



**RESPONS PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN KEDELAI
(*Glycine max* L. Merrill) TERHADAP INOKULASI *Bradyrhizobium* sp.
TAHAN MASAM DAN PENGAPURAN PADA LAHAN KERING MASAM**

OLEH :

IRDA NILA SELVIA
NIP. 199309152020122027

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

Judul : **RESPONS PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L. Merrill) TERHADAP INOKULASI *Bradyrhizobium* sp. TAHAN MASAM DAN PENGAPURAN PADA LAHAN KERING MASAM**

Nama : **Irda Nila Selvia**

NIP : **199309152020122027**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI**

IRDA NILA SELVIA

Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Terhadap Inokulasi *Bradyrhizobium* Sp. Tahan Masam dan Pengapuran pada Lahan Kering Masam

ix + 42 halaman, 5 tabel, 11 gambar, 3 lampiran

ABSTRAK

Produksi tanaman kedelai diproyeksikan akan turun hingga tahun 2024. Hal yang menyebabkan penurunan produksi kedelai tersebut yakni karena kurangnya lahan yang bisa dimanfaatkan untuk budidaya kedelai akibat lahan juga digunakan untuk penanaman komoditas lain yang juga menguntungkan. Untuk itu, perlu adanya pengelolaan pada lahan-lahan sub-optimal seperti lahan kering masam. Tetapi ada banyak masalah yang muncul dalam mengembangkan penanaman kedelai di tanah masam selain tanah dengan pH rendah, yakni ketersediaan hara N, P, K, Ca, dan Mg yang rendah, kejenuhan Al-dd, tingginya kandungan Fe dan Mn, serta biota tanah sedikit.

Untuk meningkatkan pH pada tanah masam bisa dilakukan suatu upaya salah satunya adalah melalui proses pengapuran. Selain itu, telah banyak diketahui bahwa tanaman kedelai memiliki kandungan protein yang tinggi sehingga kedelai memerlukan unsur hara nitrogen yang banyak. Tetapi, tanaman tidak mampu memfiksasi nitrogen dari udara secara langsung tanpa bantuan dari mikroorganisme pemfiksasi N yaitu *Bradyrhizobium* sp. Sayangnya, bakteri *Bradyrhizobium* sp. juga merupakan bakteri yang sulit hidup pada tanah ber-pH masam. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan inokulan *Bradyrhizobium* sp. tahan pH masam yang dilanjutkan dari penelitian Selvia, *et al* (2019) untuk melihat kemampuannya dalam membantu menyediakan unsur hara nitrogen bagi tanaman kedelai di tanah masam. Penelitian ini telah dilaksanakan mulai bulan Agustus – Oktober 2018 di Desa Jati Kesuma, Kecamatan Namorambe, Kabupaten Deli Serdang pada ketinggian ±70 m dpl. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan 2 faktor, yaitu faktor I adalah inokulasi *Bradyrhizobium* sp. (tanpa inokulan, inokulan BGR 3, dan inokulan LP 3) dan faktor II adalah pemberian kapur (tanpa pemberian kapur dan dengan pemberian kapur 1,06 kg/plot).

Hasil penelitian menunjukkan bakteri *Bradyrhizobium* sp dengan perlakuan inokulan LP 3 mampu menghasilkan peningkatan pertumbuhan tanaman kedelai, sementara inokulan BGR 3 mampu menghasilkan peningkatan produksi tanaman kedelai di tanah masam. Pengapuran mampu menghasilkan peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai di tanah masam. Kombinasi perlakuan LP 3 dengan pengapuran mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai, sedangkan kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan tanpa kapur mampu menghasilkan peningkatan produksi tanaman kedelai di tanah masam.

