.

Kadar air tanah selama proses pertumbuhan tanaman diukur menggunakan alat pengukur kadar air tanah *Bouyoucos moisture* meter. Kadar air tanah yang diukur dibandingkan dengan kelembaban tanah. Alat pengukur kelembaban tanah yang digunakan adalah *soil tester*.

Tahap panen dilakukan pada saat tongkol jagung telah berwarna coklat dan kering (matang fisiologis) dan daun telah menguning yaitu sekitar 95 hst. Selanjutnya, biji jagung dikeringkan sampai kadar air sekitar 14% yang diukur menggunakan *grainer*. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan komponen hasil.



C. Petak Pengambilan Sampel Percobaan Lapangan

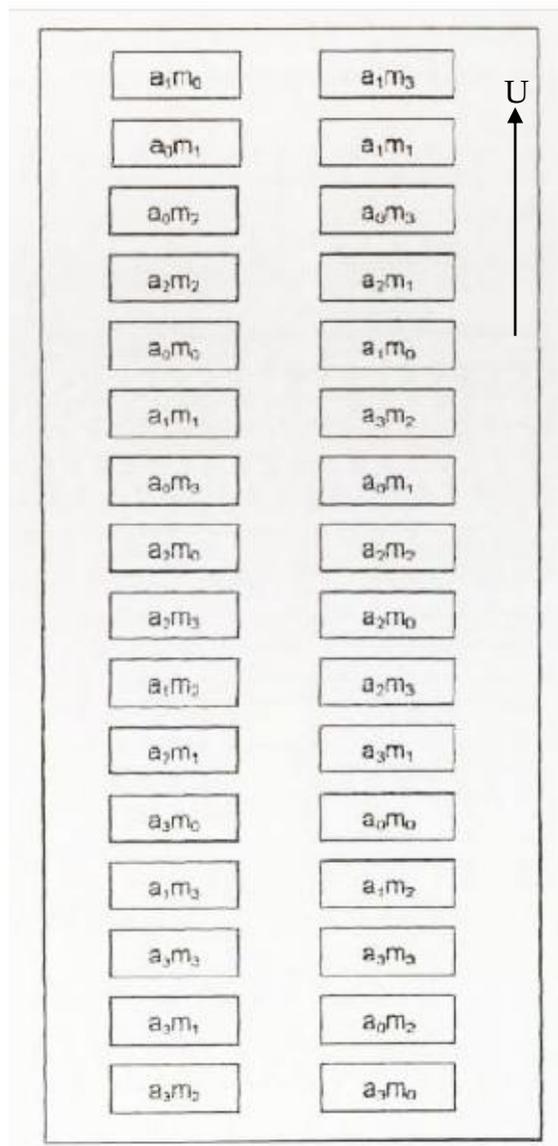


Gambar 3
Petak Pengambilan Sampel pada Percobaan Lapangan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Jarak vertikal antar pot adalah 20cm dan jarak horizontal antar pot adalah 50cm. Luas satu petak percobaan $3 \times 1 \text{ m}^2$, semua petak terdapat dalam areal seluas $9 \times 9.5 \text{ m}^2$. Luas petak sampel hasil $2 \times 0.6 \text{ m}^2$.

D. Tata Letak Perlakuan pada Percobaan Rumah Kaca

Ulangan I Ulangan II



Gambar 4

Tata Letak Perlakuan pada Percobaan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Keterangan:

Percobaan pot:

a_0, a_1, a_2, a_3 = inokulan *Azospirillum* 0, 0.5, 1.0, 1.5 ml per tanaman

m_0, m_1, m_2, m_3 = inokulan CMA 0, 12.5, 25.0, 37.5 g per tanaman



Percobaan lapangan:

a_0, a_1, a_2, a_3 = inokulan *Azospirillum* 0, 0.3, 0.6, 0.9 ml per tanaman

m_0, m_1, m_2, m_3 = inokulan CMA 0, 18.75, 37.50, 56.25 g per tanaman

E. Jumlah Pot Setiap Perlakuan pada Percobaan Rumah Kaca

X	0	A1	A
---	---	----	---

Keterangan:

X = pot untuk pengamatan variabel respons sesuai dengan kombinasi

perlakuan yang diamati saat akhir cekaman kekeringan

0 = pot untuk komponen hasil sesuai dengan kombinasi perlakuan

A1 = pot dengan tanaman, sebagai faktor koreksi

A = pot tanpa tanaman, sebagai faktor koreksi

Untuk setiap kombinasi perlakuan digunakan 2 pot, yaitu 1 pot untuk pengamatan variabel respons yang diamati saat akhir cekaman kekeringan yaitu kadar air relatif daun, kadar klorofil daun, kadar prolin, kadar ABA, fiksasi N, infeksi akar, kadar unsur hara tanaman, kadar unsur hara tanah, bobot kering tanaman, bobot kering akar, dan rasio pupus akar. Sementara 1 pot lainnya untuk pengamatan variabel komponen hasil berupa diameter tongkol, panjang tongkol, jumlah biji per tongkol, bobot 25 biji, dan hasil biji (bobot pipilan kering jagung). Untuk percobaan pot di rumah kaca, dibutuhkan areal seluas 5 x 5 m.

F. Prosedur-Prosedur Penting dalam Percobaan

Beberapa prosedur-prosedur yang perlu dilakukan selama proses percobaan antara lain.



1. Cara Pengukuran Kadar Klorofil Daun

(Witham, et al., 1986)

- a. Daun segar 1g diletakkan di atas mortar bersih, ditambahkan tiga tetes aseton, kemudian ditumbuk sampai halus. Setelah halus, ditambahkan 40ml aseton 80%.
- b. Ekstrak berwarna hijau dipindahkan ke dalam corong Buchner yang berisi alas kertas saring Whatman nomor 1. Untuk mempercepat proses penyaringan, digunakan alat hisap.
- c. Sisa daun yang belum hancur pada kertas saring dipindahkan ke dalam mortar dan ditumbuk kembali. Kemudian ditambahkan aseton 80% sebanyak 30ml dan disaring kembali.
- d. Mortar dan penumbuk dibilas dengan 30ml aseton 80% untuk mengangkat sisa-sisa klorofil, kemudian dimasukkan ke dalam corong Buchner.
- e. Dari sisi tangan labu hisap, ekstrak dipindahkan ke dalam labu ukur 100ml, kemudian ditambahkan aseton sampai 100ml.
- f. Untuk menentukan kandungan klorofil, aseton 80% dimasukkan ke dalam kuvet dan digunakan sebagai pembanding pada pengukuran kandungan klorofil dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 652nm. Kuvet berisi aseton tanpa klorofil dimasukkan ke dalam spektrofotometer dan dilakukan kalibrasi, kemudian kuvet lain berisi ekstrak klorofil yang akan diukur diangkat dan dimasukkan. Masing-masing ekstrak diukur dua kali.
- g. Angka absorbat yang diperoleh dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$\text{Klorofil mg/g daun segar} = \frac{D_{652} \times 1000}{34,5} \times \frac{V}{1000 \times W}$$



Keterangan:

D652 = kerapatan optik ekstrak pada panjang gelombang
652nm

V = volume akhir ekstrak

W = bobot segar daun yang diekstrak

2. Cara Penetapan Kadar Prolin

(Balai Penelitian Pasca Panen Pertanian, Bogor, 2003)

Pereaksi:

- a. Asam sulfosalisilat 3%
- b. Asam ninhidrine (1.25g ninhidrine + 30ml CH₃COOH + 20ml H₃PO₄ 6 N)
- c. Asam asetat glasial
- d. Toluene

Cara kerja:

- a. 2g contoh + asam sulfosalisilat 3%, dikocok (10–20 menit), disaring dengan Whatman 41–40
- b. 2ml hasil saringan diencerkan selama 20 menit (10x)
- c. 2ml contoh hasil pengenceran + 2ml asam ninhidrine + 2ml asam asetat glasial, dipanaskan dalam *water bath* selama 60 menit kemudian didinginkan dalam es, ditambahkan 4ml toluene dan dikocok, kemudian dibiarkan fase toluene terpisah
- d. Diperiksa menggunakan spektrofotometer dengan Panjang gelombang 520nm, dan untuk toluene dengan blanko

3. Cara Perhitungan Infeksi Akar oleh CMA

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

a. Cara pewarnaan akar

- 1) Akar dibersihkan, dipotong-potong sepanjang 1cm, dan dimasukkan ke dalam gelas piala.
- 2) Potongan-potongan akar yang telah dibersihkan direndam dalam larutan KOH 10% dan dipanaskan



dalam pemanas air 90°C selama 60 menit, lalu dibilas dengan air.

- 3) Selanjutnya potongan-potongan akar itu direndam lagi dalam HCl 1% selama 3–4 menit, lalu larutan HCl dibuang.
- 4) Setelah itu, potongan-potongan akar direndam asam fuchsin dan dipanaskan dalam pemanas air 90°C selama 60 menit, sisa larutan fuchsin dibuang.
- 5) Akhirnya potongan-potongan akar ditempatkan pada cawan petri, ditambah asam laktat 90%, lalu infeksiya diamati dengan mikroskop.

Keterangan:

Asam fuchsin = 87.5ml asam laktat + 63ml gliserin + 63ml air + 0.01g asam fuchsin

b. Cara perhitungan akar yang terinfeksi CMA

Perhitungan akar yang terinfeksi CMA dilakukan dengan cara yang dikenal sebagai metode panjang slide (*slide length methods*) (Gerdemann, 1955, dalam Schenk dan Perez, 1990) dengan prosedur kerja sebagai berikut:

- 1) Potongan-potongan akar yang telah diwarnai diambil secara acak
- 2) Potongan-potongan akar tersebut disusun dalam gelas objek (slide mikroskop), satu gelas objek berisi 10 potongan akar, untuk satu sampel akar dibuat 5 gelas objek
- 3) Jumlah akar yang menunjukkan adanya infeksi CMA dicatat
- 4) Persentase akar yang terinfeksi CMA dihitung berdasarkan rumus:

$$\% \text{ infeksi akar} = \frac{\text{jumlah contoh akar yang terinfeksi}}{\text{jumlah seluruh akar yang diamati}} \times 100\%$$



4. Perhitungan Fiksasi N dengan Metode ARA (Aktivitas Reduksi Asetilen)

(Balai Penelitian Pasca Panen Pertanian, Bogor, 2003)

- a. Setelah dicuci bersih, akar tanaman sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur 300ml dan ditutup dengan penutup karet.
- b. Sebanyak 10% (30ml) gas yang terdapat di dalamnya diinjeksi ke luar dan digantikan dengan 30ml C₂H₂.
- c. Kadar etilen diukur dengan menggunakan kromatografi gas setelah bahan diinkubasi 2 jam yang diikuti dengan ionisasi cahaya.
- d. ARA dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{ARA } (\mu\text{mol g}^{-1} \text{ jam}^{-1}) = \frac{X}{\text{BME} \times t \times \text{BAS} \times \text{standar}}$$

Keterangan:

- BME = berat molekul etilen
t = waktu inkubasi (jam)
BAS = bobot akar segar (g)

5. Cara Menentukan Kadar Nitrogen Tanaman dengan Kjeltex Auto Analyzer

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

a. Reagen:

- 1) Selen *mixture* dari 'MERCK' (atau campuran 200g K₂SO₄, 20 g CuSO₄.5 H₂O, 2 g Selenium dan dihaluskan).
- 2) Asam sulfat pekat 3ml.
- 3) Sodium hidroksida (NaOH) 10N.
NaOH pellet 3.2kg ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam botol *pyrex* yang mempunyai tanda tera volume B L. Air suling bebas CO₂ ditambahkan sebanyak 4L ke dalamnya, didinginkan, dan ditera sampai volume menjadi B L dengan air suling bebas CO₂.
- 4) 'Receiver solution' (Larutan Asam Borat-indikator).



Asam borat (H_3BO_3) ditimbang sebanyak 80g dan dimasukkan ke dalam labu 4L, ditambahkan air suling 3800ml, dipanaskan sampai H_3BO_3 melarut. Larutan didinginkan, dan ditambahkan 80ml campuran indicator (0.099g *Bromocresol-green* dan 0.066g *Methyl-red* dalam 100ml etanol absolut. Kemudian pH larutan diatur menjadi 5.0 atau berwarna ungu kemerahan. Selanjutnya larutan ditera menjadi 4L dengan air suling.

- 5) Asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl) 0,01N standar.

b. Dekstruksi Sampel

- 1) Contoh tanaman ditimbang dengan teliti sebanyak 0.2–0.5g, dimasukkan ke dalam labu 'Kjeltec' dan ditambahkan 0.2–0.5 g *Selen mixture*, 3 ml H_2SO_4 pekat. Dipanaskan dengan suhu tidak terlalu tinggi ($\pm 150^\circ\text{C}$, skala 4–5 pada digester 'Kjeltec') sampai larutan jernih, dan didinginkan. Kemudian ditambahkan air suling 25ml.
- 2) Blanko dibuat dengan mendestruksi bahan kimia yang digunakan untuk destruksi sampel. Perlakuan sama seperti perlakuan pada sampel.

c. Prosedur Pengukuran

- 1) Prosedur Awal ('Start')

Tabung 'Kjeltec' kosong diletakkan ke dalam tempat *steam-destilasi* dari alat. Volume tangka alkali, *receiver solution*, air dan *volume penitar* diperiksa. Tombol 'power' ditekan, maka pada display akan muncul 'HELP'. Pintu pengaman dibuka, dan 'Titrant' ditekan sampai piston dalam buret bergerak $\pm 5\text{cm}$, diturunkan kembali dengan menekan 'titrant': kemudian diperhatikan buretnya, jika ada gelembung udara pada buret, perlakuan tersebut harus diulangi. Jika tidak ada,



dilanjutkan ke tahap berikut. 'Rec-Sol' ditekan 4–5 kali. Air pendingin dari keran ledeng dibuka, dan tombol 'steam/off' ditekan ke 'steam'. Setelah tempat titrasi terisi air sampai skala 1, tombol ditekan ke 'off'.

2) Pengukuran

a) Diusahakan A=0000, B=1000, blanko=00, dan 'select programme' 'Kjeldahl/DD pada Kjeldahl'. Pintu tempat steam-destilasi (pintu pengaman) dibuka, dimasukkan tabung 'Kjeltec'.

b) Tombol 'auto/reset' ditekan ke 'auto', di display muncul "0000"

c) Pintu tempat steam-destilasi (pintu pengaman) ditutup, secara otomatis terjadi destilasi dan titrasi.

d) Jika lampu menyala pada 'cycle over', pengukuran telah selesai, dan dilanjutkan dengan pengukuran selanjutnya. Pintu dibiarkan tetap terbuka sebelum tabung dimasukkan.

e) Digunakan air suling, sebelum pengukuran sampel dan blanko.

3) Prosedur akhir (*shut-down*)

a) Pintu pengaman dibuka.

b) Tombol 'auto/reset' ditekan ke reset sampai muncul pada display 'help'.

c) Tabung dimasukkan, dan pintu pengaman ditutup, kemudian tombol 'steam/off' ditekan ke steam.

d) Dibiarkan selama 2–3 menit, kemudian tombol ditekan ke 'off'.

e) Tombol 'power' ditekan untuk mematikan.

Perhitungan:

$$\%N = (\text{ml contoh} - \text{ml blanko}) / \text{gram BK contoh} \times 0.14$$



6. Cara Menentukan Kadar Fosfor Tanaman dengan Metode Reduksi SnCl_2

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

a. Reagen:

- 1) Larutan amonium molibdat
 - a) 12.5g $(\text{NH}_4)_8\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ditimbang dan dilarutkan dengan 87.5ml aquades.
 - b) 140ml H_2SO_4 pekat ditambahkan secara hati-hati ke dalam gelas piala ('*beaker-glass*') yang berisi aquades 200ml, kemudian didinginkan.
 - c) Larutan a ditambahkan perlahan-lahan ke dalam larutan b dan dilarutkan sampai volume menjadi 500ml
- 2) *Stannous chloride*
1.25g $\text{SnCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam 50ml *glycerol*, dipanaskan dalam *water bath* sambil diaduk.
- 3) *Phenolphthalein indicator* (PP)
1g *phenolphthalein* dilarutkan ke dalam 60ml etanol, kemudian ditambahkan aquades 40ml.
- 4) HNO_3 5N
150ml HNO_3 pekat ditambahkan ke dalam 300ml aquades.
- 5) NH_4OH 1:10
20ml NH_4OH pekat ditambahkan ke dalam 300ml aquades.
- 6) Standar Phosphor 100 ppm
 KH_2PO_4 ditimbang dengan teliti sebanyak 0.4394g (kering oven) dan dilarutkan dengan aquades sampai volume menjadi 1L.



b. Destruksi Sampel

0.5g sampel ditimbang dan ditambahkan 3ml HNO₃ pekat serta 3ml HClO₄ pekat. Larutan dipanaskan sampai menjadi bening. Kemudian didinginkan dan disaring (dengan menggunakan kertas Whatman nomor 1) selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 50ml, dan ditambahkan aquades sampai berukuran 50ml.

1) Prosedur Pengukuran:

a) Pembuatan larutan standar P

Membuat larutan standar P dengan konsentrasi 0.01 ppm, 0.02 ppm, 0.005 ppm, 0.07 ppm, 0.1 ppm, 0.2 ppm, 0.5 ppm, 0.7 ppm, 1 ppm.

Dengan cara: pipet standar P 100 ppm sebanyak 25 ml dimasukkan dalam labu ukur 500 ml, kemudian ditera, diperoleh larutan standar P 5 ppm. Dari 5 ppm masing-masing dipipet 0.1, 0.2, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 5.0, 7.0, 10ml dimasukkan ke dalam labu ukur 50ml, ditambahkan 0.5ml amonium molibdat, 2 tetes SnCl₂, ditera sampai volume 50ml. Dibiarkan ± 20 menit agar warna biru menjadi stabil.

b) Pengukuran sampel

(1) Memipet 1ml larutan sampel, dimasukkan ke dalam 'tube' 50ml. Menambahkan 2 tetes PP, dinetralkan dengan NH₄OH 1:10 sampai larutan berwarna merah muda, tambahkan setetes demi setetes HNO₃ 5N sampai larutan menjadi bening

(2) Menambahkan 0.5ml amonium molibdat, 2 tetes SnCl₂. Biarkan ± 20 menit agar warna biru menjadi stabil.



- (3) Mengukur dengan spektrofotometer, absorbansinya pada $\lambda=690\text{nm}$ dengan membandingkannya terhadap absorbansi standar.

Perhitungan:

$$C \text{ kurva} = \text{abs. contoh} - \text{abs. blanko} / \text{slope}$$

$$\%P = C \text{ kurva} \times 50 / \text{g contoh} \times 50 \times 10^{-4}$$

7. Cara Menentukan Kadar Kalium Tanaman

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

Destruksi bahan tanaman dengan $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (destruksi basah)

a. Bahan dan Alat:

Asam sulfat pekat p.a (bd 1.84), hidrogen peroksida p.a 30%, dan batu didih karborondum.

b. Prosedur Kerja:

- 1) Ditimbang 0.250g contoh tanaman dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50ml, lalu tambahkan 2.5ml H_2SO_4 pekat dan kira-kira 25mg batu didih karborondum, dibiarkan semalam.
- 2) Keesokan harinya sdipanaskan selama 15 menit di atas penangas air atau pasi, mula-mula pada suhu rendah, kemudian secara perlahan sampai pada suhu 105°C . Setelah 30 menit ditambahkan 5 tetes H_2O_2 30% dalam selang waktu 10 menit dan ini dilakukan berulang kali hingga cairan dalam labu ukur menjadi jernih dan yang tinggal kira-kira 2.5ml. Pekerjaan ini dikerjakan dalam kamar asam.
- 3) Setelah dingin, diencerkan dengan aquades sampai tanda garis (50ml). Ekstrak dikocok dan disaring, hasil saringan ditampung dalam Erlenmeyer 100ml (cairan destruksi pekat).



- 4) Di pipipet 5ml cairan destruksi pekat ke dalam labu ukur 50ml dan encerkan dengan aquades hingga tanda garis 50ml (cairan destruksi encer) dan digunakan untuk penetapan K.

8. Penetapan Kadar Kalium

a. Alat: Flamephotometer

b. Bahan:

- 1) Pereaksi standar 500 ppm K, ditimbang 0.9535g KCl p.a kering 105°C ke dalam labu ukur 1L, ditambahkan 4ml H₂SO₄ pekat dan diencerkan dengan aquades sampai tanda garis.
- 2) Deret standar K dalam H₂SO₄ 0.15 N masing-masing; 0; 2.5; 5; 10; 15; 20; dan 25 ppm K dibuat dengan memipet standar campuran 500 ppm K berturut-turut 0; 2.5; 5; 10; 15; 20; dan 25ml ke dalam labu ukur 500ml dan diencerkan dengan H₂SO₄ 0.15 N sampai tanda garis.

c. Prosedur Kerja:

Dari larutan destruksi encer, kadar K diukur pada *flamephotometer* dengan deret standar K sebagai pembanding. Mula-mula diukur deret standar, kemudian baru contoh. Emisi dibaca pada skala *flamephotometer*.

d. Perhitungan:

Dibuat kurva deret standar K dengan deret 0–25 ppm K dari angka pembacaan skala *flamephotometer*. Kepekatan K dalam contoh yang diukur dapat dicari dari kurva tersebut.

$$\%K = \text{ppk K kurva setelah dikoreksi blanko} \times 0,2 \times \text{FC}$$

9. Cara Menentukan Nitrogen Total Tanah

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

a. Bahan-bahan:

- 1) Asam sulfat pekat (95-97% atau H₂SO₄ p.a); campuran serbuk selenium (Se); terdiri dari: Na-sulfat anhidrit



(Na_2SO_4) atau Kalium sulfat (K_2SO_4), Cupri sulfat anhidrit (CuSO_4), dan Selenium serbuk (Se). masing-masing dicampur dengan takaran $96.5\text{g Na}_2\text{SO}_4 + 1.55\text{g CuSO}_4 + 1.55\text{g Se}$.

- 2) Larutan Na-hidroksida (NaOH) 30%; larutkan 300g NaOH dalam 700ml aquades, setelah dingin tepatkan volumenya sampai 1L.
- 3) Larutan asam borat (H_3BO_3) 1%; larutkan 10g H_3BO_3 dalam aquades dan penuhkan sampai 1L.
- 4) Indicator campuran *Bromcresol* dan metil merah; larutkan 0.150g *Bromcresol green* dan 0.100g metil merah dalam 200ml etanol.
- 5) Larutan potassium biiodat $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 0.02M; larutkan 0.7798 g $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ dalam volumetrik 1L dan penuhkan sampai tanda tera (garis).

b. Peralatan:

Unit destilasi Kjeldahl, pipet gondok dan mikro, buret, labu destruksi, Erlenmeyer, dan stirrer magnetit.

c. Prosedur Kerja:

- 1) Sebanyak 1.00g tanah kering udara dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl dan tambahkan 1 canting kecil ($\pm 1.00\text{g}$) campuran Se, CuSO_4 dan Na_2SO_4 serta basahi (sekedar lembab) tanah yang telah tercampur dengan serbuk Se dengan aquades.
- 2) Tambahkan 20ml H_2SO_4 p.a dan 5 tetes paraffin cair ke dalam labu Kjeldahl serta goyangkan perlahan-lahan agar semua tanah terbasahi. Pekerjaan ini dilakukan dalam kamar asam.
- 3) Panaskan labu pada penangas pasir (*hot plate*) sampai asapnya hilang dan diperoleh cairan jernih/terang atau hijau kebiruan kemudian dinginkan.



- 4) Setelah dingin encerkan dengan aquades sampai volume labu 100ml.
- 5) Pipet 25ml destruksi yang telah diencerkan ke dalam alat destruksi mikro Kjeldahl dan tambahkan 30ml NaOH 30%.
- 6) Hasil destruksi ditampung dalam Erlenmeyer yang berisi 25ml H₃BO₃ 1% dengan 3 tetes indikator Conwey dan destilasi dilakukan kurang lebih 3 menit.
- 7) Kemudian dititer dengan KH(IO₃)₂ 0.02M secara hati-hati samapai terjadi perubahan warna dari merah ke hijau.
- 8) Lakukan juga penetapan blanko, yaitu perlakuan seperti di atas tanpa menggunakan tanah.

d. Perhitungan:

$$\text{Kadar N total (\%)} = \frac{(s-b) \times M \text{ KH (IO}_3)_2 \times 14 \times v/v}{W \text{ (mg)}} \times 100 \times \text{FCM}$$

Keterangan:

s = ml KH(IO₃)₂ sampel

B = ml KH(IO₃)₂ blanko

M = molaritas KH(IO₃)₂ yaitu 0.02M

W = berat contoh tanah kering mutlak (mg),

14 = berat atom nitrogen

V = volume destruksi

V = volume destruksi yang didestilasi

FCM = faktor koreksi kadar air yang diperoleh dari

$$\text{FCM} = \frac{100}{100 - \%KA}$$

10. Cara Menentukan Fosfor Tersedia Tanah

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

a. Bahan-bahan yang dipakai terdiri atas:

- 1) Ammonium florida (NH₄F) 1 M; larutkan 3.7g NH₄F dalam aquades dan buat volume menjadi 100 ml



- 2) Asam klorida (HCl) 0.025M; encerkan 8.3ml HCl 6M atau 4.3ml HCl pekat menjadi 100ml dengan aquades
- 3) Larutan ekstraksi Bray I (0.03M NH_4F dan 0.1M HCl); tambahkan 15ml NH_4F 1M dan 100ml HCl 0.025 dalam 500ml aquades
- 4) Asam sulfat (H_2SO_4) 1.85 M; secara perlahan-lahan tambahkan 12.85ml H_2SO_4 pekat ke dalam 150ml aquades, sambil digoyang-goyang perlahan-lahan, setelah dingin buat volumenya menjadi 250ml dengan aquades
- 5) Larutan ammonium molibdat; larutkan 12g dari $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ dalam H_2SO_4 1.85 M dan buat menjadi 100 ml
- 6) Larutan potassium antimoni tartrat 0.275% (1000 ppm Sb); larutkan 0.275g $\text{K}_2\text{SbO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dalam aquades dan buat volumenya menjadi 100ml
- 7) Reagen campuran (larutan A); timbang 0.533g *ascorbut acid* (vitamin C), larutkan 50ml ammonium molibdat dan 5ml potassium antimoni tartrat, lalu encerkan dengan aquades menjadi 100ml (larutan campuran ini hanya bertahan 12 jam)
- 8) Larutan campuran asam borat 0.5%; larutkan 0.5g H_3BO_3 dengan 25ml H_2SO_4 1.85 M dan encerkan dengan aquades hingga volume 500ml
- 9) Larutan fosfat standar 100ppm P, larutkan 0.4390g KH_2PO_4 dengan aquades dalam labu volumetric 1000ml dan jadikan volumenya tepat 1L (larutan ini mengandung 100 ppm P)
- 10) Standar seri 0;1; 2; 3; dan 4 ppm P, dipipet ke dalam labu volumetrik masing-masing 0; 5; 10; 15; dan 20ml larutan standar 100ppm P dan tepatkan volumenya menjadi 50ml dengan ekstrak Bray I.

b. Alat:

- 1) Spektrofotometer
- 2) Tabung reaksi
- 3) Pipet
- 4) Labu volumetrik
- 5) Erlenmeyer
- 6) Kertas saring Whatman no. 42

c. Prosedur kerja:

- 1) Masukkan 2g tanah kering udara ke dalam botol film, lalu tambahkan 20ml larutan Bray I dan kocok selama 20 menit dengan tangan, kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman no. 42.
- 2) Pipet 2 ml filtrat ke dalam tabung reaksi dan tambahkan 8ml H₃BO₃ 5% demikian juga dipipet masing-masing 2 ml larutan standar 0; 1; 2; 2; dan 4 ppm P ke dalam tabung reaksi dan tambahkan 8ml H₃BO₃ 5%.
- 3) Masukkan 2ml larutan A ke dalam tabung reaksi yang berisi sampel dan deret standar, kocok 5 detik dengan stirrer dan diamkan 15 menit.
- 4) Tetapkan dengan spektrofotometer dengan pembacaan absorban pada panjang gelombang 660nm.

d. Perhitungan:

$$\text{mg/kg P} = (s - b) \times (20/2) \times (100/100 - \text{KA})$$

Keterangan:

S = sampel

b = blanko

20 = volume ekstrak

2 = berat sampel (g)

Faktor koreksi P ke bentuk P₂O₅ = P x 2.29 berasal dari BM P₂O₅/BM P₂ (141.86/61.9476)



11. Cara Menentukan Kalium Tanah

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

a. Prosedur kerja:

Basa-basa yang dapat ditukarkan seperti K, dapat ditetapkan dengan cara mengekstrak 5g tanah kering udara dengan 50ml larutan amonium asetat 1N pH 7.00 dan kocok selama 30 menit. Saring dengan kertas saring Whatman no. 41 dan filtrat ditetapkan seperti pada penetapan K yang diukur dengan flamephotometer.

Membuat ekstrak K dengan perkolasi.

b. Pengukuran Kalium

1) Bahan:

- a) Larutan baku 5000 ppm K; melarutkan 9.755g KCl kering oven 105°C dalam 200ml aquades yang ditepatkan dengan albu ukur 500ml
- b) Larutan intermediate 100ppm K; mengencerkan larutan baku 50 kali, pipet 20ml larutan baku, masukkan dalam labu ukur 1000ml, dan encerkan dengan aquades sampai tanda garis
- c) Deret standar yang mengandung 0; 2.5; 5; 10; 15; 20; dan 25ppm K dengan cara berturut-turut memipet larutan 100ppm K 0; 2.5; 5; 10; 15; 20; dan 25ml ke dalam labu ukur 100ml, diencerkan hingga tanda garis

2) Alat:

- a) *Flamephotometer* coming 400
- b) Tabung reaksi
- c) Labu volumetric



3) Prosedur kerja:

- a) Mengukur kadar K dari ekstrak tanah pada *flamephotometer* dengan deret standar K sebagai pembanding.
- b) Mengukur deret standar dimulai dari standar yang terkecil sampai terbesar kemudian mengukur ekstrak contoh.
- c) Membaca emisi pada skala *flamephotometer*.

c. Cara menghitung kadar K:

Membuat kurva dari standar K dengan deret 0–25ppm K dari angka pembacaan skala emisi pada *flamephotometer*. Kadar K ekstrak (ppm) contoh tanah yang diukur dapat dicari dari kurva tersebut.

$$\text{me K/100g} = \frac{\text{Ekstrak contoh} \times \text{fp} \times 100/100}{\text{bobot contoh tanah kering udara} \times \text{BS K}} \times 100 \times (100 + \% \text{ KA}) / 100$$

Keterangan:

fp = faktor pengencer

KA = kadar air tanah kering 105°C

BS = bobot setara K 39

12. Cara Perhitungan Dosis Pupuk yang Digunakan

Perhitungan dosis pupuk yang digunakan berdasarkan luas petak percobaan. Petak percobaan berukuran 3m x 1m (3m²) dengan jarak tanam 50cm x 20cm (Adisarwanto dan Widyastuti, 2001). Dalam satu petak percobaan terdapat 30 lubang tanam sehingga dosis pupuk per lubang tanam adalah sebagai berikut:

a. Urea = 65.2kg/ha

Kebutuhan urea per petak:

$$\frac{3\text{m}^2}{10000\text{m}^2} \times 65.2\text{kg/ha}$$

= 0.01956kg urea per petak atau 19.56 g urea per petak

Kebutuhan urea per lubang tanam



19.56g urea : 30 lubang tanam = 0.652g urea per lubang tanam = **0.7 urea per lubang tanam**

b. SP-36 = 50kg/ha

Kebutuhan SP-36 per petak:

$$\frac{3\text{m}^2}{10000\text{m}^2} \times 50\text{kg/ha}$$

= 0.015kg SP-36 per petak atau 15g SP-36 per petak

Kebutuhan SP-36 per lubang tanam

15g SP-36 : 30 lubang tanam = **0.5g SP-36 per lubang tanam**

c. KCl 100kg/ha

Kebutuhan KCl per petak:

$$\frac{3\text{m}^2}{10000\text{m}^2} \times 100\text{kg/ha}$$

= 0.03kg KCl per petak atau 30g KCl per petak

Kebutuhan KCl per lubang tanam:

30g KCl : 30 lubang tanam = **1g KCl per lubang tanam**

13. Cara Menginokulasikan *Azospirillum sp.* pada Benih Jagung

(Balitbiogen, Bogor, 2003)

Sebelum benih jagung diinokulasi, dilakukan persiapan-persiapan sebagai berikut:

a. Persiapan larutan medium

- 1) Larutan medium spesifik dipersiapkan, yaitu larutan Okon, *et al.* (1977) yang dimodifikasi oleh Laksmi, *et al.* (1980) sebanyak 2L.
- 2) Larutan medium tersebut diperkaya dengan ekstrak ragi (*yeast*) sebanyak 0.05% atau 5g/L.
- 3) Larutan medium spesifik yang telah diperkaya dengan ekstrak ragi tersebut diinokulasi dengan bakteri yang diambil dari biakan murni dalam tabung reaksi tertutup rapat.



- 4) Larutan medium yang telah diinokulasi tersebut dikocok dengan alat pengocok berputar (*sentrifuse*) dengan kecepatan 60 putaran selama 48 jam.
- 5) Perhitungan jumlah bakteri yang akan diinokulasikan yaitu pada kepadatan 10⁸/ml diuji dengan kurva pertumbuhan populasi bakteri.

b. Cara menginokulasi benih jagung

Menginokulasikan benih jagung dilakukan dengan cara memberikan inokulan sesuai dengan dosis perlakuan di sekitar lubang tanam pada saat tanam.

14. Cara Perbanyak Inokulan CMA

(*Balitbiogen, bogor, 2003*)

1. Setelah tanaman berumur 4 minggu setelah tanam, melakukan pengamatan infeksi CMA dengan cara mengambil sedikit akar tanaman.
2. Akar tanaman yang memiliki persentase infeksi 90–100% dibiarkan selama 6 minggu, kemudian tanaman dipanen dengan cara memotong pupus tanaman dan meninggalkan bagian akarnya.
3. Setelah kering, akar dibongkar, dicincang halus, dan dicampurkan dengan tanahnya secara merata dan siap digunakan sebagai inokulan.

15. Cara Perhitungan Bobot Basah Tanah pada Saat Kapasitas Ladang dan Saat Cekaman Kekeringan (30% dari kadar air tanah tersedia)

a. Hasil analisis sifat fisik tanah

Kadar air tanah kapasitas lapang (% volume) pF 2.54

Kadar air tanah titik layu permanen (TLP) pF 4.20
(% volume)

Air tersedia (% volume)

Bobot tanah tiap pot (kg)

Kadar air tanah kering udara (%)



b. Cara perhitungan:

1) Diketahui:

Berat kering udara (BKU) tanah untuk masing-masing pot adalah 10kg = 10.000 g

Kadar air tanah kering udara 11.71%

2) Ditanya: Bobot kering (BK) tanah tersebut? Bobot basah (BB) tanah tersebut?

3) Penyelesaian:

$$KA = \frac{BKU - BK}{BK} \times 100\%$$

$$11.71\% = \frac{10000 - BK}{BK} \times 100\%$$

$$BK = 8951.75g$$

Dengan diketahui bobot kering (BK) di atas, dapat ditentukan bobot basah (BB) pada saat kapasitas lapang (kadar air 36.76%) sebagai berikut;

$$KA = \frac{BB - BK}{BK} \times 100\%$$

$$36.76\% = \frac{BB - 8951.75g}{8951.75g} \times 100\%$$

$$BB = 12242.41g$$

Untuk mempertahankan kadar air pada tingkat kapasitas lapang, penambahan air setiap hari dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu bobot segar tanaman, yaitu selisih antara bobot pot yang ada tanaman (A1) dengan bobot pot tanpa tanaman (A).

Jumlah air yang ditambahkan

$$= 12242.41g - 10000g = 2442.41g$$

$$= 2442.41ml$$

$$= 2.2$$

Bobot pot pada kadar air tingkat kapasitas lapang =
(selisih bobot pot A1 - A) + 2.2L



c. Cara perhitungan 30% dari kadar air tersedia (cekaman kekeringan) adalah:

1) Diketahui:

Air tersedia (% volume) = 32.63%

Kadar air pada pF 4.20 = 4.13%

$$KA = \frac{30}{100} \times 32.63\% + 4.13\%$$

$$KA = 13.92\%$$

2) Penyelesaian:

Dengan mengetahui kadar air tanah kering udara sebesar 11.71% dan bobot kering (BK) tanah adalah 8951.75g, dapat ditentukan bobot basah pada keadaan 30% dari kadar air tanah tersedia (kadar air = 32.63%) dengan menggunakan rumus:

$$KA = \frac{BB - BK}{BK} \times 100\%$$

$$13.92\% = \frac{BB - 8952.75g}{8952.75g} \times 100\%$$

$$BB = 10197.83g$$

Untuk mempertahankan 30% dari kadar air tanah tersedia (cekaman kekeringan), penambahan air setiap hari dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu bobot segar tanaman, yaitu selisih antara bobot pot yang ada tanaman (A1) dengan bobot pot tanpa tanaman (A).

Jumlah air yang ditambahkan =

$$10197.83g - 100000g = 197.83g \text{ (=197.83ml dibulatkan menjadi 200ml)}$$

Jadi bobot pot pada keadaan 30% dari kadar air tersedia = (selisih bobot pot A1 - A) + 200ml





Gambar 5
Dokumentasi ketika Melakukan Penelitian
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



BAB

6

PERTUMBUHAN TANAMAN JAGUNG SELAMA PERCOBAAN

Ketahanan tanaman jagung yang telah diberi mikroba *Azospirillum* dan CMA, kemudian akan dilihat perbedaannya sesuai dengan lokasi penanaman yaitu di rumah kaca dan di lapangan. Berikut pembahasannya.

A. Keadaan Lokasi Percobaan

Proses pertumbuhan tanaman jagung yang diberi *Azospirillum sp.* dan CMA dilakukan di dua lokasi, yaitu rumah kaca dan lapangan. Kedua lokasi memiliki kondisi yang berbeda, seperti suhu dan kelembapan udara.

1. Rumah Kaca

Tanah percobaan termasuk ordo Inseptisols dengan tekstur lernpung berdebu (*silty loarn*). Hasil analisis tanah sebelum percobaan menunjukkan bahwa tingkat kesuburan Inseptisol di lokasi percobaan tergolong rendah. Hal itu tampak pada pH

tanah yang tergotong masam (pH = 4.91). Kandungan C organik rendah (1.74%), N organik rendah (0.17%), nisbah C/N rendah (10.17), P tersedia sangat rendah (0.98mg/kg), P potensial rendah (15.00mg/100g), KTK sedang (20.91cmol/kg), dan kejenuhan basa (KB) rendah (22.49%). Selain itu, hasil analisis awal biologi tanah untuk *Azospirillum sp.* dan CMA dengan menggunakan metode MPN (*Most Probable Number*) menunjukkan bahwa populasi *Azospirillum sp.* sebesar 3.30×10^6 sel per g tanah dan jumlah propagul infeksi CMA adalah 6.069 per 100g tanah. Yang dimaksud dengan propagul infeksi meliputi spora, akar terkolonisasi, dan hifa CMA.

Azospirillum sp. dapat hidup baik pada suhu tanah optimum 32oC–40°C (Djazuli dkk., 1993) dan CMA pada suhu tanah optimum 25°C–30°C (Sieverding, 1991). Data suhu tanah selama percobaan pot yang berkisar antara 24°C sampai 37°C memungkinkan bagi *Azospirillum sp.* dan CMA yang diinokulasikan untuk hidup dan berkembang biak. Keadaan lingkungan di rumah kaca yang terukur seperti suhu tanah, suhu udara. dan kelembaban udara tertera dalam tabel berikut.

Tabel 3. Rata-Rata Suhu Tanah. Suhu Udara. dan Kelembaban Udara Selama Percobaan Pot di Rumah Kaca

Waktu	Suhu Tanah	Suhu Udara	Kelembaban udara
07.00 – 08.00	24°C	30°C	60.5%
12.00 - 13.00	37°C	38°C	34%
17.00- 18.00	32°C	33°C	23%
Rata-rata	31°C	33.67 °C	39.17%

Suhu udara selama percobaan pot di rumah kaca yang berkisar antara 30°C–38°C tergolong tinggi bagi pertumbuhan



tanaman jagung. Menurut Muhadjir (1988), suhu udara yang dikehendaki tanaman jagung adalah 21°C – 30°C. Keadaan itu juga merupakan salah satu penyebab yang memungkinkan tanaman jagung pada percobaan pot lebih cepat berbunga, jika dibandingkan dengan tanaman jagung pada percobaan lapangan.

2. Lapangan

Jenis tanah di kebun percobaan yang digunakan untuk percobaan lapangan sama dengan yang digunakan pada percobaan pot, yaitu termasuk ordo Inseptisols dengan tekstur lempung berdebu (*silty loam*).

Keadaan lingkungan pada percobaan lapangan menyebabkan tanaman selama fase pertumbuhannya mendapat air yang cukup karena memiliki nilai evapotranspirasi (ETP) rata-rata lebih rendah daripada rata-rata curah hujan selama periode tersebut. Hal itu ditunjang oleh tekstur tanahnya yang termasuk lempung berdebu sehingga kemampuan untuk menyimpan airnya tergolong tinggi.

Tabel 4. Rata-Rata Harian Suhu Udara, Kelembaban Udara, Curah Hujan dan Evapotranspirasi (ETP) Selama Pertumbuhan Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan

Waktu	Suhu udara (%)	Kelembaban udara (%)	Curah hujan (mm)	ETP (mm)
Bulan I	28.83	82.38	18.24	3.99
Bulan II	27.1	82.35	16.93	3.34
Bulan III	27.83	82.43	9.19	3.52

Menurut Rifin (1990) setiap fase pertumbuhan tanaman jagung membutuhkan air yang berbeda-beda. Kebutuhan air meningkat sejalan dengan perkembangan tanaman dan yang tertinggi terjadi pada saat pembungaan sampai pengisian biji



dan kemudian menurun sampai tanaman dapat dipanen. Kebutuhan air untuk tanaman jagung setiap harinya sangat tergantung pada umur tanaman dan keadaan lingkungan tempat tanaman tersebut tumbuh. Saat tanaman masih kecil (tinggi tanaman 20–30cm) kebutuhan air tiap harinya sekitar 2.5mm, kemudian meningkat sampai 6.4–7.6mm pada saat pembentukan biji (*fitting period*) dan kadang-kadang mencapai 10.2mm.

Pada percobaan lapangan ini, curah hujan yang tinggi selama pertumbuhan tanaman mengakibatkan pertumbuhan vegetatif lebih lama sehingga umur tanaman menjadi bertambah panjang (95 hari). Untuk itu, pada saat memasuki fase pembungaan sampai pengisian biji (51–61 hst) tanaman jagung dibuatkan rumah plastik sehingga faktor air untuk kondisi cekaman kekeringan bisa diwujudkan. Keadaan lingkungan selama fase pembungaan sampai pengisian biji di dalam rumah plastik pada percobaan lapangan yang terukur seperti suhu tanah, suhu udara, dan kelembaban udara tertera dalam tabel berikut.

Tabel 5. Rata-Rata Suhu Tanah, Suhu Udara, dan Kelembaban Udara Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji di Dalam Rumah Plastik pada Percobaan Lapangan

Waktu	Suhu tanah	Suhu udara	Kelembaban udara
07.00–08.00	23°C	27°C	70%
12.00–13.00	37°C	38°C	34%
17.00–18.00	33°C	32°C	24%
Rata-rata	31°C	32.3°C	42.67%



B. Keadaan Jagung Selama Masa Tanam

1. Tanaman Jagung di Rumah Kaca

Semua benih yang ditanam mulai berkecambah dan muncul ke permukaan tanah pada umur 5 hari setelah tanam (hst). Pada percobaan pot, saat tanaman mencapai umur 2 minggu setelah tanam (mst), tampak bahwa pemberian inokulan *Azospirillum sp.* dengan dosis 1.5ml per pot dan inokulan CMA 67 dengan dosis 37.5g per pot memberikan pertumbuhan tanaman yang tertinggi, yaitu 50.48cm. Sementara hasil pertumbuhan terendah, terdapat pada pot perlakuan tanpa pemberian inokulan *Azospirillum* dan inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot yaitu setinggi 37cm.

Hasil berbeda terlihat setelah umur mencapai 4 mst. Tampak bahwa pemberian CMA dengan dosis 12.5g per pot tanpa diikuti pemberian *Azospirillum*, menyebabkan pertumbuhan tanaman yang tertinggi, yaitu 148.50cm. Sedangkan hasil terendah yaitu 94cm, diperoleh pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot tanpa diikuti pemberian inokulan CMA.