Kata kunci : kedelai, *Bradyrhizobium* sp, pemberian kapur

**SCIENCE AND TECHNOLOGY FACULTY
DEPARTMENT OF BIOLOGY**

IRDA NILA SELVIA

Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Terhadap Inokulasi *Bradyrhizobium* Sp. Tahan Masam dan Pengapuran pada Lahan Kering Masam

ix + 42 halaman, 5 tabel, 11 gambar, 3 lampiran

ABSTRACT

Soybean yield is estimated to decline until 2024. The thing that causes the decline in soybean yield is the lack of land that can be used for soybean cultivation because the land is also used for planting other profitable commodities. For this reason, it is necessary to manage sub-optimal soils such as acid dry soil. However, there are many problems that arise in developing soybean cultivation in acid soils other than low pH soils, namely low availability of N, P, K, Ca, and Mg nutrients, Al-dd saturation, high Fe and Mn content, and low soil microorganism.

To increase the pH in acidic soils, an effort can be made, one of which is through the liming process. In addition, it has been widely known that soybean plants have a high protein content so that soybeans require a lot of nitrogen nutrients. However, plants are not able to fix nitrogen from the air directly without the help of N-fixing microorganisms, namely *Bradyrhizobium* sp. Unfortunately, the *Bradyrhizobium* sp. is also a bacterium that is difficult to live in acidic soils. Therefore, in this research, *Bradyrhizobium* sp. inoculants were used was resistant to acid pH, which was continued from research by Selvia, *et al* (2019) to see its ability to help provide nitrogen nutrients for soybean plants in acid soils.

This research was carried out from August – October 2018 in Jati Kesuma Village, Namorambe District, Deli Serdang Regency at an altitude of ± 70 m above sea level. The research used a factorial Randomized Block Design (RAK) with 2 factors, namely factor I was inoculation of *Bradyrhizobium* sp. (without inoculants, BGR 3 inoculants, and LP 3 inoculants) and factor II is lime application (without lime application and 1.06 kg/plot).

The results showed that *Bradyrhizobium* sp. treated with LP 3 inoculants was able to increase soybean plant growth, while BGR 3 inoculants were able to increase soybean yield in acid soils. Liming can result in increased growth and yield of soybean plants in acid soils. The combination of LP 3 treatment with liming was able to increase the growth of soybean plants, while the combination of BGR 3 inoculant treatment and without lime was able to increase soybean yield in acid soils.

Keywords : soybean, *Bradyrhizobium* sp, lime application

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil ‘alamin, Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini berjudul “Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) Terhadap Inokulasi *Bradyrhizobium* sp. Tahan Masam dan Pengapuran pada Lahan Kering Masam”. Penyusunan laporan penelitian ini banyak mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang sudah membantu dan terutama kepada Bapak Wakil Dekan I Fakultas Sains dan Teknologi serta konsultan rekan dosen sejawat sebidang yang memberi masukan-masukan positif untuk membuat laporan ini menjadi lebih baik. Penulis juga menyadari bahwa laporan penelitian ini masih kurang sempurna. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan laporan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga laporan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan budidaya tanaman kedelai.

Medan, 15 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
SURAT REKOMENDASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Tanaman Kedelai	4
2.2. Syarat Tumbuh	5
2.2.1. Iklim	5
2.2.2. Tanah	6
2.3. Nitrogen	7
2.4. Simbiosis <i>Bradyrhizobium</i> sp. dengan Akar Tanaman Kedelai	8
2.5. Peningkatan pH melalui Pengapuran	13
2.6. Pengaruh pH Terhadap <i>Bradyrhizobium</i> sp.	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2. Bahan dan Alat Penelitian	16
3.3. Metode Penelitian	16
3.4. Pelaksanaan Penelitian	17
3.4.1. Pengambilan Contoh Tanah	17
3.4.2. Analisis Awal	17
3.4.3. Persiapan Lahan dan Pembuatan Bedengan	18
3.4.4. Pengapuran	18
3.4.5. Persiapan Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp	18
3.4.6. Penanaman Benih Kedelai	19
3.4.7. Aplikasi <i>Bradyrhizobium</i> sp	19
3.4.8. Pemeliharaan	19
3.5. Peubah Amatan	20
3.5.1. Bobot Kering Tajuk (g)	20
3.5.2. Bobot Kering Akar (g)	20
3.5.3. Jumlah Cabang Produktif (cabang)	20
3.5.4. Jumlah Polong Berisi (polong)	20
3.5.5. Jumlah Polong Hampa (polong)	20
BAB IV PEMBAHASAN	21
4.1. Hasil	21
4.1.1. Bobot Kering Tajuk (g)	21