Pada pertumbuhan tanaman 6mst, hasil yang terlihat adalah pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot dan inokulan CMA dengan dosis 25.0g per pot memberikan pertumbuhan tanaman yang tertinggi, yaitu 155.75cm. sementara hasil terendah yaitu 130.5cm, diperoleh pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot tanpa diikuti pemberian inokulan CMA. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian *Azospirillum* dan CMA dapat membantu pertumbuhan tanaman. Akan tetapi, besarnya sumbangan *Azospirillum* dan CMA dalam membantu pertumbuhan vegetatif tanaman jagung berbeda-beda. Menurut Atlas dan Bartha (1993), mikroba berkompetisi mempunyai strategi (*r strategy*)



untuk menguasai ruang dengan memperbanyak diri secara cepat dan mendominasi nutrisi.

Secara morfologis tanaman yang diinokulasi dengan bakteri *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang sesuai tampak lebih hijau, daunnya lebih lebar, diameter batang lebih besar, dan tanaman lebih cepat berbunga dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi. Namun, jika inokulasi *Azospirillum* dan CMA yang diberikan terlalu tinggi, dapat memberikan dampak negatif pada tanaman.

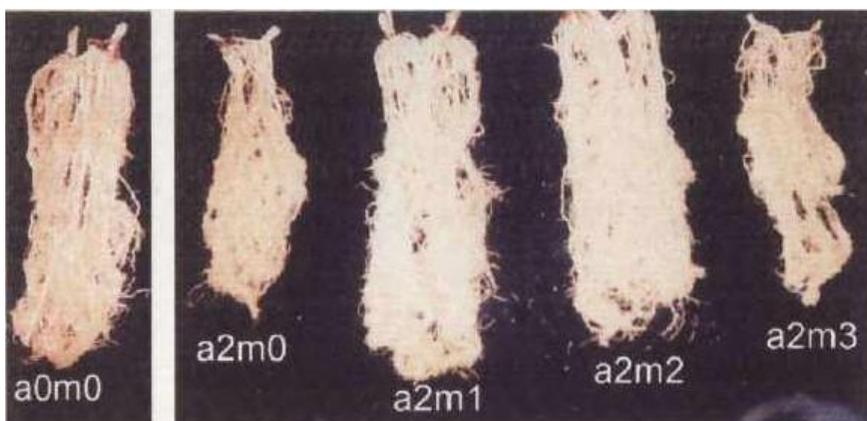
Setelah diberi cekaman kekeringan (kadar air tanah tersedia sekitar 30%) selama 10 hari pada fase pembungaan sampai pengisian biji, yaitu pada umur 45–55 hst, tanaman yang diberi *Azospirillum* dan CMA tampak lebih tegar dan daun tampak tidak menggulung. Akan tetapi, jika diberikan inokulan *Azospirillum* dan CMA yang besar seperti pada perlakuan 1.0ml *Azospirillum* dan 37.5 g per pot CMA (a_2m_3), daun tanaman tampak mengerut dan menggulung sehingga tampak tidak berbeda dengan tanaman kontrol (tidak diberi *Azospirillum* dan CMA).



Gambar 6

Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan pada Percobaan Pot di Rumah Kaca

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 7
Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan pada Percobaan di Rumah Kaca

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada akhir periode cekaman kekeringan (55 hst), secara visual terlihat adanya percabangan akar serabut yang cukup banyak dan merata pada tanaman jagung yang diberi inokulan bakteri *Azospirillum* dan CMA dibandingkan dengan tanaman jagung tanpa inokulasi (kontrol) yang percabangan akar serabutnya jarang dan hanya terdapat pada ujung-ujung akar serabut. Sebaliknya, jika inokulasi *Azospirillum* dan CMA yang diberikan terlalu tinggi, misalnya dengan dosis 1.0ml *Azospirillum* dan 37.5g per pot CMA (a2m3), percabangan akar serabutnya tampak banyak di daerah tengah perakaran dan semakin ke ujung akar semakin sedikit. Setelah tanaman diairi kembali, secara keseluruhan tanaman kembali pulih dan daun yang menggulung selama cekaman kekeringan terbuka lagi.

Hama yang menyerang tanaman adalah ulat grayak (*Spodoptera maurita*), ulat daun (*Prodenia litura*), dan ulat penggerek tongkol (*Heliothis armigera*). Untuk mencegah timbulnya serangan yang lebih parah, hama itu dikendalikan dengan menggunakan insektisida Matador 25 EC dengan konsentrasi 25g/L.

2. Tanaman di Lapangan

Semua biji yang ditanam mulai berkecambah dan muncul ke permukaan tanah pada umur 5 hari setelah tanam (HST). Hama yang menyerang tanaman adalah belalang (*Locusta migratoria manilensis*), ulat daun (*Prodenia litura*), dan ulat penggerek tongkol (*Heliothis armigera*). Untuk mencegah timbulnya serangan yang lebih parah, hama itu dikendalikan dengan menggunakan insektisida Decis 2.5 EC dengan konsentrasi 25g/L air untuk menghindarkan tanaman dari serangan belalang dan Matador 25 EC dengan konsentrasi 25g/L untuk membasmi ulat. Tanaman jagung pada percobaan lapangan terserang juga penyakit bulai atau *downy mildew* (*Sclerospora maydis Palm*) yang mulai menyerang tanaman pada umur 21 hst. Daun-daun tanaman yang terserang berwarna kuning keputih-putihan bergaris-garis klorotis sejajar dengan urat daun. Pada bagian bawah daun terdapat konidia berwarna putih seperti butiran-butiran tepung. *Sclerospora maydis Palm* menyerang tanaman muda sampai umur lebih kurang 45 hari. Tanaman yang terserang penyakit bulai tampak tidak berkembang. Untuk mengendalikan penyakit bulai, supaya tidak menyebar, tanaman yang terserang dicabut dan dibakar.

Tanaman jagung pada percobaan lapangan yang diinokulasi dengan bakteri *Azospirillum* dan CMA tampak lebih hijau, daunnya lebih lebar, diameter batang lebih besar, tanaman lebih tinggi dan tanaman lebih cepat berbunga dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi.





Gambar 8
Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 9
Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan yang Diberi Naungan Plastik
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Saat pemberian cekaman kekeringan pada fase pembungaan sampai pengisian biji, tanggapan tanaman jagung pada percobaan lapangan tidak sama dengan tanggapan yang

diberikan pada percobaan pot di rumah kaca. Hal itu disebabkan oleh sulitnya menciptakan kondisi sekitar 30% kadar air tersedia di lapangan pada musim hujan di daerah Bogor yang merupakan wilayah dengan tipe iklim basah (A).

Saat diadakan pengukuran kadar air tanah, kadar air tanah tersedia menunjukkan angka yang berkisar antara 53–65%. Kadar air tanah diukur menggunakan alat *Bouyoucos moisture tester* dengan cara dibenamkan di tengah-tengah petak percobaan pada kedalaman 25–30 cm. Sementara kelembaban tanah diukur menggunakan alat *soil tester* dengan cara ditancapkan ke tanah pada kedalaman 10–15 cm, menghasilkan angka antara 20–25%. Namun, di beberapa tempat, yang alat-alat tersebut tidak terbaca. Selain itu, dengan menggunakan alat tensiometer yang ditanamkan pada salah satu petak percobaan, menunjukkan bahwa kadar air tanah berkisar antara pF 1.70–1.86. Pada kondisi tersebut, tampak tanah pada lapisan atas pecah-pecah meskipun dalam penanaman jagung telah digunakan jarak tanam 50cm x 20cm dengan 2 tanaman per lubang tanam. Hal ini sesuai dengan pendapat Sugianto, dkk (1997) bahwa jarak baris tanaman yang sempit untuk mengurangi stres kekeringan pada daerah basah lebih menguntungkan. Alasannya, tanaman akan lebih efisien dalam mengintersepsi cahaya dan kehilangan air karena evaporasi menjadi kecil. Namun, di daerah kering berlaku sebaliknya.

Tanggapan tanaman pada fase pembungaan sampai pengisian biji pada percobaan lapangan menunjukkan gejala senesens, yaitu





Gambar 10

Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan, Kiri : Perlakuan Tanpa Inokulan *Azospirillum* dan CMA (aom₀); Kanan : Perlakuan dengan 0.3ml *Azospirillum* dan 18,75g CMA (a1ml)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Daun-daun pada bagian bawah terlihat berwarna coklat kekuning-kuningan yang sangat jelas pada perlakuan tanpa inokulan *Azospirillum* dan CMA



Gambar 11

Tanaman Jagung pada Percobaan Lapangan, Kiri : Perlakuan dengan 0.6ml *Azospirillum* dan 37.50g CMA (a2m₂); Kanan : Perlakuan dengan 0.9ml *Azospirillum* dan 56,25g CMA (a3m₃)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Daun tanaman jagung tampak tidak menggulung sebagaimana pada percobaan pot di rumah kaca. Sebaliknya, pada perlakuan yang diberikan inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi, tampak daunnya lebih hijau, lebih lebar, dan gejala senescens tidak tampak.





BAB

7

RESPONS TANAMAN JAGUNG TERHADAP PEMBERIAN MIKROBA

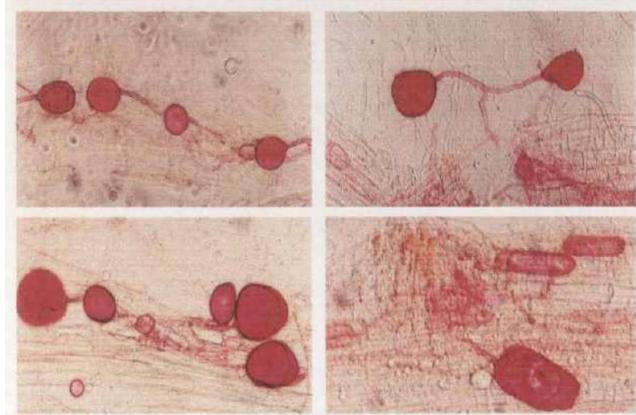
Saat masa percobaan selesai dilakukan, respons tanaman jagung mulai terlihat setelah diberi mikroba *Azospirillum* dan CMA. Respons ini terlihat dari perubahan pada akar, kadar air relatif daun, kadar klorofil, kadar prolin, kadar asam absisat, kandungan unsur hara, dan ukuran tanaman jagung. Berikut pembahasannya.

A. Infeksi Akar oleh CMA

Asosiasi yang terbentuk setelah CMA menginfeksi akar tanaman tidak menyebabkan adanya perubahan makroskopis pada akar tanaman. Keberadaannya dapat diketahui hanya dengan pewarnaan akar menggunakan larutan asam fuchsin dan pengamatan mikroskopis. Di bawah mikroskop, CMA dapat terlihat sebagai hifa dan vesikula serta arbuskula (seperti tampak pada Gambar 3).

Namun, pada saat pengamatan (55 hst) struktur yang berbentuk arbuskula sudah tidak tampak. Sebab, struktur arbuskula terbentuk sekitar dua sampai lima hari setelah penetrasi hifa ke dalam jaringan

korteks akar dan masa hidup arbuskula tersebut cukup singkat yaitu diperkirakan hanya sekitar satu hingga tiga minggu. Selain itu, arbuskula merupakan struktur yang bersifat labil (Mosse, 1981; Sieverding, 1991).



Gambar 12
Infeksi Akar oleh CMA yang Ditunjukkan Adanya Hifa dan Vesikula,
Nampak Jelas pada Perbesaran 600x
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada gambar 9, vesikula tampak jelas. Hal itu terjadi karena jumlah vesikula bertambah banyak dengan umur mikoriza dan tanaman yang semakin tua (Sieverding, 1991; Brundrett, dkk., 1994; Smith dan Read, 1997). Vesikula itu mengandung lemak dan berfungsi untuk menyimpan cadangan makanan (Mosse, 1981). Bila situasi kurang menguntungkan (berkurangnya suplai metabolik dari tanaman inang), cadangan makanan itu digunakan cendawan, dan vesikula selanjutnya mengalami degenerasi dan membentuk spora (Sieverding, 1991).

Tabel 6. Infeksi Akar oleh CMA pada Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
%.....			
0	11 a	13 a	25 a	18 a
	A	A	A	A
12.5	64 b	63 b	44 ab	29 a
	B	B	AB	A
25.0	62 b	74 b	46 b	47 b
	AB	B	A	A
37.5	64 b	65 b	76 c	76 c
	A	A	A	A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5 %.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dengan inokulan CMA dengan dosis yang bervariasi teruji nyata dalam mempengaruhi infeksi akar oleh CMA. Makna dari efek perlakuan tersebut sangat didukung oleh inokulasi CMA dan efek interaksi *Azospirillum* dan CMA.

Data pada tabel 6 menunjukkan pada perlakuan tanpa inokulasi CMA dan *Azospirillum* (kontrol) ternyata memberikan infeksi akar sebesar 11%. Adanya penambahan inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi pada perlakuan tanpa diberi inokulan CMA, juga menunjukkan adanya infeksi akar yaitu sebesar 13–25% yang teruji. Hasil tersebut menunjukkan tidak adanya perbedaan



dibandingkan dengan tanaman kontrol (tanpa inokulasi *Azospirillum* dan CMA).

Persentase infeksi akar oleh CMA masih tergolong rendah (Setiadi dkk.,1992). Padahal di dalam tanah yang digunakan sebagai media tumbuh pada percobaan ini telah terkandung CMA *indigenos* dengan jumlah propagul infeksiif 6.069 per 100g tanah. Hal itu berarti bahwa adanya inokulasi *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi belum mampu meningkatkan persentase infeksi akar Oleh CMA indigenous. Menurut Sieverding (1991), inokulasi CMA perlu dilakukan di daerah tropis karena potensi CMA *indigenous* terlalu rendah dalam menstimulasi pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal.

Selanjutnya pada perlakuan inokulasi *Azospirillum* bervariasi dosis, dengan adanya penambahan inokulan CMA dengan dosis yang lebih tinggi ternyata memberikan hasil dengan persentase infeksi akar oleh CMA cenderung meningkat. Hal itu tampak pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot dan 1.5ml per pot bersama pemberian CMA dengan dosis 37.5g per pot, memberikan persentase infeksi akar yang tertinggi yaitu sebesar 76% atau tergolong sangat tinggi (Setiadi dkk, 1992). Hal itu menunjukkan bahwa adanya *Azospirillum* juga dapat membantu meningkatkan persentase infeksi akar oleh CMA pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase perbungaan sampai pengisian biji. Adanya bakteri *Azospirillum* yang dapat melekat pada permukaan akar atau membentuk koloni dalam jaringan akar akan membantu meningkatkan pertumbuhan rambut akar (Morgerstern dan Okon, 1987) dan luas permukaan akar (Döbereiner dan Pedrosa, 1987) sehingga akan lebih banyak akar yang dapat diinfeksi oleh CMA.

Akan tetapi, pada perlakuan CMA dengan dosis 12.5g per pot dan 25g per pot, dengan penambahan inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang lebih tinggi (1.0ml per pot dan 1.5ml per pot)



menghasilkan persentase infeksi akar oleh CMA menurun. Hal ini menunjukkan adanya efek antagonistik antara *Azospirillum* dan CMA. Menurut Wilson dan Tommerup (1992) dikutip Sancayaningsih, dkk. (2000), keberhasilan infeksi akar oleh CMA atau kolonisasi CMA di dalam akar tanaman inang dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik eksternal maupun internal. Faktor eksternalnya berupa laju pertumbuhan akar, eksudat akar, distribusi akar, dan kerapatan akar tanaman inang yang rentan terinfeksi CMA. Sedangkan faktor internal berupa densitas (kepadatan) propagul, laju penyebaran hifa di dalam akar maupun di luar akar, serta kemampuan cendawan untuk menginfeksi ulang akar tanaman inang.

B. Kadar Air Relatif Daun (KARD)

Kemampuan tanaman jagung dalam menyerap air ditunjukkan dengan nilai Kadar Air Relatif Daun (KARD). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa efek interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi teruji nyata dalam mempengaruhi nilai KARD. Akan tetapi, efek inokulan *Azospirillum* terhadap nilai KARD teruji tidak bermakna.

Tabel 7. Kadar Air Relatif Daun Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....mg/g.....			
0	30.39 a A	32.95 ab A	32.44 a A	32.57 a A
12.5	33.23 ab A	31.01 a A	35.08 ab B	38.54 b B
25.0	35.31 b B	30.98 a A	35.53 ab B	31.82 a AB
37.5	37.04 b B	35.83 b AB	38.79 b B	33.34 a A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%.

Pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi tanpa pemberian inokulan CMA belum mampu meningkatkan nilai KARD. Hal itu terjadi karena pada saat terjadinya cekaman kekeringan keadaan air dalam tanah sangat rendah. Air menjadi tidak tersedia bagi tanaman karena kelembaban tanah lebih rendah dari titik layu permanen. Air itu meliputi sebagian dari air kapiler dan seluruh air higroskopik. Air kapiler menempati ruang pori mikro dan dinding-dinding pori makro, sedangkan air higroskopik menempati ruang pori sangat kecil dan meliputi partikel padat tanah (Hakim, dkk., 1986), sehingga tidak dapat diserap oleh akar tanaman walaupun dengan rambut-rambut akar yang banyak.

Hasil yang berbeda terlihat apabila inokulan *Azospirillum* dan CMA diberikan secara bersama-sama, keduanya mampu



meningkatkan nilai KARD tanaman. Hal itu tampak pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0–1.5ml per pot bersama pemberian inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot yang memberikan nilai KARD sebesar 35.08–38.54mg/g. Sebaliknya, adanya penambahan inokulan CMA dengan dosis 25.0–37.5g per pot bila diberikan bersama pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot, dapat memberikan nilai KARD yang tidak berbeda yaitu 35.08–38.79mg/g.

Adanya inokulan *Azospirillum* yang diberikan bersama dengan inokulan CMA, dapat membantu meningkatkan luas permukaan akar tanaman berkaitan dengan produksi auksin oleh *Azospirillum*. Adanya pembentukan akar dan rambut akar yang banyak, memungkinkan lebih banyak CMA dapat mengkolonisasi akar tanaman. Oleh karena itu, pada saat tanaman tercekam kekeringan, keberadaan CMA dengan hifa eksternal yang dimilikinya mampu mendorong perkembangan dan penetrasi akar lebih luas. Hal ini menyebabkan akar dapat mengekstraksi air pada lapisan tanah yang tidak dapat diserap lagi oleh akar tanaman tanpa mikoriza. Dengan demikian jumlah air yang diserap akar lebih banyak sehingga dapat meningkatkan KARD pada tanaman yang tercekam kekeringan.

Data pada tabel 7 juga menunjukkan, adanya inokulasi CMA dengan dosis 12.5g per pot tanpa pemberian inokulan *Azospirillum* menghasilkan nilai KARD yang meningkat walaupun teruji tidak berbeda dengan kontrol. Jika dosis inokulasi ditingkatkan sebesar 25.0g per pot dan 37.5g per pot, nilai KARD-nya lebih tinggi dan teruji berbeda dibandingkan dengan kontrol. Hal itu menunjukkan bahwa walaupun CMA diberikan dengan dosis yang rendah, telah mampu meningkatkan kolonisasi CMA dengan persentase infeksi yang tergolong tinggi pada akar tanaman sebagaimana yang tertera pada tabel 6, sehingga keberadaan CMA mampu meningkatkan nilai KARD tanaman yang tercekam kekeringan. Menurut Smith, dkk.



(1999), tanaman yang terinfeksi CMA lebih adaptif terhadap cekaman kekeringan karena hifanya mampu menyerap air yang kurang tersedia bagi tanaman. Diameter hifa CMA yang relatif kecil (rata-rata berukuran 2–5 μ m) akan mudah menembus pori-pori tanah (untuk mineral liat berukuran <2 μ m) yang tidak dapat dimasuki oleh rambut-rambut akar, sehingga air yang semula terikat pada pori mikro tanah, dapat terserap lebih banyak dengan kemampuan hifa eksternal.

Selain itu, data pada tabel 7 juga menunjukkan pada inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 1ml per pot, adanya penambahan dosis CMA yang tinggi (25.0g per pot dan 37.5g per pot) ternyata menurunkan nilai KARD. Hal itu diduga terjadi karena keberadaan CMA mampu mempertahankan stomata tetap terbuka pada kondisi tanaman yang tercekam kekeringan yang ditandai dengan rendahnya kadar ABA dalam daun yang mempengaruhi peningkatan konduktans stomata.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Panwar (1993), dikutip Augé (2001), yang menyatakan bahwa simbiosis dengan CMA dapat menunda turunnya kadar air relatif daun pada gandum yang tercekam kekeringan. Tanaman itu mampu mempertahankan stomata agar tetap terbuka pada daun-daun dengan kadar air relatif rendah (Auge, dkk., 1986b; dikutip Auge, 2001).

C. Kadar Klorofil Daun

Klorofil adalah salah satu pigmen yang paling banyak terdapat dalam kloroplas, yang berperan langsung pada penangkapan energi radiasi dan mengubahnya menjadi energi kimia. Jenis klorofil yang terbanyak pada tumbuhan tinggi adalah klorofil a dan klorofil b. Yang dimaksud kadar klorofil daun pada penelitian ini adalah klorofil total, yang terukur dengan spektrofotometer pada panjang



gelombang D.652nm. Pada panjang gelombang D.652nm itu, klorofil a dan b mencapai titik absorpsi optimum dan 34.5 adalah koefisien absorpsi jenis untuk kedua pigmen tersebut pada panjang gelombang 0652nm.

Hasil analisis ragam, menunjukkan bahwa efek interaksi pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi teruji tidak bermakna dalam mempengaruhi kadar klorofil daun tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji, akan tetapi efek mandiri masing-masing perlakuan teruji nyata terhadap kadar klorofil daun sebagaimana yang termuat pada tabel 8. Hal itu berarti efek inokulan *Azospirillum* dalam mempengaruhi kadar klorofil daun tidak tergantung pada pemberian inokulan CMA. Demikian pula sebaliknya, efek CMA dalam mempengaruhi kadar klorofil daun tidak tergantung pada pemberian inokulan *Azospirillum*.



Tabel 8. Kadar Klorofil Daun Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembuangan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
	.....mg/g.....				
0	3.15	4.06	3.41	2.91	3.38 a
12.5	3.80	4.36	3.84	4.03	4.01 b
25.0	4.19	5.60	4.63	4.63	4.76 c
37.5	4.91	5.78	6.30	5.30	5.57 d
Rata-rata	4.01 A	4.95 B	4.54 AB	4.22 A	

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%.