4.1.2. Bobot Kering Akar (g)	22
4.1.3. Jumlah Cabang Produktif (cabang)	24
4.1.4. Jumlah Polong Berisi (polong)	26
4.1.5. Jumlah Polong Hampa (polong)	28
4.2. Pembahasan	30
4.2.1. Hubungan Pertumbuhan Tanaman Kedelai dengan Pemberian Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp	30
4.2.2. Hubungan Pertumbuhan Tanaman Kedelai dengan Pengapuran	31
4.2.3. Hubungan Pertumbuhan Tanaman Kedelai dengan Inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan Pengapuran	31
4.2.4. Hubungan Produksi Tanaman Kedelai dengan Pemberian Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp	32
4.2.5. Hubungan Produksi Tanaman Kedelai dengan Pengapuran	33
4.2.6. Hubungan Produksi Tanaman Kedelai dengan Inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan Pengapuran	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1. Kesimpulan	36
5.2. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Bobot kering tajuk (g) tanaman kedelai terhadap inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan pengapuran pada tanah mineral masam	21
Tabel 2. Bobot kering akar (g) tanaman kedelai terhadap inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan pengapuran pada tanah mineral masam	23
Tabel 3. Jumlah cabang produktif (cabang) tanaman kedelai terhadap inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan pengapuran pada tanah mineral masam	24
Tabel 4. Jumlah polong berisi (polong) tanaman kedelai terhadap inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan pengapuran pada tanah mineral masam	26
Tabel 5. Jumlah polong hampa (polong) tanaman kedelai terhadap inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp dan pengapuran pada tanah mineral masam	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Nodul Akar	12
Gambar 2. Hubungan Bobot Kering Tajuk (g) tanaman kedelai dengan Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp.	21
Gambar 3. Hubungan Bobot Kering Tajuk (g) tanaman kedelai dengan Pengapuran	22
Gambar 4. Hubungan Bobot Kering Akar (g) tanaman kedelai dengan Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp.	23
Gambar 5. Hubungan Bobot Kering Akar (g) tanaman kedelai dengan Pengapuran	24
Gambar 6. Hubungan Jumlah Cabang Produktif (cabang) tanaman kedelai dengan Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp.	25
Gambar 7. Hubungan Jumlah Cabang Produktif (cabang) tanaman kedelai dengan Pengapuran	25
Gambar 8. Hubungan Jumlah Polong Berisi (polong) tanaman kedelai dengan Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp.	27
Gambar 9. Hubungan Jumlah Polong Berisi (polong) tanaman kedelai dengan Pengapuran	27
Gambar 10. Hubungan Jumlah Polong Hampa (polong) tanaman kedelai dengan Inokulan <i>Bradyrhizobium</i> sp.	29
Gambar 11. Hubungan Jumlah Polong Hampa (polong) tanaman kedelai dengan Pengapuran	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan Plot Penelitian	41
Lampiran 2. Perhitungan Kapur Metode Al-dd	41
Lampiran 3. Hasil Analisis Tanah Awal	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produksi tanaman kedelai diproyeksikan akan turun hingga tahun 2024. Hal ini ditunjukkan oleh data dari Kementerian Pertanian yang menunjukkan penurunan produksi kedelai sejak 2021 hingga 2024. Dimulai dari produksi kedelai pada tahun 2021 yang menurun sebesar 3,01% dibandingkan dengan tahun 2020. Kemudian produksi kedelai di Indonesia diprediksi mengalami penurunan 3,05% hingga menyentuh angka 594,6 ribu ton di tahun 2022. Sedangkan pada 2023, produksi kedelai diperkirakan akan menurun 3,09% hingga 576,3 ribu ton. Pada 2024, kedelai yang asalnya dari Indonesia diperkirakan menurun 3,12% hingga 558,3 ribu ton.

Hal yang menyebabkan penurunan produksi kedelai tersebut yakni karena kurangnya lahan yang bisa dimanfaatkan untuk budidaya kedelai akibat lahan juga digunakan untuk penanaman komoditas lain yang juga menguntungkan, seperti jagung dan cabai sehingga mengakibatkan luas panen turun $\pm 5\%$ per tahun. Untuk itu, perlu adanya pengelolaan pada lahan-lahan sub-optimal seperti lahan kering masam sehingga bisa dimanfaatkan untuk penanaman tanaman kedelai, sehingga mampu memenuhi kebutuhan konsumen.

Seperti yang dijelaskan Barchia (2009) dalam bukunya bahwa meningkatnya permintaan bahan pangan serta industri yang menggunakan hasil pertanian sebagai bahan baku dan juga peluang substitusi energi yang asalnya karbon fosil menjadi bioenergi, tanah-tanah mineral masam marginal adalah masa depan bagi pengembangan agroekosistem.

Luas lahan kering masam di Indonesia $\pm 108.800.000$ ha atau $\pm 69,4\%$ dari total lahan kering di Indonesia (BBSDLP, 2012). Pengelolaan yang baik pada lahan kering masam tersebut akan mampu menghasilkan produksi yang optimal. Saat ini, pengembangan pertanian memiliki masalah lahan subur yang terbatas, oleh sebab itu lahan sub-optimal banyak diarahkan untuk digunakan sebagai lahan pertanian.

Umumnya, lahan kering masam terdapat di wilayah dengan iklim basah yaitu curah hujan tahunan >2000 mm/tahun. Yang mendominasi lahan kering beriklim basah adalah jenis tanah Ultisol dan Oxisol yang sebarannya terutama di wilayah Kalimantan, Sumatera, Irian Jaya, sebagian Jawa serta Sulawesi.

Salah satu masalah utama pada lahan kering masam yaitu pH yang rendah (4,6-5,5). Banyak komoditi tanaman yang tidak mampu tumbuh dengan baik pada lahan ber-pH masam seperti itu, termasuk tanaman kedelai. Tanaman kedelai bisa tumbuh optimum di tanah yang memiliki pH 6-6,8. Ada banyak masalah yang muncul dalam mengembangkan penanaman kedelai di tanah masam selain tanah dengan pH rendah, yakni ketersediaan hara N, P, K, Ca, dan Mg yang rendah, kejenuhan Al-dd, tingginya kandungan Fe dan Mn, serta biota tanah sedikit. Tetapi dengan pengelolaan yang baik maka diharapkan tanaman kedelai bisa tumbuh dan menghasilkan produksi optimum pada lahan masam tersebut.

Untuk meningkatkan pH pada tanah masam bisa dilakukan suatu upaya yang salah satunya adalah melalui proses pengapuran. Dalam meningkatkan kesuburan tanah masam melalui penggunaan bahan kapur yang berbeda merupakan praktik

yang diakui secara luas untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman dengan melakukan 4 ketentuan yakni dosis yang tepat, cara yang tepat, waktu yang tepat, dan kondisi yang tepat (Maulana, *et al*, 2020). Pada akhirnya, kapur mampu mengurangi kelarutan logam berat yang berpotensi berbahaya di dalam tanah dengan melumpukannya sehingga lebih sedikit logam yang diserap ke dalam air, tanaman, dan rantai makanan sehingga unsur hara yang diperlukan tanaman bisa tersedia dan diserap optimal oleh tanaman. Oleh sebab itu, diharapkan dengan pemberian kapur dapat menyebabkan serapan hara mengalami peningkatan pada tanaman kedelai sehingga pertumbuhan dan produksinya juga meningkat.