Adanya inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 0.5ml per pot telah mampu meningkatkan kadar klorofil daun. Sebaliknya, jika inokulan *Azospirillum* diberikan dengan dosis yang tinggi (1.5ml per pot), kadar klorofil daunnya tidak berbeda dibandingkan dengan tanpa inokulasi *Azospirillum*. Adanya peningkatan kadar klorofil daun tersebut erat kaitannya dengan peran *Azospirillum* yang dapat membantu tanaman dalam penyerapan hara nitrogen (N), dan hara fosfor (P) sehingga kadar klorofil dalam daun dapat meningkat. Sementara efek mandiri inokulan CMA dalam meningkatkan kadar klorofil daun tanaman tampak meningkat sesuai dengan tingginya dosis CMA yang diberikan. Hal itu terjadi karena CMA juga mampu meningkatkan

penyerapan hara N maupun hara P pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan.

Nitrogen merupakan unsur penyusun klorofil dan dapat membantu meningkatkan serta menjaga kapasitas fotosintesis (Marschner, 1995). Fosfor diperlukan untuk mengaktifkan proses-proses metabolisme tanaman seperti fotosintesis karena keberadaannya dalam ATP dan ADP yang digunakan untuk mereduksi CO₂ menjadi karbohidrat (Gardner, dkk., 1991). Tingginya kadar N dan P daun akan memungkinkan sintesis klorofil yang semakin besar pula. Jumlah klorofil daun yang disintesis akan menentukan kecepatan fotosintesis yang terjadi pada tanaman. Hal itu didukung oleh hasil penelitian Augé dkk. (1987) yang menunjukkan kadar klorofil dan pati pada tanaman mawar yang bermikoriza lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tidak bermikoriza pada kondisi cekaman kekeringan.

D. Kadar Prolin

Prolin adalah salah satu asam amino yang terdapat dalam tanaman. Saat tanaman mengalami cekaman, baik cekaman kekeringan, kelebihan air, maupun garam (salinitas), intensitas prolin dalam tanaman meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan asam amino lainnya yang cenderung berkurang (Salisbury dan Ross, 1995).



Tabel 9. Kadar Prolin Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....nmol/g bobot segar.....			
0	95 a A	120 b B	115 ab B	125 b B
12.5	115 b AB	115 b AB	130 b B	110 ab A
25.0	90 a A	115 b B	105 a AB	100 a AB
37.5	105 ab A	95 a A	105 a A	125 b B

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Hasil analisis ragam, menunjukkan bahwa baik efek mandiri maupun efek interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi teruji nyata dalam mempengaruhi kadar prolin daun tanaman jagung sebagaimana yang dicantumkan pada tabel 9.

Adanya inokulasi *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi tanpa pemberian inokulan CMA, mampu meningkatkan kadar prolin daun tanaman rata-rata sebesar 25nmol/g bobot segar bila dibandingkan dengan tanaman jagung tanpa pemberian inokulan (kontrol). Hal itu terjadi berkaitan dengan kemampuan *Azospirillum* yang dapat memfiksasi N dari udara sehingga dapat meningkatkan kadar N dalam tanaman, yang selanjutnya dapat mempengaruhi terjadinya akumulasi prolin pada tanaman yang tercekam



kekeringan. Menurut Gardner, dkk. (1991), nitrogen merupakan bahan penyusun asam amino (termasuk prolin), amida, basa bet-nitrogen seperti purin, dan protein, serta nukleoprotein.

Data pada tabel 9 juga menunjukkan adanya inokulasi CMA dengan dosis 12.5g per pot tanpa pemberian inokulan *Azospirillum* telah mampu meningkatkan kadar prolin. Akan tetapi, jika dosis inokulasi CMA ditingkatkan ternyata kadar prolinnya menurun. Demikian pula pada perakuan kombinasi inokulan *Azospirillum* dengan CMA dengan dosis yang bervariasi menunjukkan adanya perubahan kadar prolin. Pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot bersama inokulan CMA dengan dosis 125g per pot, kadar prolinnya meningkat yaitu sebesar 130nmol/g bobot segar, walaupun teruji tidak berbeda dibandingkan dengan hanya diberikan inokulan *Azospirillum* saja ataupun CMA saja. Hal itu menunjukkan bahwa adanya inokulasi *Azospirillum* dan CMA baik diberikan secara terpisah maupun diberikan secara bersama dengan dosis yang sesuai ternyata mampu meningkatkan kadar prolin tanaman.

Dalam kondisi kekurangan air yang sedang hingga parah, konsentrasi prolin lebih tinggi daripada asam amino lainnya. Adanya peningkatan prolin pada tanaman sering dijadikan sebagai salah satu indikator kondisi stres bagi tanaman (Siswanto dkk., 1997, dikutip Sutoro dkk., 2001). Hal itu disebabkan karena asam amino prolin dapat membantu toleransi tanaman terhadap kekeringan, dengan bertindak selaku pusat cadangan nitrogen dan/atau berfungsi sebagai molekul zat terlarut yang mengurangi potensial zat terlarut dalam sitoplasma (Stewart, 1982, dikutip Gardner, dkk., 1991).

Menurut Ruiz-Lozano dkk (1995), kekeringan mampu meningkatkan konsentrasi prolin yang merupakan regulator osmotik, khususnya pada tanaman selada yang dikolonisasi oleh *Glomus deserticola*. Peningkatan kadar prolin daun selada yang diinokulasi



Glomus deserticola mencapai 119.6nmol/g bobot segar pada kondisi cekaman kekeringan, sedangkan pada tanaman yang tidak diinokulasi (kontrol) kadar prolinnya hanya sebesar 16.2nmol/g bobot segar.

Menurut Fidelibus, dkk. (2001) pengaruh CMA terhadap daya tahan tanaman inang terhadap kekeringan merupakan pengaruh sekunder dari meningkatnya nutrisi tanaman inang. Selanjutnya Subramanian dan Charest (1999) menyatakan bahwa kolonisasi CMA pada tanaman jagung dapat menstimulasi aktivitas enzim kunci yang terlibat pada asimilasi nitrogen yaitu nitrat reduktase dan glutamat sintetase terutama pada kondisi kekeringan. Adanya enzim itu dapat mengubah dan meningkatkan status nutrisi terutama nitrogen yang memungkinkan tanaman inang tahan terhadap kekeringan dan kembali tumbuh ketika mendapatkan air kembali.

Trotel-Aziz dkk. (2003) menyatakan terdapat hubungan antara akumulasi prolin dan perubahan fitohormon ABA. Akumulasi prolin pada cekaman kekurangan air didahului oleh adanya peningkatan kadar ABA dan pemakaian prolin selama rehidrasi didahului oleh adanya penurunan kadar ABA. Fitohormon ABA dapat bekerja pada situs awal dari aktivitas enzim $\Delta 1$ -pyrroline-*E*-carboxylate synthetase (P5CS) sebagai respon untuk memacu substrat pada sintesis prolin atau pada akhir aktivitas enzim $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate reductase (P5CR) berkaitan dengan level prolin dehidrogenase (PDH). Hal itu mendukung fakta bahwa pemakaian prolin selama *recovery* dapat menurunkan level ABA indogen (Trotel-Aziz dkk., 2000). Dengan demikian adanya penurunan rata-rata laju penggunaan prolin yang ditimbulkan oleh ABA eksogen dapat dihubungkan pula pada efek penghambatan dari ekspresi gen PDH dan aktivitas PDH. Lebih lanjut dinyatakan bahwa efek penghambatan ABA pada laju penggunaan prolin tampak jelas pada potongan daun canola yang mengalami rehidrasi, tergantung pada kapasitas dari: (1) rangsangan ekspresi gen



P5CS dan aktivitas P5CS, (2) pembatasan transkripsi POH dan aktivitas PDH, dan (3) mungkin juga ada pengaruh positif dari tersedianya prekursor untuk sintesis prolin.

E. Kadar Asam Absisat (ABA)

ABA adalah hormon tanaman yang berperan memberi isyarat pada organ tumbuhan akan datangnya keadaan rawan fisiologis. Keadaan rawan tersebut antara lain kekurangan atau kelebihan air, tanah bergaram, suhu dingin atau panas (Salisbury dan Ross, 1995). Bila daun mengalami cekaman kekeringan maka ABA akan meningkat.

Tabel 10. Kadar ABA (asam absisat) Daun Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....pmol/g bobot segar.....			
0	455 c	125 a	90 a	75 a
	C	B	AB	A
12.5	265 b	125 a	85 a	75 a
	C	B	AB	A
25.0	250 b	120 a	85 a	65 a
	C	B	AB	A
37.5	155 a	100 a	75 a	60 a
	C	B	AB	A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%



Hasil analisis ragam menunjukkan efek pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA, baik secara mandiri maupun efek interaksi antara keduanya mempengaruhi kadar ABA tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji.

Data pada tabel 10 tampak menarik karena setelah diberikan cekaman kekeringan dengan kondisi sekitar 30%, pada tanaman perlakuan kontrol atau tanpa pemberian inokulan *Azospirillum* maupun CMA, kadar air tersedia selama 10 hari (saat umur tanaman 45 hst sampai 55 hst) memberikan kadar ABA yang tertinggi 455pmol/g bobot segar. Hal itu menunjukkan bahwa tanaman jagung yang tidak diberi inokulan *Azospirillum* dan CMA mengalami cekaman kekeringan yang parah, sehingga tanaman tersebut meningkatkan sintesis ABA dalam daun tanaman.

Menurut Salisbury dan Ross (1995), keadaan kekeringan meningkatkan kandungan ABA paling sedikit 20 kali lipat, sampai 8 ferntogram per sel (80-15g). Akar yang mengalami kekeringan juga membentuk ABA lebih banyak dan ABA itu diangkut melalui *xylem* menuju daun, untuk mengendalikan penutupan stomata. ABA menyebabkan stornata menutup dengan cara menghambat aktivitas pompa proton yang kerjanya bergantung pada ATP di membran plasma sel penjaga. Biasanya pompa proton mengangkut proton keluar dari sel penjaga sehingga menyebabkan terjadi aliran masuk cepat dan penimbunan K^+ , kemudian terjadi penyerapan air secara osmotik serta pembukaan stomata. Akan tetapi, ABA yang bekerja di ruang bebas pada permukaan luar membran sel penjaga membatasi masuknya K^+ , sehingga K^+ dan air merembes keluar sel penjaga, turgor sel berkurang dan stomata menutup.

Menurut Alves dan Setter (2000), pada saat kekurangan air, daun-daun ubi (*Manihot esculenta Crantz*) dengan cepat akan mengakumulasi sejumlah besar ABA. Daun-daun muda lebih banyak mengakumulasi ABA dibandingkan dengan daun-daun yang lebih



tua. Dari 5 genotip ubi yang diberikan cekaman kekeringan selama 6 hari menunjukkan rata-rata konsentrasi ABA pada daun-daun yang muda sebesar 72pmol/cm sedangkan pada daun-daun yang tua konsentrasi ABA pada saat cekaman kekeringan hanya sebesar 45pmol/cm. Sebaliknya, pada daun-daun tanaman kontrol yang tidak diberi cekaman kekeringan menunjukkan rata-rata konsentrasi ABA pada daun-daun yang muda sebesar 6.5pmol/cm, dan rata-rata konsentrasi ABA pada daun-daun yang tua sebesar 2.7pmol/cm.

Data pada tabel 10 juga menunjukkan bahwa adanya pemberian inokulan *Azospirillum* saja dengan dosis yang bervariasi mampu menurunkan kadar ABA daun. Apabila dibandingkan dengan penurunan kadar ABA tanaman yang hanya diberikan inokulan CMA saja dengan dosis yang bervariasi, penurunannya jauh lebih rendah. Akan tetapi, pada perlakuan inokulasi *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi jika diberikan bersama inokulan CMA dengan dosis yang meningkat, kadar ABA teruji tidak berbeda. Sebaliknya, pada perlakuan inokulasi CMA dengan dosis yang bervariasi jika diberikan bersama inokulasi *Azospirillum* dengan dosis yang meningkat, kadar ABA menurun. Hal itu menunjukkan bahwa *Azospirillum* dan CMA, baik diberikan secara terpisah maupun diberikan secara bersama mampu menurunkan kadar ABA tanaman jagung yang tercekam kekeringan. Namun jika inokulan *Azospirillum* dan CMA diberikan secara bersama, *Azospirillum* lebih berperan menurunkan kadar ABA tanaman yang tercekam kekeringan.

Hal tersebut diduga berkaitan dengan peran dari *Azospirillum* yang mampu memfiksasi nitrogen dan mendisimilasi nitrat menjadi gas secara bersamaan (Boddey dan Döbereiner, 1994), sehingga dapat memengaruhi level nitrogen dalam tanah dan tanaman. Orcutt dan Nilsen (2000) mengemukakan bahwa konsentrasi ABA dalam tanaman dapat dipengaruhi oleh level dan sumber nitrogen (NO_3^- atau NH_4^+). Selain itu, perubahan level-level Zn, K, dan P dalam



tanaman juga dapat memengaruhi konsentrasi ABA pada beberapa tanaman.

Selain itu, penurunan kadar ABA juga erat kaitannya dengan peran *Azospirillum* dan CMA yang dapat meningkatkan kadar air relatif daun dan kadar klorofil daun, sehingga tanaman dapat meningkatkan ketahanannya terhadap cekaman kekeringan.

Duan, dkk. (1996) dikutip Augé (2001) melaporkan bahwa pada waktu cekaman kekeringan, konsentrasi ABA dalam pembuluh *xylem* lebih rendah pada tanaman yang diinokulasi CMA dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi CMA. Selanjutnya Goicoechea, dkk. (1997) dikutip Augé (2001) juga melaporkan konsentrasi ABA yang lebih rendah pada daun dan akar tanaman yang diinokulasi CMA dibandingkan dengan tanaman yang tidak diinokulasi CMA. Hal itu mengindikasikan bahwa tanaman yang diinokulasikan CMA dapat mengurangi resiko (*strained*) akibat cekaman kekeringan dengan cara memengaruhi konduktans stomata (*stomatal conductance*). Adanya perubahan hormonal dalam tanaman yang ditimbulkan oleh kolonisasi mikoriza dapat mempengaruhi konduktans stomata. Sebagai contoh, penurunan ABA atau peningkatan sitokinin yang diangkut dari akar ke daun-daun akan menginduksi laju konduktans stomata yang lebih tinggi. Sanchez-Diaz dan Honrubia (1994) dikutip Orcutt dan Nilsen (2000), menunjukkan bahwa level ABA yang lebih rendah terjadi pada tanaman bermikoriza dibandingkan dengan tanaman yang tak bermikoriza. Lebih lanjut hal itu dapat memberi dampak pada konduktans stomata. Selanjutnya, Ebel, dkk. (1997) dikutip Orcutt dan Nilsen (2000), menemukan bahwa konduktans stomata pada kacang tunggak lebih tinggi pada tanaman yang bermikoriza dibandingkan dengan tanaman yang tak bermikoriza, bahkan ketika P daun dan potensial air jaringan telah disamakan. Rendahnya konsentrasi ABA dalam aliran transpirasi pada tanaman yang



dikolonisasi, memacu tanaman tersebut untuk mempertahankan konduktans stomata yang tinggi. Dengan kehadiran mikoriza, stomata tetap terbuka untuk suatu periode yang lebih panjang.

F. Kandungan Unsur Hara setelah Percobaan

Adanya *Azospirillum* dan CMA yang mampu meningkatkan kebutuhan hara bagi tanaman sangat bermanfaat jika kondisi lingkungan memburuk seperti berkurangnya ketersediaan air di daerah perakaran. Hal itu didukung oleh adanya peningkatan KARD dan kadar prolin serta menurunnya kadar ABA pada tanaman yang tercekam kekeringan, sehingga tanaman tersebut mampu bertahan hidup dan tetap dapat melaksanakan proses fotosintesis.

1. Fiksasi Nitrogen

Pengukuran kemampuan *Azospirillum* dalam menambat N didasarkan atas kemampuan enzim nitrogenase dalam mereduksi asetilen menjadi etilen. Etilen yang dilepaskan diukur menggunakan gas kromatografi. Asetilen digunakan sebagai substrat untuk menguji aktivitas enzim nitrogenase karena kurang toksik dan mudah tersedia (Marschner, 1995). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa baik efek mandiri maupun efek interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dan inokulan CMA teruji nyata dalam mempengaruhi fiksasi nitrogen.

Tabel 11. Fiksasi Nitrogen pada Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....nmol/g akar segar per jam.....			
0	6.5 a A	11.5 a b	18.5 a C	16.0 a BC
12.5	14.5 b A	17.0 b A	15.5 a A	19.0 ab a
25.0	13.5 b A	16.0 ab AB	16.0 a AB	19.0 ab B
37.5	13.0 b A	13.5 ab A	19.0 a AB	21.0 B

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Adanya inokulasi *Azospirillum* saja dengan dosis yang bervariasi mampu meningkatkan fiksasi nitrogen sebesar 5–12nmol/g akar segar per jam. Akan tetapi, hasil fiksasi nitrogen itu masih tergolong rendah. Menurut Döbereiner (1988), penambatan N₂ termasuk tinggi bila aktifitas nitrogenase yang terukur di atas 50nmol C₂H₄ per jam. Selanjutnya Imas dkk. (1989) menyatakan nitrogen yang disumbangkan *Azospirillum* pada tanaman, yang diukur dari kemampuan *Azospirillum* dalam memfiksasi N₂ berkisar antara 0.002–1.1kg N₂/ha per musim. Rendahnya hasil fiksasi nitrogen oleh *Azospirillum* tersebut didukung oleh Werner (1992) yang menyatakan bahwa bakteri penambat N₂ yang hidup bebas seperti *Azospirillum*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, dan *Pseudomonas* tidak memberikan



sumbangan N yang berarti bagi tanaman inangnya, tetapi lebih besar pengaruhnya terhadap pertumbuhan karena memproduksi fitohormon.

Data pada tabel 11 juga menunjukkan adanya inokulasi CMA saja dengan dosis yang bervariasi mampu meningkatkan rata-rata fiksasi N sebesar 7.2nmol/g akar segar per jam. Selanjutnya pada perlakuan inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 0.5ml per pot, pemberian inokulan CMA dengan dosis 12.5 g per pot mampu meningkatkan fiksasi N. Akan tetapi, jika dosis inokulan CMA lebih besar dari 1.25g per pot, fiksasi N yang diperoleh tidak berbeda. Demikian pula pada perlakuan inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot, pemberian CMA dengan dosis yang lebih besar tidak meningkatkan fiksasi N. Sementara pada perlakuan inokulasi 1.5ml per pot menghasilkan fiksasi N yang meningkat jika diberikan inokulan CMA dengan dosis yang besar.

Hasil yang berbeda terlihat pada perlakuan inokulasi CMA dengan dosis yang bervariasi jika diberikan lagi inokulasi *Azospirillum* dengan dosis yang meningkat, fiksasi N dapat meningkat jika CMA dan *Azospirillum* diberikan dengan dosis yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa *Azospirillum* dan CMA baik diberikan secara terpisah maupun diberikan secara bersama mampu meningkatkan fiksasi N tanaman jagung yang tercekam kekeringan. Akan tetapi, besarnya peningkatan fiksasi N juga bervariasi. Menurut Boddey dan Döbereiner (1994), faktor lingkungan rizosfer juga turut mempengaruhi proses fiksasi nitrogen pada asosiasi tanaman *Gramineae* dengan *Azospirillum* yang meliputi: temperatur maksimum-minimum tanah dan udara, kandungan nitrogen, serta kelembaban tanah (Boddey dan Döbereiner, 1994).



Selanjutnya kemampuan CMA dalam meningkatkan fiksasi N berkaitan erat dengan peran CMA dalam meningkatkan ketersediaan P pada rizosfer dan penyerapan P bagi tanaman yang bermikoriza. Kenyataan itu sejalan dengan pendapat Donahue, dkk. (1983) bahwa CMA (*Glomus*) membantu pertumbuhan bakteri untuk memfiksasi N pada tanah yang kadar P tersedianya rendah. CMA mampu meningkatkan penyerapan unsur fosfor bagi tanaman (Sieverding, 1991) dan juga meningkatkan ketersediaan P dalam tanah (tabel 16). Unsur P merupakan komponen pembentuk ATP yang merupakan sumber energi dalam proses fiksasi N₂. Keterlibatan ATP dalam fiksasi N₂ berkaitan dengan ketersediaan P dalam larutan tanah dan dalam jaringan tanaman. Gardner, dkk. (1991) menyatakan bahwa proses fiksasi nitrogen adalah suatu proses reduksi N₂ menjadi NH₃ yang membutuhkan banyak fosfat sebagai sumber energi. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Kefelogianni dan Aggelis (2002) bahwa proses fiksasi nitrogen oleh *Azospirillum sp.* merupakan aktivitas yang mengkonsumsi banyak energi dan bergantung pada ketersediaan sumber karbon di dalam tanah. Keberadaan *Azospirillum sp.* di tanah dan aktivitasnya ditunjang oleh ketersediaan bahan organik sebagai sumber karbon dalam tanah. Pada tanah Inseptisols, kandungan bahan organiknya rendah. Hal itu juga yang mengakibatkan hasil fiksasi N pada percobaan ini masih tergolong rendah.

Meskipun demikian, setiap varietas tanaman jagung yang berasosiasi dengan *Azospirillum* akan memberikan tanggapan dan hasil fiksasi N yang berbeda-beda. Hasil penelitian Sinaga (2003), menunjukkan jagung kultivar Wisanggeni yang diinokulasikan *Azospirillum sp.* dengan dosis 30g/kg benih dan kerapatan bakteri antara 1 x 10⁷ cfu per benih hingga 1 x 10⁸ cfu per benih mampu meningkatkan fiksasi N sebesar 12.4nmol/g



akar segar per jam. Akan tetapi, respons genotip jagung yang diuji dengan asosiasi dengan *Azospirillum sp.* berbeda-beda. Dari 54 genotip yang diuji, genotip Bisma SKN mampu meningkatkan fiksasi N dari 2.052nmol/g akar segar per jam menjadi 37.249nmol/g akar segar per jam. Demikian pula dengan bakteri endofitik penambat N₂ ternyata memiliki kemampuan dalam memfiksasi nitrogen yang berbeda-beda. Menurut Malik, dkk. (1997), strain bakteri *Azospirillum lipoferum* N-4 mampu memfiksasi nitrogen yang terukur dari aktivitas nitrogenasenya sebesar 686nmol C₂H₄ per jam per mg protein, sedangkan *Azospirillum brasiliense* Wb-3 sebesar 215nmol C₂H₄ per jam per mg protein .

2. Kadar Nitrogen Tanaman

Efek interaksi antara pemberian inoculan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi terhadap kadar N tanaman jagung teruji tidak bermakna, walaupun efek inoculan *Azospirillum* dan efek inoculan CMA masing-masing teruji bermakna.

Kadar N tanaman lebih tinggi searah dengan meningkatnya pemberian dosis CMA. Akan tetapi, pada dosis 12.5g per pot, CMA memberikan kadar N tanaman yang teruji tidak berbeda dibandingkan dengan tanpa pemberian inoculan CMA. Terjadinya peningkatan kadar N tanaman disebabkan CMA mampu meningkatkan penyerapan N bagi tanaman. Hal itu diduga karena pada lahan kering, nitrogen dalam tanah umumnya ditemukan dalam bentuk NO₂⁻ (nitrat), sedangkan NH⁺ (amonium) terikat oleh liat dan humus. Pada saat tanaman tercekam kekeringan karena berkurangnya air di daerah rizosfer, maka tanaman yang bermikoriza masih dapat menyerap N dalam bentuk amonium sehingga dapat meningkatkan kadar N dalam tanaman.



Tabel 12. Kadar N Daun Tanaman yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
%.....				
0	1.22	1.54	1.39	1.30	1.36 a
12.5	1.51	1.84	1.54	1.37	1.57 a
25.0	1.63	2.13	1.88	1.59	1.81 b
37.5	1.69	2.25	2.10	2.23	2.07 c
Rata-rata	1.51 A	1.94 B	1.73 B	1.62 AB	

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Menurut Tisdale, dkk. (1993) tanaman mengabsorpsi nitrogen dalam bentuk NO_3^- dan NH_4^+ . Nitrat (NO_3^-) sering menjadi sumber N yang dominan karena umumnya terdapat dalam konsentrasi yang tinggi dibandingkan dengan amonium (NH_4^+) dan ion NO_3^- bebas bergerak ke akar melalui aliran massa dan difusi. Marschner dan Deli (1994) menyatakan bahwa, tanaman bermikoriza membantu penyerapan N dari dalam tanah hanya bila N terdapat dalam bentuk amonium (NH_4^+) karena bentuk ion itu memiliki pergerakan yang lebih sulit dibandingkan nitrat (NO_3^-), maka zona kurasan amonium dapat terbentuk di sekitar akar. Selanjutnya Marschner (1995)



mengemukakan, pada umumnya NH_4^+ yang diabsorpsi bergabung menjadi senyawa organik di dalam akar, sedangkan NO_3^- lebih bersifat mobil pada xylem dan juga disimpan di vakuola akar, tajuk dan organ penyimpanan. Akumulasi NO_3^- berperan dalam menjaga keseimbangan kation-anion dan sebagai osmoregulasi.

Data pada tabel 12 menunjukkan bahwa kadar N tanaman meningkat dengan adanya inokulasi *Azospirillum*. Hal itu erat kaitannya dengan peningkatan hasil fiksasi N walaupun hasil fiksasinya rendah dan meningkatnya kandungan N total dalam tanah.

Menurut Boddey dan Döbereiner (1994), *Azospirillum* adalah mikroorganisme pertama yang bertindak sekaligus secara bersamaan memfiksasi nitrogen dan mendisimilasi nitrat menjadi gas. Akan tetapi, keefektifan asosiasi *Azospirillum* tanaman tergantung pada ketersediaan nutrisi sumber karbon, nitrogen, dan energi dalam rizosfer tanaman. Martinez-Drets, dkk. (1989) mengungkapkan bahwa aktivitas reduksi asetilen oleh *Azospirillum lipoferum* paling baik jika menggunakan glukosa sebagai sumber karbonnya, diikuti oleh malat, fruktosa, suksinat, piruvat, arabinosa, α -ketoglutarat, laktat, galaktosa, mannose, dan mannitol.

Selanjutnya pada inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 1.5ml per pot, kadar N daun tanaman tidak berbeda bila dibandingkan dengan tanaman tanpa pemberian inokulan *Azospirillum*. Hal itu dapat terjadi karena populasi *Azospirillum* yang besar dalam tanah tentu akan membutuhkan sumber karbon yang banyak pula. Akan tetapi, dengan adanya perubahan lingkungan dari kondisi air tersedia yang cukup ke kondisi kekeringan, dapat mengakibatkan terjadinya perubahan di daerah rizosfer dan berdampak pada asosiasi yang terjadi antara *Azospirillum* dan

tanaman, sehingga pada dosis inokulan *Azospirillum* yang besar tidak mampu meningkatkan kadar N tanaman.

Kadar N pada daun tanaman jagung yang tertera pada tabel 12 berkisar antara 1.22–2.25%. Menurut Jones, dkk. (1991), kandungan N dalam daun jagung (*ear leaf*) pada saat awal fase *silking* berkisar antara 2.00–2.60% tergolong rendah, 2.70–4.00% tergolong cukup, sedangkan >4.00% tergolong tinggi. Hal itu menunjukkan bahwa kadar N pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji yang diperoleh pada percobaan ini masih tergolong sangat rendah sampai rendah.

3. Kadar P (Fosfor) Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam, ternyata secara mandiri adanya pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA dapat mempengaruhi kadar P tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji. Sebaliknya, efek interaksi antara keduanya teruji tidak nyata dalam mempengaruhi kadar P tanaman.

Efek pemberian inokulan *Azospirillum* mampu meningkatkan kadar P tanaman jagung. Hal itu erat kaitannya dengan kemampuan *Azospirillum* yang dapat memproduksi auksin (Werner, 1992). Adanya auksin dapat memacu pembentukan akar lateral dan adventif tanaman yang berasosiasi dengan *Azospirillum* (Taiz dan Zeiger, 1991). Keadaan itu juga didukung oleh adanya peningkatan bobot kering akar pada tanaman yang diberi inokulan *Azospirillum*, Menurut Barber (1984) serapan P oleh tanaman hanya dapat melalui intersepsi dan difusi dalam jarak pendek (<0,02cm), sehingga efisiensi pupuk P umumnya sangat rendah. Adanya peningkatan luas permukaan akar sebagai akibat dari banyaknya akar lateral dan adventif yang terbentuk, dapat

mendekatkan serabut akar tanaman pada pool P dalam tanah, yang akan menyebabkan lebih banyak P yang dapat berdifusi ke dalam akar tanaman, sehingga dapat meningkatkan kadar P tanaman.

Tabel 13. Kadar Fosfor Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
%.....				
0	0.116	0.125	0.126	0.127	0.123 a
12.5	0.120	0.127	0.143	0.133	0.131 ab
25.0	0.123	0.137	0.164	0.147	0.143 b
37.5	0.134	0.145	0.187	0.168	0.158 c
Rata-rata	0.123	0.134	0.155	0.143	
	A	AB	C	B	

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Data pada tabel 13 juga menunjukkan, kadar P tanaman jagung lebih tinggi searah dengan peningkatan dosis inokulan CMA yang diberikan. Adanya peningkatan kadar P pada tanaman yang bermikotiza disebabkan adanya hifa eksternal CMA yang berfungsi dalam meningkatkan penyerapan hara termasuk P.



Menurut Koide, 1993 dikutip Orcutt dan Nilsen (2000), peranan CMA dalam penyediaan hara P bagi tanaman tergantung pada : (1) konsentrasi P dalam tanah; (2) afinitas datif pada akar dan cendawan untuk P; (3) karakteristik perluasan sistem perakaran yang masuk dalam tanah: (4) kebutuhan P tanaman. Selanjutnya, menurut Sieverding (1991), volume tanah yang dapat dieksplorasi oleh miselium eksternal CMA meningkat 5–200 kali, dibandingkan dengan eksplorasi akar tarpa mikoriza yang hanya 1–2cm³, yaitu berkisar antara 12–15cm³ per cm akar terinfeksi, dengan asumsi pertumbuhan radial hifa CMA mengelilingi akar.

Kadar P pada daun ke-5, 6, 7 tanaman jagung pada saat fase pengisian biji berkisar antara 0.116–0.187%. Menurut Jones, dkk. (1991) kandungan P dalam daun jagung (*ear leaf*) pada saat awal fase silking berkisar antara 0.15–0.24% tergolong rendah, 0.25–0.50% tergolong cukup, sedangkan 0.51–0.80% tergolong tinggi. Hal itu menunjukkan bahwa kadar P pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji yang diperoleh pada percobaan ini masih tergolong rendah.

4. Kadar Kalium Tanaman

Kalium diserap oleh akar tanaman dalam bentuk K⁺. Kalium diserap tanaman dalam jumlah yang mendekati bahkan kadang-kadang melebihi jumlah nitrogen, meskipun kalium tersedia dalam tanah hanya terdapat dalam jumlah yang terbatas (Ismunadji, 1989).

Efek interaksi pemberian inokulan *Azospirillum* dengan CMA, maupun efek masing-masing inokulan *Azospirillum* dan inokulan CMA terhadap kadar kalium daun tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji teruji tidak bermakna.



Tabel 14. Kadar K Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
%.....				
0	1.115	1.008	0.931	0.915	0.992
12.5	1.008	1.031	0.877	1.046	0.990
25.0	0.954	0.938	0.969	1.077	0.985
37.5	0.900	0.962	1.015	0.945	0.956
Rata-rata	0.994	0.985	0.948	0.996	

Keterangan : Semua angka tidak berbeda menurut uji F pada taraf 5%.

Data pada tabel 14 menunjukkan bahwa pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan, walaupun diberi inokulan bakteri *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi, kadar K yang diperoleh tidak berbeda, yaitu berkisar antara 0,90–1.11%.

Menurut Jones, dkk. (1991) kandungan K dalam daun jagung (*ear leaf*) pada saat awal fase silking berkisar antara 1.00–1.60% tergolong rendah, 1.70–3.00% tergolong cukup, sedangkan 3.10–5.00% tergolong tinggi. Dengan demikian data yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa kadar K pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji, masih tergolong sangat rendah sampai rendah.



Hal itu disebabkan sebagian besar unsur K bergerak ke akar tanaman melalui lapisan tipis di sekitar partikel-partikel tanah dengan proses difusi. Oleh karena rendahnya konsentrasi K dalam rizosfer pada keadaan kekurangan air, difusi K kecil dan hanya sedikit K yang dapat bergerak ke akar tanaman sehingga mengakibatkan kalium yang dapat diserap oleh tanaman pun terbatas.

Banyak sedikitnya K yang diserap tanaman tergantung pada banyak sedikitnya K yang dipasok ke permukaan akar (Barber, 1984). Air merupakan pelarut dan sekaligus mendekatkan K ke akar tanaman, selain akar sendiri bergerak mendekati K. Menurut Barber (1984), sekitar 70–80% pergerakan K ke permukaan akar melalui difusi yang terjadi sebagai akibat adanya gradien konsentrasi di sekitar akar. Kalium yang ada di sekitarnya akan berdifusi mendekati akar. Difusi berlangsung melalui selaput air yang ada, karena kecepatan difusi sangat bergantung pada kadar air tanah. Selanjutnya K yang berada pada permukaan akar akan berdifusi ke ruang luar sel akar (*outer cell*) dan selanjutnya dengan sistem *carrier* K akan masuk ke bagian dalam sel akar melalui dinding semipermeabel yang disebut dengan transport aktif (Marschner, 1995).

Rendahnya kadar K tanaman yang terdeteksi pada daun 5, 6, dan 7 setelah mengalami cekaman kekeringan selama 10 hari dari 45–55 hst juga disebabkan pada saat tanaman tercekam kekeringan kalium sangat dibutuhkan dalam proses metabolisme dalam tubuh tanaman. Menurut Subramanian (1982), pada tanaman yang tercekam kekeringan, kalium berperan dalam memperbaiki sifat morfologi (perkembangan akar yang pesat), memperbaiki sifat fisiologi tanaman seperti meningkatkan turgor, menurunkan potensial osmotik, dan mendorong agar berlangsung interaksi positif antara fitohormon

yaitu antara sitokinin dan ABA memperbaiki sifat biokimia seperti meningkatkan akumulasi prolin, meningkatkan aktivitas enzim seperti nitrate reduktase.

5. Nitrogen Total Tanah

Berdasarkan uji sidik ragam, ternyata efek mandiri pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA teruji nyata mempengaruhi kandungan nitrogen total tanah. Akan tetapi, efek interaksi antara keduanya teruji tidak nyata dalam mempengaruhi kandungan N total tanah.

Tabel 15. Kandungan Nitrogen Total pada Rizosfer Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembuangan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
%.....				
0	0.36	0.69	0.75	1.06	0.71 a
12.5	0.49	0.82	1.01	1.13	0.86 b
25.0	0.68	0.89	1.14	1.23	0.99 bc
37.5	0.81	1.04	1.23	1.33	1.10 c
Rata-rata	0.58	0.86	1.03	1.99	
	A	B	C	D	

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Data pada tabel 15 menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis inokuan *Azospirillum* yang diberikan maka kandungan N total tanah semakin tinggi pula. Adanya peningkatan N total



tanah diduga erat kaitannya dengan kemampuan *Azospirillum* dalam memproduksi auksin yang dapat memacu perkembangan akar rambut pada daerah perakaran, yang tampak pada semakin beratnya bobot kering akar. Akar-akar rambut tersebut pada saat media tanahnya kering akan mengalami kerusakan korteks I lisis dan akar rambut yang mati dapat merupakan sumber bahan organik dalam tanah yang dapat didekomposisi oleh mikroorganisme tanah, sehingga menyebabkan peningkatan N total tanah. Menurut Salisbury dan Ross (1995), 90% nitrogen total dalam tanah terdapat dalam bentuk bahan organik.

Demikian pula dengan efek inokulan CMA. Adanya pemberian CMA dengan dosis yang bervariasi ternyata mampu meningkatkan kandungan N total tanah. Adanya peningkatan kandungan N total tanah diduga akibat adanya penyerapan N dalam bentuk NH_4^+ oleh CMA (Marschner dan Deli, 1994) dan adanya bakteri penambat N *Indigenous* ataupun mikroorganisme lainnya yang berperan dalam dekomposisi bahan organik dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan kandungan N total tanah.

Kandungan N total tanah pada percobaan ini berkisar antara 0.36–1.33%. Menurut kriteria penilaian sifat kimia tanah (Hardjowigenq 1995), kandungan N tanah 0.21–0.50% tergolong sedang, 0.51–0.75% tergolong tinggi, sedangkan 0,75% tergolong sangat tinggi. Hal itu menunjukkan bahwa kandungan N total pada rizosfer tanaman jagung yang diperoleh pada percobaan ini tergolong sedang sampai sangat tinggi, bahkan lebih tinggi bila dibandingkan dengan status N pada awal percobaan. Keadaan tersebut akan sangat menguntungkan pada saat pemberian air kembali, karena N sangat dibutuhkan dalam proses pertumbuhan.

6. Fosfor Tersedia Tanah

Dalam tanah, hara P merupakan hara yang tidak mobil dan efisiensinya hanya $\pm 20\%$, sehingga P yang tidak diserap tanaman akan tetap berada dalam tanah sebagai residu menjadi P cadangan dalam bentuk Fe-P, Ca-P atau diikat bahan organik dan masih dapat tersedia bagi tanaman (Adiningsih, dkk., 1995). Tisdale, dkk. (1993), fosfor yang terdapat dalam larutan tanah, terutama dalam bentuk ortofosfat primer (H_2PO_4^-) dan sekunder (HPO_4^-). merupakan bentuk-bentuk yang tersedia bagi tanaman. Pada pH 7.2 jumlah ion H_2PO_4^- hampir sama dengan HPO_4^- . Di bawah pH tersebut, ion H_2PO_4^- merupakan bentuk utama dan banyak terdapat dalam tanah-tanah pertanian. Menurut Schachtman, dkk. (1998), fosfor tanah ditemukan dalam kelompok-kelompok berbeda, seperti sebagai bentuk P organik (20–80%) dan biasanya *phytic acid (inositol hexaphosphate)* yang merupakan komponen yang terbanyak. Sisanya ditemukan dalam fraksi anorganik yang mengandung 170 bentuk-bentuk mineral P.

Ketersediaan P tanah untuk tanaman terutama sangat dipengaruhi oleh sifat dan ciri tanahnya sendiri. Pada percobaan ini, tanah yang digunakan sebagai media tumbuh memiliki tekstur lempung berdebu (*silt loam*) dengan kandungan liat sebesar 59.61%, mineral liatnya adalah Halloysit (tipe 1:1), pH tanah tergolong masam, P potensial rendah. Keberadaan media tanah ini memungkinkan P tersedia untuk tanaman menjadi rendah. Pada tanah-tanah yang banyak mengandung liat dengan tipe 1:1, seperti yang banyak dijumpai pada daerah dengan curah hujan tinggi dan temperatur tinggi, sudah tentu lebih kuat mengikat P, seperti tanah-tanah di Indonesia.

Penyebab utama hubungan ketersediaan P dengan pH tanah adalah peranan ion-ion Fe, Al dan Mn pada tanah-tanah masam



dan ion Ca serta Mg pada tanah basa. Adanya ion-ion Fe (8.81mg/kg) dan Al-dd (0.26cmol/kg) pada tanah percobaan ini dapat mengikat P sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman.

Berdasarkan analisis sidik ragam, ternyata efek mandiri pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA teruji nyata dalam mempengaruhi ketersediaan hara P pada rizosfer tanaman jagung. Akan tetapi, efek interaksi antara kedua perlakuan tersebut teruji tidak bernakna dalam mempengaruhi ketersediaan hara P pada larutan tanah.

Pemberian inokulan *Azospirillum* mampu meningkatkan ketersediaan fosfor dalam larutan tanah. Adanya peningkatan P tersedia tersebut berkaitan dengan kemampuan dari *Azospirillum* dalam memproduksi IAA (Werner, 1992), yang dapat memacu pembentukan akar dan rambut-rambut akar, sehingga dapat memperluas daerah serapan hara dan air (Hadas dan Okon, 1987), yang dapat mengakibatkan tanaman tumbuh dengan baik. Selanjutnya, tanaman dalam proses pertumbuhannya akan banyak mengeluarkan eksudat-eksudat akar, berupa asam-asam organik dan enzim (Atlas dan Bartha, 1993).

Tabel 16. Fosfor Tersedia pada Rizosfer Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
%				
0	10.83	11.46	12.10	11.88	11.57 a
12.5	11.14	11.77	12.08	12.19	11.78 a
25.0	11.46	11.80	12.71	12.78	12.19 a
37.5	12.71	12.00	13.64	13.76	13.05 b
Rata-rata	11.54 A	11.76 A	12.63 B	12.68 B	

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Petersen and Böttger (1991) mengemukakan akar tanaman jagung mengsekresikan *glycolate*, *glyoxylate*, *fumarate*, *2-oxoglutarate* dan *oxalate*, sedangkan malate tidak dapat dideteksi. Keberadaan asam-asam organik itu dapat menghasilkan anion yang akan membentuk senyawa kompleks yang sukar larut dengan Al dan Fe, sehingga ketersediaan P pada rizosfer tanaman meningkat. Selain itu, Seshadri dkk. (2000), mengemukakan bahwa kelarutan fosfat dapat juga terjadi melalui perubahan PH dengan adanya sekresi asam-asam organik oleh bakteri pelarut fosfat dan adanya disosiasi proton kation. Kelarutan fosfat



tersebut dapat menyebabkan ketersediaan P pada rizosfer tanaman meningkat.

Hasil yang diperoleh ini sesuai dengan hasil penelitian Hanafiah (2001) pada tanaman padi sawah tadah hujan yang diinokulasikan *Azospirillum brasilense* (109 sel/ml per pot) + 0.959g per pot N + 1.091g per pot P) yang memberikan P tersedia sebesar 14.76mg/kg P, sedangkan pada perlakuan kontrolnya hanya menghasilkan 11.02mg/kg P.

Data pada tabel 16 menunjukkan bahwa pemberian inokulan CMA pada dosis 12.5g per pot dan 25.0g per pot belum mampu meningkatkan ketersediaan P dalam tanah. Akan tetapi, pada pemberian dosis inokulan CMA yang tinggi (37.5g per pot), CMA mampu meningkatkan ketersediaan P dalam tanah.

Adanya peningkatan ketersediaan P tanah sebagai efek inokulasi CMA disebabkan CMA dengan hifa eksternal yang dimilikinya dapat menjangkau pori mikro tanah sehingga dapat meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman. Hal itu sesuai dengan pendapat Baon (1997) dan Simanungkalit (2001) bahwa hifa CMA tidak hanya tumbuh menyebar di dalam korteks akar tetapi juga tumbuh ke luar ke dalam tanah dan berfungsi sebagai perpanjangan tangan akar terutama di dalam menyerap P anorganik pada jarak yang sangat jauh dari jangkauan rambut akar.

Selain itu, adanya enzim fosfatase yang dihasilkan mikroba dan akar tanaman dapat juga meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman (Atlas dan Bartha, 1993). Reaksi pelarutan oleh berbagai enzim pelarut P dapat ditulis sebagai berikut.

- a. Ester fosfat + H₂O $\xrightarrow{\text{fosfatase}}$ ROH + Fosfat (tersedia)
- b. Pirofosfat + H₂O $\xrightarrow{\text{pirofosfatase}}$ 2 ortofosfat (tersedia)
- c. Heksa fosfat inositol + 6 H₂O $\xrightarrow{\text{fitase}}$ inositol + 6 fosfat (tersedia)
- d. Metafosfat $\xrightarrow{\text{metafosfatase}}$ ortofosfat (tersedia)

Menurut Goenadi, dkk. (1993), cendawan lebih mampu melarutkan P dalam bentuk AlPO₄ pada tanah masam, sedangkan bakteri lebih efektif melarutkan P dalam bentuk CaPO₄ pada tanah alkali. Narsian dan Patel (2000) mengemukakan bahwa mikroba pelarut fosfat melarutkan P melalui proses asidifikasi, khelasi, dan reaksi pertukaran.

Data P tersedia tanah yang tertera pada tabel 16 berkisar antara 10.83–13.86mg/kg P. Menurut kriteria penilaian sifat kimia tanah (Hardjowigeno, 1995), P tersedia tanah <10 mg/kg tergolong sangat rendah, 10–20mg/kg tergolong rendah. Hal itu menunjukkan bahwa P tersedia pada rizosfer tanaman jagung yang diperoleh pada percobaan ini masih tergolong rendah. Akan tetapi, menurut Tisdale, dkk. (1993) pada umumnya konsentrasi P sebesar 0.2–0.3mg/kg dalam larutan tanah sudah cukup menunjang suatu pertumbuhan maksimal sebagian besar tanaman pertanian.

7. Kalium Tersedia Tanah

Kalium tersedia tanah adalah kalium yang dapat dipertukarkan dan dapat diserap tanaman. Berdasarkan uji sidik ragam, ternyata efek mandiri maupun efek interaksi antara pemberian inokulan bakteri *Azospirillum* dan CMA teruji tidak nyata dalam mempengaruhi kalium tersedia pada tanah yang



ditanami tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji.

Tabel 17. Kalium Tersedia pada Rizosfer Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
	.....c mol/kg.....				
0	0.107	0.120	0.106	0.104	0.109
12.5	0.112	0.107	0.109	0.110	0.109
25.0	0.113	0.113	0.106	0.109	0.110
37.5	0.108	0.120	0.106	0.106	0.110
Rata-rata	0.110	0.115	0.106	0.107	

Keterangan : Semua angka tidak berbeda menurut uji F pada taraf 5%.

Data pada tabel 17 menunjukkan bahwa K-dd yang diperoleh akibat adanya pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA berkisar antara 0.104–0.120cmol/kg. Hal ini diduga karena kalium yang terdapat dalam tanah percobaan hanya sebesar 0.20cmol/kg dan tergolong rendah. Adanya penambahan pupuk kalium sebesar 50kg/ha K (1g KCl per lubang tanam) tidak menambah ketersediaan K dalam tanah, namun terserap oleh akar tanaman untuk keperluan metabolisme tanaman dalam menghadapi cekaman lingkungan (kekeringan).

Menurut Barber (1984), banyak sedikitnya K yang dipasok ke permukaan akar bergantung pada: (1) luas permukaan akar yang ditentukan oleh perkembangan rambut akar, (2) tingkat

keberadaan K pada larutan tanah sebelum akar tumbuh. (3) kekuatan penyangga K dalam tanah yang akan menentukan K dapat ditukar menjadi K terlarut berhubungan dengan besar kecilnya kapasitas tukar kation (KTK), semakin besar KTK semakin kuat K dijerap oleh koloid tanah, sehingga sulit dilepas menjadi K terlarut, (4) ketersediaan K dalam tanah.

G. Hasil Tanaman Jagung

Adanya *Azospirillum* dan CMA mampu membuat tanaman bertahan hidup dan tetap dapat melaksanakan proses fotosintesis yang ditandai dengan meningkatnya bobot kering pupus. Fotosintat yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang diimbangi dengan translokasi sebagian besar fotosintat ke bagian reproduktif tanaman. Setelah periode cekaman berakhir atau saat tanaman diairi kembali, tampak tanaman yang dinokulasi *Azospirillum* dan CMA cepat pulih sehingga mampu mendorong perkembangan biji. Oleh karenanya, hasil biji jagung dapat ditingkatkan.

1. Bobot Kering Pupus Tanaman

Bobot kering pupus mencerminkan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis tanaman dari senyawa anorganik, dan ditranslokasikan ke bagian atas tanaman (pupus/tajuk). Akan tetapi, dalam penelitian ini bobot kering pupus tidak termasuk kelobot, tongkol dan biji jagung.

Berdasarkan uji sidik ragam, adanya inokulan *Azospirillum* dan CMA baik secara mandiri maupun interaksi antara keduanya teruji nyata dalam mempengaruhi bobot kering pupus tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji.



Tabel 18. Bobot Kering Pupus Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....g per tanaman.....			
0	36.43 a A	43.85 a B	45.75 b B	47.85 b B
12.5	40.58 A	42.20 a A	50.31 b B	51.39 b B
25.0	45.14 b AB	39.57 a A	57.38 c C	49.99 b B
37.5	53.14 c C	42.59 a B	35.02 a A	33.67 a A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%.

Pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi tanpa inokulan CMA, mampu meningkatkan bobot kering pupus tanaman bila dibandingkan dengan tanpa pemberian inokulan (kontrol). Adanya peningkatan bobot kering pupus tanaman jagung terkait dengan peranan *Azospirillum* yang dapat membantu tanaman dalam meningkatkan kadar klorofil daun, kadar nitrogen daun, dan kadar P daun sehingga bobot kering pupus dapat meningkat.

Adanya pemberian inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot tanpa pemberian inokulan *Azospirillum* belum mampu meningkatkan bobot kering pupus. Akan tetapi, pada pemberian inokulan CMA dengan dosis yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa CMA mampu meningkatkan bobot kering

pupus pada tanaman jagung yang tercekam kekeringan. Menurut Osonubi, dkk. (1991) keberadaan CMA pada tanaman yang tercekam kekeringan akan menguntungkan karena dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan bertahan pada kondisi kekurangan air. Rusaknya jaringan korteks akibat kekurangan air dan matinya akar tidak memengaruhi akar bermikoriza secara permanen. Hal itu terjadi karena hifa cendawan mampu menyerap air yang ada pada pori tanah saat akar tanaman tidak mampu lagi menyerap air. Penyebaran hifa yang sangat luas di dalam tanah menyebabkan jumlah air yang diambil meningkat. Keadaan itu didukung adanya peningkatan KARD, kadar N dan kadar P.

Bobot kering pupus tanaman jagung yang tinggi diperoleh pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0ml per pot bersama pemberian inokulan CMA dengan dosis 25.0g per pot yaitu 57.38g per tanaman. Adanya pemberian inokulan *Azospirillum* dengan inokulan CMA secara bersama-sama ke dalam media tumbuh dapat membantu meningkatkan penyerapan hara bagi tanaman, sehingga walaupun terjadi cekaman kekeringan sesaat selama fase pembungaan sampai pengisian biji, bobot kering pupus nampak meningkat. Hal itu disebabkan karena proses metabolisme dalam tubuh tanaman tetap berjalan. Tanaman dapat bertahan ditandai dengan rendahnya kadar ABA dalam daun, meningkatnya kadar prolin, serta adanya peningkatan KARD pada tanaman.

Data pada tabel 18 menunjukkan adanya pemberian inokulan CMA dan *Azospirillum* dengan dosis tinggi menghasilkan bobot kering pupus yang lebih rendah. Hal itu dapat terjadi karena ketika populasi CMA dan *Azospirillum* terlalu besar pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan seperti kekeringan, dapat berdampak negatif



bagi pertumbuhan tanaman. Selanjutnya dampak negatif tersebut mengakibatkan bobot kering pupus rendah. Menurut Gianinazzi-Pearson dan Gianinazzi (1984), kondisi yang tidak optimum dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman inang menjadi tertekan. Hal itu terjadi karena mikroba yang ada di rizosfer akan bersaing dalam memperebutkan sumber karbon, sehingga tidak mampu memberikan sumbangan bagi tanaman inang.

2. Bobot Kering Akar Tanaman

Bobot kering akar mencerminkan akumulasi senyawa organik yang berhasil disintesis tanaman dari senyawa anorganik. Sebelumnya, senyawa-senyawa anorganik tersebut telah ditranslokasikan ke bagian akar tanaman. Hasil analisis ragam, menunjukkan bahwa baik efek mandiri inokulan *Azospirillum* dan CMA maupun efek interaksi antara keduanya teruji nyata dalam mempengaruhi bobot kering akar (BKA).

Tabel 19. Bobot Kering Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....g per tanaman.....			
0	7.45 a A	8.24 a A	8.79 a A	11.89 c B
12.5	7.57 a A	8.60 a A	9.99 ab B	10.61 c B
25.0	8.79 ab A	8.93 a A	10.72 b B	9.03 b A
37.5	9.76 b B	8.54 a AB	7.43 a A	7.61 a A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%.

Adanya peningkatan bobot kering akar tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji didorong oleh adanya kemampuan bakteri *Azospirillum* dalam meningkatkan rambut akar (Morgerstem dan Okon, 1987). Hal itu berkaitan dengan kemampuannya dalam mengekskresikan hormon tumbuh yaitu auksin (*indole acetic acid*). Prekursor IAA adalah indol yang dapat disintesis oleh bakteri karena adanya *tryptophan* yang banyak terdapat di rizosfer dan aktivitas enzim *tryptophanase* (Gunarto, 1992). Taiz dan Zeiger (1991) mengemukakan bahwa pembentukan akar lateral dan adventif dipacu oleh IAA pada konsentrasi 0.01µg/L sampai 0.1µg/L. Konsentrasi IAA yang disekresikan oleh beberapa strain *Azospirillum* bervariasi sekitar 0.14–322.28µM



(Gunarto, 1995). Kemampuan memproduksi IAA yang tinggi itu ditunjukkan bakteri *Azospirillum* dalam merangsang pertumbuhan rambut akar yang banyak pada tanaman jagung. Adanya perbaikan pertumbuhan akar menyebabkan tanaman mempunyai kemampuan yang lebih baik dalam menyerap hara.

Data pada tabel 19 juga menunjukkan pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 0.5ml per pot dan 1.0ml per pot memberikan bobot kering akar yang teruji tidak berbeda. Hal itu terjadi karena jumlah IAA yang disekresikan *Azospirillum* tidak ditentukan oleh jumlah sel bakteri, melainkan ditentukan oleh kematangan fisiologis sel. Selama pertumbuhan fase eksponensial, produksi IAA oleh beberapa strain *Azospirillum* meningkat tajam. Sel lebih aktif secara fisiologis pada fase pertumbuhan eksponensial dibandingkan dengan pada tahap pertumbuhan awal dan akhir (Gunarto, 1995).

Pemberian inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot sampai 25.0g per pot tanpa inokulan *Azospirillum* tidak mampu meningkatkan bobot kering akar tanaman jagung. Hal tersebut diduga adanya CMA pada tanaman dapat mengakibatkan partisi biomassa ke tajuk akan lebih besar pula, sehingga distribusi asimilat ke akar menjadi kecil. Akan tetapi, bila tanaman jagung diberikan CMA dengan dosis yang tinggi yaitu 37.5g per pot, CMA mampu meningkatkan bobot kering akar. Menurut Sieverding (1991), aliran karbohidrat pada tanaman yang bermikoriza tergantung pada spesies tanaman inang dan spesies CMA. Namun, diperkirakan bahwa karbohidrat yang digunakan untuk membentuk biomassa akar oleh CMA sebanyak 1–17% dari total karbohidrat untuk perkembangan dan aktivitasnya.

Sebaliknya, pada pemberian inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot yang diberikan bersama inokulan *Azospirillum*



dengan dosis 1.0ml per pot dan 1.5ml per pot mampu meningkatkan bobot kering akar tanaman jagung.

3. Rasio Pupus Akar

Rasio Pupus Akar (RPA) menggambarkan perbandingan antara bobot kering tanaman bagian atas tanah dengan bobot kering tanaman bagian bawah tanah.

Berdasarkan uji sidik ragam, ternyata efek interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dengan CMA maupun efek pemberian inokulan *Azospirillum* dan efek inokulan CMA masing-masing teruji tidak bermakna dalam mempengaruhi RPA tanaman jagung yang tercekam kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji.

Walaupun rasio atau nisbah pupus akar dikendalikan secara genetik, rasio pupus akar juga sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan (Gardner dkk.,1991). Dikemukakan pula bahwa dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman, khususnya pada pertumbuhan vegetatif, membutuhkan keseimbangan antara pertumbuhan pupus dan pertumbuhan akar. Daun dan bagian tanaman berwarna hijau berfungsi dalam proses fotosintesis. Hasil fotosintesis berupa hidrokarbon akan ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman, baik ke atas (pupus), maupun ke bawah (akar), sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan bagian-bagian tanaman tersebut. Akar memerlukan asimilat untuk pertumbuhan dan perkembangan perakaran yang lebih panjang dan lebih luas. Hal tersebut diperlukan untuk menyerap lebih banyak unsur hara dan air. Daun memerlukan asimilat untuk pertumbuhan dan perkembangan luas daun agar dapat menyerap cahaya matahari yang lebih banyak untuk proses fotosintesis.



Tabel 20. Rasio Pupus Akar Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.5	1.0	1.5	
0	4.89	5.32	5.21	4.03	4.86
12.5	5.36	4.90	5.07	4.84	5.04
25.0	5.15	4.89	5.36	5.53	5.22
37.5	5.46	4.98	4.77	4.40	4.90
Rata-rata	5.22	5.02	5.10	4.70	

Keterangan : Semua angka tidak berbeda menurut uji F pada taraf 5%.

Data pada tabel 20, menunjukkan bahwa adanya pemberian inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot sampai 25g per pot memberikan rata-rata rasio pupus akar 5.0–5.22. Demikian pula adanya pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 0.5ml per pot dan 1.5ml per pot memberikan rata-rata rasio pupus akar 5.02–5.10. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan CMA dan *Azospirillum* akan sangat menguntungkan pada tanaman yang tercekam kekeringan. Hairiah (1996), bahwa rasio pupus akar merupakan variabel yang dapat mencerminkan kondisi lingkungan tumbuh tanaman. Secara umum, pada kondisi lingkungan optimal rasio pupus akar tanaman semusim adalah 5–10.

4. Diameter Tongkol

a. Tanaman Jagung di Rumah Kaca

Pengamatan komponen hasil (diameter tongkol, panjang tongkol, jumlah biji per tongkol, bobot 25 biji) dan hasil biji jagung dilakukan setelah tanaman jagung diiri kembali.



Adanya pemberian cekaman kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji tampaknya membuat tanaman menderita. Hal ini ditandai dengan tingginya kadar ABA pada tanaman yang tidak diinokulasi *Azospirillum* dan CMA (kontrol). Namun setelah diairi kembali, tanaman tanaman segera pulih. Sesuai dengan pendapat dari Sutoro, dkk. (1989), reaksi pemulihan tanaman sebagai akibat adanya perubahan kondisi tanah dari kelembaban rendah ($pF > 2.2$) menjadi tinggi ($pF < 1.6$) yang terjadi pada tanaman jagung lebih baik daripada tanaman sorgum.

Hasil analisis sidik ragam, menunjukkan bahwa efek interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dan inokulan CMA dengan dosis yang bervariasi teruji nyata dalam mempengaruhi diameter tongkol jagung.

Tabel 21. Diameter Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....cm.....			
0	1.15 a A	2.30 a C	1.63 a AB	1.70 a B
18.75	1.90 A	2.15 a A	1.85 ab A	1.65 a A
37.50	2.35 c B	2.00 a B	2.00 ab B	1.35 a A
56.25	1.75 b A	2.48 a B	2.30 b B	1.40 a A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%



Pada perlakuan yang diberikan inokulan 0.5ml per pot dan 1.5ml per pot *Azospirillum*, adanya pemberian inokulan CMA dengan dosis yang bervariasi tidak mampu meningkatkan diameter tongkol jagung. Demikian pula, pada perlakuan yang diberikan inokulan CMA dengan dosis 12.5g per pot, adanya pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi tidak mampu meningkatkan diameter tongkol jagung.

Diameter tongkol jagung terbesar yaitu 2.48cm, diperoleh pada pemberian inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 0.5ml per pot bersama pemberian inokulan CMA dengan dosis 37.3g per pot. Adanya cekaman kekeringan selama fase pembungaan sampai pengisian biji dapat menurunkan hasil tanaman. Penurunan hasil berhubungan dengan komponen hasil seperti diameter tongkol. Menurut hasil penelitian Rifin (1990), cekaman air (kekeringan) yang terjadi pada umur 50–60 hst dan 60–70 hst menghasilkan diameter tongkol yang terkecil. Meskipun demikian, adanya inokulasi *Azospirillum* dan CMA terbukti mampu meningkatkan diameter tongkol jagung. Hal itu disebabkan oleh terjadinya penyerapan hara yang baik pada tanaman yang diinokulasi *Azospirillum* dan CMA. Penyerapan hara yang baik saat cekaman membantu tanaman agar tetap melaksanakan proses metabolisme dan mentranslokasikan fotosintat ke buah termasuk tongkol jagung. Oleh karena itu diameter tongkolnya dapat lebih besar dibandingkan dengan tanaman jagung tanpa inokulasi.

b. Tanaman Jagung di Lapangan

Efek interaksi pemberian inokulan *Azospirillum* dengan pemberian CMA, serta efek inokulan *Azospirillum* dan efek

inokulan CMA masing-masing terhadap diameter tongkol jagung teruji tidak bermakna.

Tabel 22. Diameter Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Percobaan Lapangan

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.3	0.6	0.9	
	.....cm.....				
0	2.42	2.58	2.35	2.47	2.45
12.5	2.35	2.45	2.68	2.55	2.51
25.0	2.26	2.78	2.48	2.30	2.45
37.5	2.34	2.90	2.63	2.89	2.69
Rata-rata	2.34	2.68	2.53	2.55	

Keterangan : Semua angka tidak berbeda menurut uji F pada taraf 5%.

Data pada tabel 22, menunjukkan bahwa diameter tongkol jagung pada percobaan lapangan tidak berbeda, yaitu berkisar antara 2.26—2.90cm, walaupun diberi inokulan bakteri *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi.

Diameter tongkol jagung pada percobaan lapangan ini teruji tidak berbeda diduga karena *Azospirillum* dan CMA yang diinokulasikan ke dalam tanah dapat berkembang dengan baik walaupun diberikan dalam dosis yang rendah. Tanaman jagung yang telah diinokulasikan *Azospirillum* dan CMA dapat bertumbuh dengan baik walaupun mengalami cekaman kekeringan sesaat selama fase pembungaan sampai



pengisian biji. Hal itu terjadi karena *Azospirillum* dapat membantu pertumbuhan akar dan akar rambut sehingga mampu memperluas daerah serapan hara dan air walaupun terjadi cekaman kekeringan pada tanah lapisan atas. Demikian pula dengan adanya inokulasi CMA, hifa eksternal CMA mampu menjangkau hara dan air yang lebih banyak.

5. Panjang Tongkol

a. Tanaman Jagung di Rumah Kaca

Adanya inokulasi *Azospirillum* dapat memberikan pengaruh yang bermakna terhadap panjang tongkol jagung, sedangkan inokulan CMA maupun interaksi antara keduanya teruji tidak bermakna dalam mempengaruhi panjang tongkol jagung.

Kekurangan air yang terjadi pada fase pembungaan sampai pengisian biji dapat memengaruhi komponen hasil seperti panjang tongkol. Hal itu sesuai dengan pendapat Rifin (1990), bahwa cekaman air yang terjadi pada umur 50–70 hst menjadikan panjang tongkol pendek. Akan tetapi, inokulasi *Azospirillum* mampu meningkatkan panjang tongkol jagung.



Tabel 23. Panjang Tongkol Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....cm.....			
0	3.90	7.53	6.35	4.00
12.5	4.65	6.60	4.40	5.28
25.0	4.63	5.79	6.83	3.60
37.5	6.33	5.25	5.70	5.23
Rata-rata	4.88 AB	6.29 B	5.82 B	4.53 A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

b. Tanaman Jagung di Lapangan

Efek interaksi pemberian inokulan *Azospirillum* dengan pemberian CMA, serta efek inokulan *Azospirillum* dan efek inokulan CMA masing-masing teruji tidak bermakna terhadap panjang tongkol jagung. Data menunjukkan bahwa panjang tongkol jagung pada percobaan lapangan tidak berbeda, yaitu berkisar antara 6.01–7.78cm, walaupun diberi inokulan bakteri *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi.

Tabel 24. Panjang Tongkol Tanaman Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Percobaan Lapangan

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.3	0.6	0.9	
	.....cm.....				
0	6.08	6.33	5.84	6.01	6.07
18.75	6.34	6.32	6.10	6.67	6.36
37.50	6.33	6.97	6.95	7.11	6.84
56.25	6.03	8.34	6.64	7.88	7.22
Rata-rata	6.20	6.99	6.38	6.92	

Keterangan : Semua angka tidak berbeda menurut uji F pada taraf 5%.

Hal itu diduga karena tanaman saling menaungi dan memengaruhi hasil dan komponen hasil jagung. Selain itu, penggunaan naungan plastik pada tanaman jagung di lapangan, mengakibatkan intensitas cahaya yang diterima tanaman rendah. Keadaan itu juga menyebabkan tanaman jagung tumbuh memanjang (tinggi), sehingga panjang tongkol menjadi tidak berbeda walaupun diberikan inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi.

6. Jumlah Biji Per Tongkol

a. Tanaman Jagung di Rumah Kaca

Berdasarkan uji sidik ragam, baik efek mandiri maupun efek interaksi antara inokulan *Azospirillum* dan CMA teruji nyata dalam mempengaruhi jumlah biji per tongkol jagung.



Pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 1.0 ml per pot dengan inokulan CMA dengan dosis 25 g per pot, mampu memberikan jumlah biji per tongkol terbanyak yaitu 75 biji.

Tabel 25. Jumlah Biji per Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....biji.....			
0	15.50 a A	25.50 a AB	26.00 a AB	32.00 b B
12.5	19.50 a A	40.00 b B	29.00 a AB	30.50 b AB
25.0	33.00 ab B	35.50 ab B	75.00 c C	15.00 a A
37.5	26.00 a B	45.00 b C	56.00 b C	5.50 a A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Menurut Passioura (1994), kekurangan air pada tanaman jagung akan menghasilkan tongkol yang lebih kecil dan jumlah biji yang sedikit karena tongkol tidak terisi penuh. Hal itu disebabkan pada cekaman kekeringan yang terjadi selama fase pernbungaan sampai pengisian biji memengaruhi tingkat kematangan bunga betina, sehingga tidak semuanya siap dibuahi. Selain itu, status air yang rendah pada waktu pernbungaan dapat menyebabkan

infertilitas, aborsi bunga dan aborsi zigot. Akan tetapi, dengan adanya inokulasi *Azospirillum* dan CMA secara bersama dapat meningkatkan jumlah biji per tongkol jagung. Hal itu disebabkan adanya penyerapan hara yang lebih baik. Proses metabolisme dapat terus berjalan walaupun tanaman tercekam kekeringan.

Hal yang menarik, bila inokulan *Azospirillum* dan CMA diberikan dalam jumlah dosis yang besar (1.5m per pot *Azospirillum* dan 37.5g per pot CMA), hanya memberikan jumlah biji jagung per tongkol paling sedikit. Jumlah biji tersebut lebih rendah dari jumlah biji jagung per tongkol pada tanaman tanpa inokulasi *Azospirillum* dan CMA (kontrol). Menurut Gianinazzi-Pearson dan Gianinazzi (1984), pada awal perkembangannya, cendawan bersifat parasit bagi tanaman. Jika kondisi tidak optimum, cendawan dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman inang menjadi tertekan. Demikian pula yang terjadi jika inokulan *Azospirillum* dalam jumlah besar, dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (kekeringan) malah merugikan tanaman. Sebab mikroba tersebut akan bersaing dalam memperebutkan sumber karbon di daerah rizosfer sehingga tidak mampu memberikan sumbangan bagi tanaman.

b. Tanaman Jagung di Lapangan

Efek interaksi pemberian inokulum *Azospirillum* dengan pemberian CMA terhadap jumlah biji per tongkol jagung teruji tidak bermakna. Namun, masing-masing efek inokulan *Azospirillum* dan efek inokulan CMA teruji bermakna.



Tabel 26. Jumlah Biji per Tongkol Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Percobaan Lapangan

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.3	0.6	0.9	
	.....cm.....				
0	72.18	102.31	80.38	99.45	88.58 a
18.75	88.15	116.98	99.40	97.10	100.41 a
37.50	91.42	102.85	116.90	106.91	104.52 a
56.25	82.14	162.51	123.37	142.24	127.57 b
Rata-rata	83.47 A	121.16 B	105 B	111.42 B	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang bervariasi memberikan perbedaan jumlah biji jagung per tongkol yang nyata dibandingkan dengan tanpa inokulasi *Azospirillum* (kontrol). Akan tetapi, jumlah biji per tongkol tersebut teruji tidak berbeda walaupun dosis inokulan *Azospirillum* yang diberikan berbeda. Hal itu membuktikan bahwa meskipun diberikan dengan dosis yang rendah, *Azospirillum* telah mampu berperan meningkatkan jumlah biji per tongkol. Selanjutnya, untuk inokulasi CMA pada dosis 18.75g per tanaman sampai 37.5g per tanaman, menghasilkan tanaman jagung dengan jumlah biji per

tongkol yang tidak berbeda dibandingkan dengan tanpa inokulasi CMA. Jumlah biji per tongkolnya teruji berbeda setelah diinokulasikan dengan dosis CMA 56.25g per tanaman.

Tanaman yang mengalami kekurangan air dengan kadar air tanah tersedia sekitar 53–65% yang terjadi selama fase pembungaan sampai pengisian biji menyebabkan berkurangnya jumlah biji. Sebab, proporsi bahan kering yang dihasilkan saat pembungaan berkurang. Menurut Warisno (1998), kekurangan air pada saat pembentukan bunga jantan sampai pemasakan biji mengakibatkan pembuahan yang terjadi sedikit sehingga pengisian biji tidak sempurna dan jagung tidak terisi penuh (ompong). Akan tetapi, dengan adanya inokulasi *Azospirillum* dan CMA menyebabkan jumlah biji per tongkol dapat meningkat.

7. Bobot 25 Biji

a. Tanaman Jagung di Rumah Kaca

Adanya inokulasi *Azospirillum* dapat memberikan pengaruh yang bermakna terhadap bobot 25 biji jagung, sedangkan inokulan CMA maupun interaksi antara inokulan *Azospirillum* dan CMA pengaruhnya tidak bermakna terhadap bobot 25 biji jagung.

Kekurangan air yang terjadi pada fase pembungaan sampai pengisian biji dapat memengaruhi komponen hasil seperti bobot 25 biji jagung. Akan tetapi, dengan adanya inokulasi *Azospirillum* dengan dosis 0.5ml per pot dan 1.0ml per pot mampu meningkatkan bobot 25 biji jagung.

Selanjutnya untuk dosis pemberian inokulan *Azospirillum* yang lebih tinggi ternyata menghasilkan bobot 25 biji jagung yang tidak berbeda bila dibandingkan dengan tanpa inokulan *Azospirillum*.



Tabel 27. Bobot 25 Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....gram.....			
0	5.87	6.29	7.40	5.46
12.5	6.12	5.70	7.56	4.56
25.0	5.99	9.19	5.31	4.36
37.5	6.06	9.11	5.88	7.10
Rata-rata	6.01	7.57	6.54	5.37
	A	B	AB	A

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

b. Tanaman Jagung di Lapangan

Efek interaksi pemberian inokulan *Azospirillum* dengan pemberian CMA, serta efek inokulan *Azospirillum* dan efek inokulan CMA yang diberikan sendiri terhadap bobot 25 biji jagung teruji tidak bermakna. Data percobaan menunjukkan bahwa inokulasi *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi memberikan hasil tanaman jagung dengan bobot 25 biji teruji tidak berbeda, yaitu berkisar antara 6.12–8.72g.

Tabel 28. Bobot 25 Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Percobaan Lapangan

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.3	0.6	0.9	
	.....gram.....				
0	6.58	6.72	6.41	6.52	6.56
18.75	7.38	6.87	6.12	7.58	6.99
37.50	7.18	7.76	7.26	7.88	7.52
56.25	6.26	7.00	8.72	8.01	7.50
Rata-rata	6.85	7.09	7.13	7.50	

Keterangan : Semua angka tidak berbeda menurut uji F pada taraf 5%.

Hal ini diduga karena bobot biji tidak hanya dipengaruhi oleh susunan genetik tanaman. Bobot biji juga dipengaruhi oleh lingkungan tumbuh selama periode perkembangan biji. Menurut Passiora (1994), pengisian biji sebagian tergantung pada fotosintesis yang berlangsung saat itu, dan sebagian lagi berasal dari transfer asimilat yang diakumulasi sebelum pembungaan.

8. Hasil Biji Kering Tanaman Jagung

a. Tanaman Jagung di Rumah Kaca

Berdasarkan analisis ragam ternyata baik efek mandiri maupun efek interaksi antara pemberian *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi teruji nyata dalam mempengaruhi hasil biji jagung. Jagung yang ditanam pada inseptisols Bogor responsif terhadap pemberian inokulan

Azospirillum dan inokulan CMA sebagaimana terukur dengan hasil biji kering.

Tabel 29. Hasil Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Kondisi Rumah Kaca

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)			
	0	0.5	1.0	1.5
	.....biji.....			
0	3.62 a A	6.34 a B	7.19 a B	6.66 c B
12.5	4.76 ab A	9.13 a B	8.83 B	5.21 bc A
25.0	7.77 b B	13.04 b C	15.87 b C	2.60 ab A
37.5	6.33 ab B	16.46 c D	13.05 b C	1.59 a A

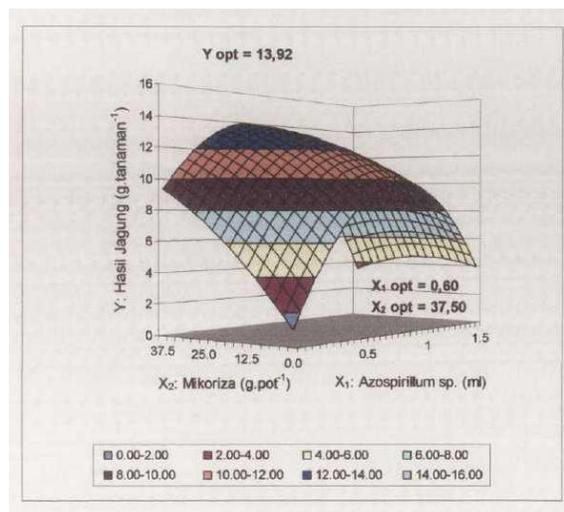
Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

Respons hasil biji terhadap pemberian inokulan *Azospirillum* semakin besar dengan adanya pemberian inokulan CMA Hal itu disebabkan oleh kemampuan *Azospirillum* dalam memproduksi auksin. Auksin berfungsi untuk memacu pembentukan akar lateral dan adventif yang semakin banyak yang tampak dengan meningkatnya bobot kering akar sehingga memperluas daerah serapan hara dan air.

Jumlah akar serabut yang banyak memungkinkan persentase kolonisasi CMA yang semakin meningkat.



Adanya pertumbuhan akar yang baik akan meningkatkan serapan hara yang sangat dibutuhkan tanaman. Selain itu, *Azospirillum* mampu memfiksasi nitrogen bagi kebutuhan tanaman walaupun dalam jumlah kecil. Bakteri *Azospirillum* juga mampu meningkatkan kadar N dan P tanaman serta nitrogen total dan P tersedia dalam tanah. Demikian pula dengan CMA, keberadaan CMA mampu meningkatkan kadar N dan P tanaman serta nitrogen total dan P tersedia tanah. Hara N dan P merupakan unsur hara esensial bagi tanaman. Nitrogen diperlukan untuk sintesis protein dan mempengaruhi produksi klorofil dan RuBP karboksilase yang berperan dalam fiksasi CO₂. Hal itu juga yang menyebabkan kadar klorofil daun meningkat dengan adanya inokulasi *Azospirillum* dan CMA, Fosfor merupakan elemen esensial dalam tahapan proses biokimia pada fotosintesis. Jika tanaman kekurangan fosfor, maka proses fotosintesis dapat terhambat.



Gambar 13

Kurva Permukaan Respons Hasil Biji Jagung yang Diberi Inokulan *Azospirillum* dan CMA pada Percobaan Pot

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Perubahan hasil biji jagung akibat pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang bervariasi disajikan dalam gambar 10. Persamaan permukaan respons tersebut adalah sebagai berikut .

$$Y=1.037+12.193 X_1 - 12.836 X_2 - 0.002 X_1^2 - 0.155 X_2^2 - 0.002 X_1 X_2 R^2 = 0.724$$

Berdasarkan persamaan permukaan respons tersebut, diperoleh hasil biji jagung tertinggi 13.92g per tanaman (2.78 ton/ha) yang tercapai pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis optimum sebesar 0.60ml per pot dengan inokulan CMA dengan dosis optimum sebesar 37.50g per pot. Hasil yang dicapai pada percobaan ini belum mampu mencapai rata-rata hasil tanaman jagung kultivar Bayu, yaitu 4.0t/ha.

b. Tanaman Jagung di Lapangan

Efek interaksi antara pemberian inokulan *Azospirillum* dan inokulan CMA teruji tidak nyata dalam mempengaruhi hasil biji jagung pipilan kering untuk percobaan lapangan. Namun, efek inokulan *Azospirillum* dan efek inokulan CMA masing-masing terhadap hasil biji jagung teruji nyata.

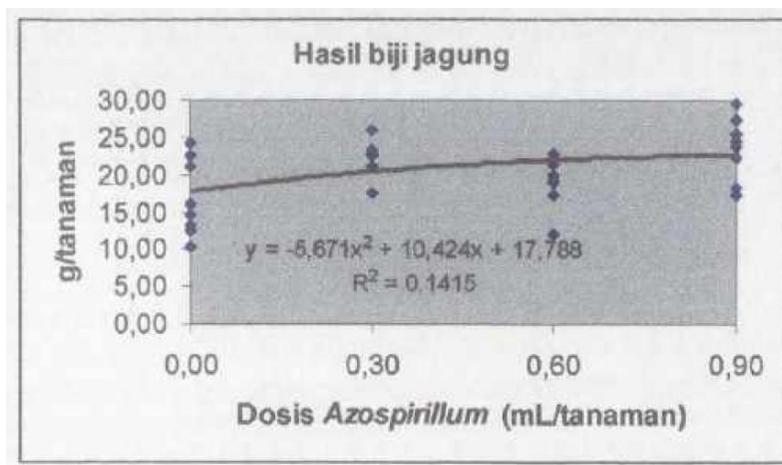


Tabel 30. Hasil Biji Jagung yang Tercekam Kekeringan Selama Fase Pembungaan Sampai Pengisian Biji Akibat Pemberian *Azospirillum* dan CMA pada Percobaan Lapangan

CMA (M) (g per pot)	<i>Azospirillum</i> (A) (ml per pot)				Rata-rata
	0	0.3	0.6	0.9	
	.....gram per tanaman.....				
0	11.71	19.26	15.38	20.57	16.73 a
18.75	17.88	22.71	22.18	22.88	21.41 ab
37.50	9.26	24.60	18.16	23.35	21.34 ab
56.25	18.43	26.68	20.57	27.38	23.27 b
Rata-rata	16.82 A	23.31 B	19.07 AB	23.55 B	

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama arah vertikal dan angka yang diikuti oleh huruf besar yang sama arah horizontal tak berbeda menurut uji Duncan pada taraf 5%

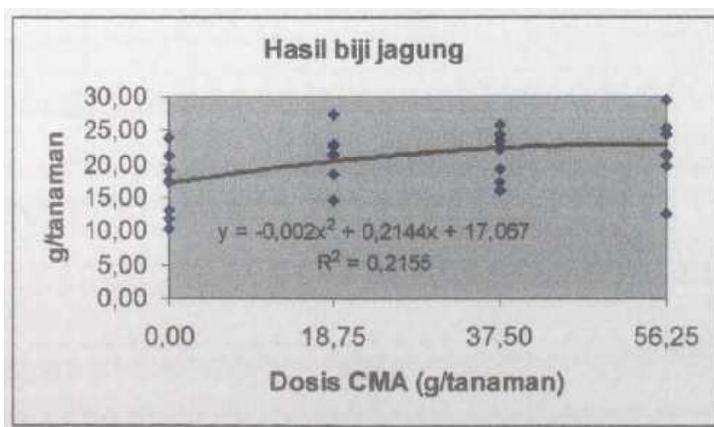
Perubahan hasil biji jagung akibat pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA dengan dosis yang meningkat pada percobaan lapangan disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 14

Kurva Respons Hasil Biji Jagung yang Diberi Inokulan *Azospirillum* pada Percobaan Lapangan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 15

Kurva Respons Hasil Biji Jagung yang Diberi Inokulan CMA pada Percobaan Lapangan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Persamaan kurva respons untuk pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis yang meningkat adalah sebagai berikut:

$$Y_s = 17,788 + 10,424 X - 5,671 X^2 \quad (R^2 = 0,142 \text{ ns})$$

Berdasarkan persamaan kurva respons tersebut, diperoleh hasil biji jagung tertinggi 22,58 g per tanaman

(4.52 ton/ha) yang tercapai pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis optimum sebesar 0.92 ml per tanaman. Hal itu berarti, pada pemberian inokulan *Azospirillum* dengan dosis 0.0–0.90 ml per tanaman belum mencapai dosis optimumnya sehingga pemberian inokulan *Azospirillum* perlu ditambah agar bisa mencapai hasil biji jagung maksimum.

Selanjutnya, persamaan kurva respons untuk pemberian inokulan CMA dengan dosis yang meningkat adalah sebagai berikut .

$$YS - 17,0672 + 0.2144 X - 0.002 X^2 (R^2 - 0,216 \text{ ns})$$

Berdasarkan persamaan kurva respons tersebut, diperoleh hasil biji jagung tertinggi 22.81g per tanaman (4.56 ton/ha) yang tercapai pada pemberian inokulan CMA dengan dosis optimum sebesar 53.60ml per tanaman. Hasil jagung yang diperoleh ini mampu melebihi rata-rata hasil tanaman jagung varietas Bayu, yaitu 4.0 ton/ha.





BAB

8

**ANALISIS STATISTIK
DALAM PERCOBAAN
PEMBERIAN MIKROBA
PADA TANAMAN JAGUNG**

Dari bab sebelumnya, telah diketahui respons tanaman jagung yang mengalami cekaman kekeringan terhadap pemberian mikroba *Azopirillum* dan CMA. Respons tersebut berupa perubahan-perubahan pada akar, kadar air relatif daun, kadar klorofil, kadar prolin, kadar asam absisat, kandungan unsur hara, dan ukuran tanaman jagung. Selain perubahan tersebut, dilakukan pula analisis statistik terkait komponen hasil dan variabel respons pada percobaan. Analisis statistik yang digunakan adalah analisis regresi berganda. Analisis tersebut akan dijabarkan sebagai berikut.

A. Hubungan antara Komponen Hasil dengan Hasil Jagung pada Percobaan Lapangan

Berdasarkan hasil analisis regresi berganda yang dilanjutkan dengan analisis regresi bertatar pada hubungan antara komponen hasil, yaitu diameter tongkol (X1), panjang tongkol (X2), jumlah biji per tongkol (X3), dan bobot 25 biji (X4), dengan hasil yang

diungkapkan dengan bobot jagung pipilan kering (Y), diperoleh bahwa hasil jagung hanya dipengaruhi oleh komponen hasil berupa panjang tongkol (X2). Persamaannya adalah:

$$Y = 3.061 + 2.663 X2 \quad (R^2 = 0.305")$$

Hal itu berarti keragaman hasil biji kering per tanaman ditentukan oleh keragaman panjang tongkol (X1), sedangkan diameter tongkol (X2), jumlah biji tongkol (X3), dan bobot 25 biji (X4) tidak memiliki peran yang nyata dalam menentukan keragaman hasil biji jagung kering pada pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA pada percobaan lapangan.

B. Hubungan antara Variabel Respons dengan Hasil Jagung pada Percobaan Pot

Berdasarkan hasil analisis regresi berganda yang dilanjutkan dengan analisis regresi bertatar hubungan antara variabel respons yang diamati saat akhir cekaman kekeringan, yaitu infeksi akar oleh CMA (X1), P tersedia tanah (X2), N total tanah (X2), Fiksasi N (X4), Kadar P tanaman (X5), kadar N tanaman (X6), kadar klorofil daun (X7), kadar air relatif daun (X8), kadar prolin (X9), kadar ABA (X10), bobot kering pupus (X11) dan bobot kering akar (X12), dengan hasil yang diungkapkan dengan bobot jagung pipilan kering (Y). Variabel tersebut diamati setelah tanaman diairi kembali. Kemudian diperoleh bahwa hasil jagung hanya dipengaruhi oleh variabel respons berupa kadar N tanaman (X6) dan bobot kering pupus (X11). Persamaannya adalah:

$$Y = - 15.643 + 8.135 X6 + 0.220 X11 \quad (R^2 = 0.385")$$

Hal itu berarti keragaman hasil biji kering per tanaman ditentukan secara bersama oleh kadar N tanaman (X6) dan bobot kering pupus (X11). Sementara itu, infeksi akar oleh CMA (X1), P tersedia tanah (X2), N total tanah (X3), Fiksasi N (X4) Kadar P tanaman (X5) kadar klorofil daun (X7) kadar air relatif daun (X8), kadar prolin



kadar ABA (X10), dan bobot kering akar (X12), tidak memberikan peran yang nyata terhadap hasil biji pipilan kering akibat pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA.

C. Hubungan antara Komponen Hasil dengan Hasil Biji Jagung pada Percobaan Pot

Berdasarkan hasil analisis regresi berganda yang dilanjutkan dengan analisis regresi bertatar, hubungan antara komponen hasil, yaitu diameter tongkol (X1), panjang tongkol (X2), jumlah biji per tongkol (X3), dan bobot 25 biji (X4), dengan hasil yang diungkapkan dengan bobot jagung pipilan kering (Y) diperoleh bahwa hasil jagung hanya dipengaruhi oleh komponen hasil berupa jumlah biji per tongkol (X3) dan bobot 25 biji (X4). Persamaannya adalah

$$Y = -7,851 + 0,236 X3 + 1,314 X4 \quad (R^2 = 0.962)$$

Artinya, keragaman hasil biji kering per tanaman ditentukan secara bersama oleh keragaman jumlah biji per tongkol (x3) dan bobot 25 biji (X4). Sedangkan diameter tongkol (x1) dan panjang tongkol (X2) tidak memiliki peran yang nyata dalam menentukan keragaman hasil biji pipilan kering akibat pemberian inokulan *Azospirillum* dan CMA







- Abbott, L.K., A.D.Robson, D.A. Jasper, and C.Graze. 1992. *What Is The Role of Va Mycorrhizal Hyphae in Soil?*. P. 37–41. In D.J. Read, D.H. Lewis , A.H. Fitter and I.J. Alexander (ed.). *Mycorrhizas in Ecosystems*. C.A.B. International. Univ. Press, Cambridge.
- Adiningsih, S.J., Diah Setyorini, dan Tini Prihatini. 1995. *Pengelolaan Hara Terpadu untuk Mencapai Produksi Pangan yang Mantap dan Akrab Lingkungan*. Makalah Kebijakan. Pros. Pertemuan Teknis Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor. P: 55–59.
- Adisarwanto, T., dan Y.E widyastuti. 2001. *Meningkatkan produksi Jagung di Lahan Kering, Sawah, dan Pasang Surut*. Cetakan ke-2. Penebar swadaya, Jakarta.
- Alves, A.A.C., and T.L Setter. 2000. *Response of Cassava to Water Deficit: Leaf Area Growth and Abscisic Acid*. *Crop Sci.* 40: 131–137.

- Ashraf, M.Y., A.R. Azmi, A.H. Khan, and S.A. Ala. 1994. *Effect of Water Stress on Total Phenols, Peroxydase Activity and Chlorophyll Content in Wheat (Triticum aestivum, L)*. Acta Physiol. Plant. 16 (3): 185–191.
- Atlas, R. and R. Bartha. 1993. *Microbial ecology. Fundamentals and applications. 3rd edition*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, inc., Redwood City, CA.
- Augé R.M., K.A. Schekel, and R.L. Wample. 1987. *Leaf Water and Carbohydrate Status Of Va Mycorrhizal Rose Exposed to Drought Stress*. Plant Soil 99: 291–302.
- Augé R.M. 2001. *Water Relations, Drought, and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis*. Review. Mycorrhiza 11: 3–42. Springer-Verlag.
- Baca, B. E., L. Soto-Ursula, Y. G. Xochihua-Corona, and Cuervo-Garcia. 1994. *Characteristic of Two Aromatic Amino Acid Aminotransferases and Production of Indole Acetic Acid in Azospirillum Strains*. Soil Biol. Biochem. 26: 121–124.
- Badan pusat statistik. 2004. <http://www.bps.go.id/>. (9 september 2004)
- Baldani, J.I., L. Caruso, V. L. D. Baldani, Silvia R. Goi, J. Döbereiner. 1997. *Recent Advance in BNF with Non-legume Plants*. Soil biol. Biochem. 29: 911–922.
- Baneti, P., and M.E. Wesgate. 1992. *Water Deficit Affects Receptivity of Maize Silks*. Crop sci. 33: 279–282.
- Baon, J.B. 1997. *Peranan Mikoriza dalam Melestarikan Sumber Daya Tanah Pertanian*. Edisi Khusus Balitkabi. 10: 314–323.
- Barber, S.A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach*. A wiley-interscience publication. John Wiley & Sons, inc., New York.

- Boddey, R.M., and J. Döbereiner. 1994. *Biological Nitrogen Fixation Associated with Graminaceous Plants*. P: 119—135. In Y. Okon (ed.). *Azospirillum l plant associations*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Budianto, J. 2002. *Inovasi Teknologi Bagi Peningkatan Ketahanan Pangan Nasional*. Makalah Seminar Nasional Pengembangan Teknologi dan Manajemen Agribisnis mendukung Ketahanan Pangan nasional. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Barat dan Fakultas Peternakan UNPAD, Bandung.
- Clawson, K.L., R. D. Jackson, and P.J. Pinter. 1989. *Evaluating Plant Water Stress with Canopy Temperature Differences*. *Agron. J.* 81: 858—863.
- Cosico, W.C., M.U. Garcia, R.A. Alog, and T.S.J. Santos. 1991. *Azospirillum Inoculation and Corn Growth*. *Organic recycling in Asia and the pacific*. Rapa bulletin 7: 8.
- Dean D., M.R. Jacobson. 1992. *Biochemical Genetics of Nitrogenase*. P: 763—834. In G. Stacey, H.J. Evans, and R. Burris (ed.). *Biological Nitrogen Fixation*. Chapman and Hall, New York.
- Delauney, A.J., and D.P.S. Verma. 1993. *Proline Biosynthesis and Osmoregulations in Plants*. *Plant J.* 4: 215—233.
- Del Gallo, M., and I. Fendrik. 1994. *The Rhizosphere and Azospirillum*. P: 57—78. In Y. Okon (ed.) *Azospirillum l Plant Associations*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Djazuli, M., Zulhaida, Murtado, dan L. Gunarto. 1993. *Potensi Pupuk N Hayati Azospirillum dalam Peningkatan Produktivitas Ubi Jalar pada Lahan Sub Optimal*. *Pros. Simp. Penelitian tanaman pangan III*.
- Döbereiner, J. 1991. *The Genera Azospirillum and Herbaspirillum in a Handbook of the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, application* 2nd edition. Springer-Verlag, New York.

- Donahue, R.L., R. W. Miller, and J.C. Shickluna. 1983. *Soil. An Introduction to Soil and Plant Growth*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- DSMZ. 2003. Genus *Azospirillum*. *Bacterial Nomenclature*. Web: <http://www.dsmz.de/bactnom/nam0365.htm>. 12-07-2003.
- Eady, R.R. 1981. *Regulation of Nitrogenase Activity*. P: 172—180. In A.H. Gibson and W.G. Newton (ed.). *Current Perspectives in Nitrogen Fixation*. Australian Academy of Science. Canberra, Australia.
- Esparza-Mascarus, M.A. 1988. *Acetylene Reduction and Indole Acetic Acid Production by Azospirillum Isolates from Cactaceous Plants*. *Plant soil* 106: 91—95.
- Fagbola, O., Osonubi, K. Mulongoy and S.A. Odunfa. 2001. *Effect of Drought Stress and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Soil From Degraded Ecosystems and Man-made Habitat*. *Appl. Soil Ecol.* 14: 201—211.
- Fakuara, Y. 1994. *Peranan Mikoriza dalam Peredaran Hara dan Peningkatan Kualitas Semai*. Materi pada program pelatihan biologi dan bioteknologi mikoriza yang dilaksanakan di Bogor tanggal 4—22 April 1994.
- Fallik, E., Y. Okon, E. Epstein, A. Goldman, and M. Fisher. 1988a. *Identification and Quantification of Iaa And Iba Azospirillum Brasilense Inoculated Maize Roots*. *Soil Biol. Biochem.* 21: 147—153.
- _____. 1988b. *The Effect of Azospirillum Brasilense Inoculation on Metabolic Enzyme Activity In Maize Seedlings*. *Symbiosis* 6: 7—18.
- Fathan, R., M. Rahardo, dan A. K. Makarim. 1988. *Hara Tanaman jagung*. P: 67—80. Dalam subandi, m. Syam, a. Widjono (ed.). *Jagung*. Balai penelitian dan pengembangan pertanian, Bogor.

- Fidelibus, M. W., C.A. Martin, and J.C. Stutz. 2001. *Geographic Isolates of Glomus Increase Root Growth and Whole-Plant Transpiration of Citrus Seedling Grown with High Phosphorus*. Mycorrhiza 10: 231–236.
- Gardner, F. P., R. B. Pearce, R. L. Mitchell. 1991. *Physiology of Crop Plants*. Terjemahan Herawati Susilo. UI-Press, Jakarta.
- Gianinazzi-Pearson, V., and S. Gianinazzi. 1984. *The Physiology of VA Mycorrhizal Roots*. Station d'Amelioration des Plantes, INRA, France.
- Goenadi, D. H., R. Saraswati, dan Y. Lestari. 1993. *Kemampuan Melarutkan Fosfat dari Beberapa Isolate Bakter Asal Tanah dan Pupuk Kandang Sapi*. Menara perkebunan 61: 44–49.
- Gunarto, L. 1992. *Effect of Media Constituents on Tryptophanase and Tryptophan Synthase in E.Coli*. Penelitian pertanian. 13(2): 58–64.
- _____. 1995. *Azospirillum Inoculation Study on Lowland Rice*. Final report JIRCAS visiting scientist 1994-1995.
- _____. 2000. *Mikroba Rhizosfer: Potensi dan Manfaatnya*. Jurnal litbang pertanian. 19(2): 39-48.
- Hairiah, K. 1996. *Perakaran dan Bahan Organik Tanah*. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Hakim, N., M. Y. Nyakpa, A. M. Lubis, S. G. Nugroho, M. R. Saul, M. H. Diha, Go Ban Hong, dan H. H. Bailey. 1986. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Universitas lampung, bandar lampung.
- Hanafiah, K. A. 2001. *Pengaruh Inokulasi Ganda Fungi Mikoriza-Arbuskula dan Azospirillum Brasiliense dalam Peningkatan Efisiensi Pemupukan P dan N pada Padi Sawah Tadah Hujan*. Disertasi, Program Pascasarjana IPB Bogor.
- Hardjowigeno, S. 1995. *Ilmu Tanah*. Ed. Rev., cetakan ke-IV. Akademika Pressindo, Jakarta.

- Hare, P. D., and W. A. Cress. 1997. *Metabolic Implication of Stress-Induced Proline Accumulation in Plants*. *Plant growth reg.* 21: 79–102.
- Hartmann, A., H. Fu and R. H. Burris. 1986. *Regulation of Nitrogenase Activity by Ammonium Chloride in Azospirillum spp.* *J Bacteriol.* 165: 864–870.
- Hartmann A., and W. Zimmer. 1994. *Physiology of Azospirillum*. P: 15–37. In Y. Okon (ed.). *Azospirillum/Plant Associations*. CRC Press, Inc., Boca Raton. FL.
- Haryadi, S. S., dan S. Yahya. 1988. *Fisiologi Stress Lingkungan*. PAU Bioteknologi IPB, Bogor.
- Hodge, A. 2000. *Microbiol Ecology of Arbuscular Mycorrhiza*. *FEMS Microbiol Ecol.* 32: 91–96.
- Imas, T., R. S. Hadioetomo, A. W. Gunawan, dan Y. Setiadi. 1989. *Mikrobiologi Tanah II*. Penelaah Anas, I. depdikbud, dirjen Dikti. PAU Bioteknologi IPB.
- Ismunadji, M. S. 1989. *Kalium: Kebutuhan dan Penggunaannya dalam Pertanian Modern*. Potash & Phosphate Institute of Canada.
- James E., and F. L. Olivares. 1997. *Infection and Colonization of Sugarcane and Other Graminaceous Plants by Endophytic Diazotrophicus*. *Crit. Rev. Plant Sci.* 17: 77–119.
- Jansen, R. A., S. B. Rood, J. F. Dormaar, and W. B. McGill. 1992. *Azospirillum Brasiliense Produces Gibberellin in Medium Pure Culture on Chemically-Defined Medium and in Coculture On Straw*. *Soil biol. Biochem.* 24: 1061-1064.
- Jones, J. B., B. Wolf, and H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook. A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide*. Micro-macro publishing, Inc., GA.

- Khanna Chopra, R., G. S. C. Haturvedi, P. K. Aggarwal, and S. K. Sinha. 1980. *Effect of Potassium on Growth and Nitrate Reductase During Water Stress and Recovery in Maize*. *Physiol Plant*. 49: 495–500.
- Kramer, P. J. 1972. *Plant and Soil Water Relationship*. A modern synthesis. Reprinted in india arrangement with McGraw–Hill, Inc., New York.
- _____. 1983. *Water Relations on Plants*. Academic press, Inc., san diego, new york, boston, london, sydney, tokyo, toronto.
- Linderman, R. G., and J. W. Hendrix. 1984. *Evaluation of Plant Response to Colonization by VAM Fungi: Host Variable*. In Schenk (ed.), *methods and principles of Mycorrhizal research*. APS Press., St. Paul, MN.
- Madan, R., C. Pankhurst, B. Hawke, and S. Smith. 2002. *Use of Fatty Acid for Identification of A M Fungi and Estimation of The Biomass Of A M Spores In Soil*. *Soil biol. Biochem*. 34: 125–128.
- Malik, K. A., R. Bilal, S. Mehnaz, G. Rasul, M. S. Mirza, and S. Ali. 1997. *Association of Nitrogen-Fixing, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr) with Kallar Grass and Rice*. *Plant soil*. 194: 37–44.
- Mansfield, T. A., and M. R. McAinsh. 1995. *Hormones as Regulators of Water Balance*. P: 598–616. In P. J. Davies (ed.) *plants hormones, physiology, biochemistry and molecular biology* 2nd edition. Kluwer academic publ., dordrecht.
- Mapegau. 1998. *Respons Tanaman Jagung (zea mays l.) Kultivar Arjuna terhadap Pemupukan Kalium dan Kadar Air Tanah Tersedia pada Ultisol Batanghari Jambi*. Disertasi. Program pascasarjana universitas padjajaran, bandung. Tidak dipublikasikan.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, New York.

- Martinez—drets, G., M. del Gallo, C. Burfe, and R. H. Burns. 1989. *Catabolism of Carbohydrates and Organic Acids and Expression of Nitrogenase by Azospirilla*. J. Bacteriol. 159: 8–85.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1980. *Potassium in Crop Production*. Adv. Agron. 33: 59–110.
- Michiels, K., J. Vanderleyden, and A. Van Gool. 1989. *Azospirillum-Plant Roots Association*: Rev. Biol. Fertil. Soils. 8: 356–368.
- Miglietta, F., C. Vazzana, and E. Porcedu. 1988. *Agroecological Models and Wheat Ideotype for Semi Arid Lands*. P: 117–132. In C. J. P. Srivastava, E. Porcedu, E. Acevedo, and S. Varma (ed.) drought in winter cereals. John Willey and Sons, Chichester.
- Morton, J. B. 1988. *Taxonomy of Mycorrhizal Fungi: Classification, Nomenclature, and Identification*. Mycotaxon. 32: 267–324.
- Mosse, B. 1981. *Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Research for Tropical Agriculture*. Res. Bull, 194. Hawaii Inst. of Tropical Agric and Human Resource University of Hawaii.
- Muhadjir, F. 1988. *Karakteristik Tanaman Jagung*. P: 33–66. Dalam subandi, M. Syam, dan A. Widjono (ed.). Jagung. Pusat penelitian dan pengembangan tanaman pangan, Bogor.
- Nakano, A., K. Takahashi, and M. Kimura. 2001. *Effect of Host Shoot Clipping on Carbon and Nitrogen Sources for Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Mycorrhiza 10: 287–293.
- Narsian, V., and H. H. Patel. 2000. *Aspergillus Aculeatus as a Rock Phosphate Solubilizer*. Soilbiol. Biochem. 32: 559–565.
- Negi, M., M. S. Sachdev, and K. B. V. R. Tilak. 1990. *Influence of Soluble Phosphorus Fertilizer on The Interaction Between A Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae Fungus And Azospirillum Brasilense In Barley*. Biol. Fertil. Soils. 10: 57–60.

- Notle, K. D., A. D. Hanson, and D. A. Gage. 1997. *Proline Accumulation And Methylation to Proline Betain in Citrus: Implication for Genetic Engineering of Stress Resistance*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 122(1): 8–13.
- Okon, Y. 1985. *Azospirillum as A Potential for Agriculture*. Trends biotechnol. 3: 223–228.
- Okon, Y., and Y. Kalpunik. 1986. *Development and Function of Azospirillum Inoculated Roots*. Plant soil 90: 3–16.
- Okon, Y., Albrecht, S. L. & Burris, R. H. (1977). *Methods for Growing Spirillum Lipoferum and For Counting IT in Pure Culture and in Association with Plants*. Applied and Environmental Microbiologi.
- Orcutt, D. M., and E. T. Nilsen. 2000. *The Physiology of Plants Under Stress. Soil and Biotic Factors*. John wiley & sons, Inc., New York.
- Osonubi, O. K., K. Mulongoy, O. O. Owotoyo, M. O. Atayese, and D. U. U. Okali. 1991. *Effects of Ectomycorrhizal and Vam Fungi and Drought Tolerance of Four Leguminous Woody Seedlings*. Plant soil. 136: 131–143.
- Passioura, J. B. 1994. *The Yield of Crops in Relation to Drought*. P: 343–360. In K. J. Boote, J. M. Bernet, T. R. Sinclair, and G, M. Paulsen (ed.). *Determination of Crop in yield*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Pell, E. J., and M. S. Dann. 1991. *Multiple Stress Induced Foliar Senescense and Implication for Whole Plant Longevity*. P: 184–205. In H.A. Mooney, W.E. Winner, and E. J. Pel (ed.). *Response of Plants to multiple stress*. Academic press, san diego, new york.
- Peng, Z., Q. Lu, and D. P. S. Verma. 1996. *Reciprocal Regulation of Delta (1)-Pyrroline-5-Carboxylate Synthetase and Proline Dehydrogenase Gened Controls Proline Levels During and After Osmotic Stress in Plants*. Mol. Gen. Genet. 253: 334–341.

- Petersen, W., and M. Böttger. 1991. *Contribution of Organic Acids to the Acidification of the Rhizosphere of Maize Seedlings*. *Plant soil* 132: 159—163.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. 1999. *Deskripsi Varietas Unggul Padi dan Palawija 1993—1998*. Badan penelitian dan pengembangan pertanian.
- Rai, V. K. 2002. *Role Of Amino Acid in Plant Response to Stresses*. (review). *Biol. Plant.* 45(4): 481—487.
- Rifin, A. 1990. *Pertumbuhan, Hasil dan Serapan Hara N, P, dan K Tanaman Jagung pada Berbagai Fase Cekaman Air*. *Penelitian pertanian* 10(1): 19—21.
- Rocha, R. E. M., J. I. Baldani, and Döbereiner. 1981. *Specificity of Infection by Azospirillum sp. In Plant with c-4 Photosynthetic Pathway*. P: 67—69. In P. B. Vose and A. P. Ruschel (ed.). *Associate N2 Fixation*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Rodelas, B., V. Salmeron, M. V. Martinez-Toledo, and J. Gonzales-Lopez. 1993. *Production of Vitamins by Azospirillum Brasiliense in Chemically-Defined Media*. *Plant soil.* 153: 97—101.
- Ruiz-Lozano, J. M., R. Azcon, and M. Gomez. 1995. *Effects of Arbuscular-Mychorrizal Glomus Species on Drought Tolerance: Physiological and Nutritional Plant Responses*. *Appl: environ. Microbiol.* 61(2): 456—460.
- Salisbury, F. B., dan C. W. Ross. 1995. *Plant Physiology*. 4th edition terjemahan Diah R. Lukman dan Sumaryono. ITB, Bandung.
- Sancayaningsih, R. P., Y. Setiadi, S. Moeljopawiro, dan Soedarsono. 2000. *Pengaruh Densitas Propagul dan Cara Aplikasi Inokulum Fungi Mikoriza Arbuskular (fma) terhadap Tingkat Infeksi dan Berat Kering Tanaman Jagung (zea mays)*. *Biologi* 2(10): 567—581.
- Schachtman, D. P., R. J. Reid., and S. M. Ayling. 1998. *Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell*. *Plant soil.* 116: 447—453.

- Seshadri, S., R. Muthukumarasamy, C. Lakshminarasimhan, and S. Ignacimuthu. 2000. *Solubilization of Inorganic Phosphates by Azospirillum Halopraeferans*. *Current Sci.* 79(5): 565–567.
- Setiadi, Y., I. Mansur., S. W. Budi, dan Achmad. 1992. *Petunjuk Laboratorium Mikrobiologi Tanah Hutan dep. P dan k. Dirjen Pendidikan Tinggi*, PAU–IPB. Bogor. 257 hal.
- Sieverding, E. 1991. *Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystem*. GTZ, Eachborn.
- Simanungkalit, R. D. M. 2001. *Peranan Potensial Jamur Mikoriza Arbuskula dalam Pertanian Organik*. P: 301–309. Dalam Mustajab HK, et al. (ed.). prosiding seminar nasional pertanian organik, Yogyakarta.
- Simarmata, T., dan R. Hindersah. 1999. *Optimalisasi Aplikasi Pupuk Biologis untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Menuju Pertanian Berkelanjutan*. Prosiding kongres nasional VII HITI, Bandung. P: 729–736.
- Simarmata, T. 2002. *Integrated Ecological Farming System for a Sustainable Agricultural Practices in Indonesia*. P: 150–162. In T. Sembiring, and Dieter prinz (ed.). sustainable resources development and management. LIPI, Bandung.
- Sinaga, P.H. 2003. *Asosiasi 54 Genotip Jagung dengan Bakteri Azospirillum sp.* Tesis. Program pascasarjana universitas padjadjaran, Bandung. Tidak dipublikasikan.
- Smith, S. E., S. M. Ayling, G. Rosewarne, S. Dickson, D. P. Schatman, S. J Barker, R. J. Reid, D. D. Delp, and F. A. Smith. 1999. *Transpot of Insight from Molecular and Physiological Studies*. In F. A. Smith, dkk. (ed.). Proc. Int. Conf. Mycorrhizae in sustainable trop. Agric. and forest ecosystem. Bogor, indonesia. Oct, 27–30 1997. P: 25–34.
- Smith, S. E., dan D. J. Read. 1997. *Mycorrhizae Symbiosis*. Academic press. Harcourt brace & company, UK.

- Soenartiningasih, Mufran Rauf, dan Agustina Buntan. 1999. *Efektivitas Cendawan Mikoriza Vesikular Arbuskular (mva) pada Beberapa Isolat dan Perbedaan Jumlah Spora terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung*. Risalah penelitian jagung dan sereal lain. 3: 35—44.
- Song-Seung, D., A. Hartman and R. H. Burris 1985. *Purification and Properties of The Nitrogenase of Azospirillum Amazonense*. J. bacteriol. 164: 1271—1277.
- Subramanian, V. B. 1982. *Potassium and Drought Tolerance: a National View*. P: 47—56. In potassium and plant physiology. Proceeding of a group discussion, september 1982. New delhi, india. Potash research institute of India, Gurgaon, Haryana, India.
- Subramanian, K. S., and C. Charest. 1999. *Acquisition of N By External Hyphae of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Its Impact on Physiological Responses in Maize Under Drought-Stressed and Well Watered Conditions*. Mycorrhiza 9: 69—75.
- Sugianto, Y., T. June, Darmijati S., H. Syahbuddin, dan Irsal Las. 1997. *Pengaturan Jarak Basis Tanaman untuk Mengurangi Stress Kekeringan*. dalam M. Syam, Hermanto, A. Musaddad, Sunihardi (ed.). Kinerja penelitian tanaman pangan. Buku 6. Sistem usaha tani dan komponen penunjang. Balai penelitian dan pengembangan pertanian, bogor.
- Sutoro, Y. Soelaeman, dan Iskandar. 1988. *Budidaya Tanaman Jagung*. P: 49—66. Dalam Subandi, M. Syam, A. Widjono (ed.). Jagung. Balai penelitian dan pengembangan pertanian, bogor.
- Sutoro, I. Somadireja, dan S. Tirtoutomo. 1989. *Pengaruh Cekaman Air dan Reaksi Pemulihan Tanaman Jagung (zea mays l) dan Sorgum (sorghum bicolor l. Moench) pada Fase Pertumbuhan Vegetatif*. Penelitian pertanian 9(4): 148—151.

- Sutoro, hadiatmi, S. G. budiarti, D. Suardi, dan Y. Indarwati. 2001. *Evaluasi Plasma Nutfah Jagung (Zea Mays L) terhadap Kekeringan*. p: 189—196. Dalam Ika Mariska dkk., (ed.). prosiding seminar hasil penelitian rintisan dan bioteknologi tanaman. Pusat penelitian dan pengembangan tanaman pangan, bogor.
- Taiz, L., and E. Zeigner. 1991. *Plant Physiology*. The benjamin/cummings Publ. Co., Inc., CA.
- Thompson, J. P. 1994. *Inoculation With Vam Fungi from Cropped Soil Overcomes Long Fallow Disorder of Linseed (Linum Usitatissimum L) by Improving P And Zn Uptake*. Soil biol. Biochem. 26(9): 1133—1143.
- Trotel-Aziz, P., M. F. Niogret, and F. R. Larher. 2000. *Proline Level is Partly Under The Control Abscisic Acid in Canola Leaf Discs During Recovery From Hyper-Osmotic Stress*. Physiol plant 110: 376—383.
- Vierheilig, H., S. Lerat, and Y. Piche. 2003. *Systemic Inhibition of Arbuscular Mycorrhiza Development by Root Exudates of Cucumber Plants Colonized by Glomus Mosseae*. Mycorrhiza 13: 167—170.
- Walker, C., and A. Schüßler. 2002. *Glomeromycota*. Web site: <http://www.Invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/classification>. Accessed 23 Juli 2004.
- Walton, E. F., E. Podivinski, R. M. Wu, P. H. S. Reynolds, and L. W. Young. 1998. *Regulation of Proline Biosynthesis on Kiwi Fruit Buds With and Without Hydrogen Cyanamid Treatment*. Physiol. Plant. 102: 171—178.
- Warisno, 1998. *Budidaya Jagung Hibrida*. Kanisius, Yogyakarta.
- Werner, P. 1992. *Symbiosis of Plants and Microbes*. Chapman and hall, london.
- Westgate, M. E., and J. S. Boyer. 1986. *Reproductive at Low Silk and Pollen Water Potentials in Maize*. Crop sci. 26: 951—956.
- Witham, F. H., D. F. Blaydes, and R. M. devlin. 1986. *Excercises in Plant Physiology* 2nd edition P. W. S. Publishers, Boston, MA.

Yang, C. W., and C. H. Kao. 1999. *Importance of Oronithine- δ -Aminotransferase to Proline Accumulation Caused by Water Stress in Detached Rice Leaves*. *Plant growth reg.* 27: 189–192.

Yoshida, Y., T. Kiyosue, K. Nakashima, K. Yamaguchi-Shinozaki, and K. Shinozaki. 1997. *Regulation of Levels of Proline As An Osmolyte In Plants Under Water Stress*. *Plant cell physiol.* 38: 1095–102.