Selain itu, telah banyak diketahui bahwa tanaman kedelai memiliki kandungan protein yang tinggi sehingga kedelai memerlukan unsur hara nitrogen yang banyak. Nitrogen merupakan unsur hara yang sangat banyak terdapat di atmosfer yakni $\pm 78\%$. Tetapi, tanaman tidak mampu memfiksasi nitrogen dari udara secara langsung tanpa bantuan dari mikroorganisme pemfiksasi N. Bakteri *Bradyrhizobium* sp. merupakan bakteri simbiotik yang memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen udara dan bersimbiosis dengan tanaman kedelai sehingga tanaman kedelai mampu memanfaatkan nitrogen bagi pertumbuhannya. Sayangnya, bakteri *Bradyrhizobium* sp. juga merupakan bakteri yang sulit hidup pada tanah ber-pH masam. Bakteri ini akan mampu bekerja dengan optimum pada pH hampir netral seperti halnya pH tanah yang diperlukan tanaman kedelai untuk tumbuh dan berproduksi secara optimum. Sudah banyak penelitian yang dilakukan sebelumnya mengenai penggunaan *Bradyrhizobium* sp. tahan terhadap pH masam. Salah satunya yaitu berdasarkan penelitian Selvia, *et al* (2019) pada skala polibeg, telah didapatkan inokulan *Bradyrhizobium* sp. tahan terhadap pH masam (pH <5). Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan inokulan *Bradyrhizobium* sp. tahan pH masam yang dilanjutkan dari penelitian Selvia, *et al* (2019) untuk melihat kemampuannya dalam membantu menyediakan unsur hara nitrogen bagi tanaman kedelai di tanah masam, sehingga tanaman kedelai mampu tumbuh dan berproduksi dengan baik.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana respons pertumbuhan tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. tahan masam dan pengapuran pada lahan kering masam.
2. Bagaimana respons produksi tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. tahan masam dan pengapuran pada lahan kering masam.

1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibatasi dalam penelitian ini yaitu:

1. Inokulan *Bradyrhizobium* sp yang digunakan merupakan inokulan yang berasal dari penelitian peneliti sebelumnya pada skala penelitian polibeg.
2. Dosis kapur yang digunakan sudah dihitung menggunakan metode Al-dd.

1.4. Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui respons pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. tahan masam dan pemberian kapur pada lahan kering masam.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi lanjutan penelitian sebelumnya dan menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan budidaya tanaman kedelai di lahan kering masam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kedelai

Di Indonesia, karakteristik tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merrill) yang dibudidayakan yaitu tanaman semusim yang tegak memiliki tinggi 40-90 cm, bercabang, mempunyai daun tunggal dan berdaun tiga (trifoliolate), terdapat bulu di daun, polong tidak terlalu padat, serta usia tanaman antara 72-90 hari. Kedelai introduksi secara umum tidak atau sangat sedikit memiliki cabang serta sebagian mempunyai trikoma padat di daun maupun polongnya (Adie dan Krisnawati, 2007).

Pada tanaman kedelai terdapat dua sistem perakaran, yakni akar tunggang dan akar serabut yang asalnya tumbuh dari akar tunggang. Tanaman kedelai sering juga membentuk akar adventif yang tumbuhnya dari bagian bawah hipokotil. Kemunculan akar adventif dikarenakan cekaman tertentu, contohnya terlalu tingginya kadar air tanah. Kondisi fisik dan kimia tanah, cara olah tanah, jenis tanah, status unsur hara, serta status air di dalam tanah sangat mempengaruhi perkembangan akar tanaman kedelai. Akar tunggang tanaman kedelai bisa tumbuh sampai mencapai panjang ± 2 m atau lebih di kondisi yang optimal (Stefia, 2017).

Tanaman kedelai memiliki dua bentuk daun yang dominan, yakni pertama stadia kotiledon yang tumbuh ketika tanaman dalam fase kecambah dengan dua helai daun tunggal dan bentuk kedua yaitu daun bertangkai tiga (*trifoliolate leaves*) yang tumbuhnya setelah masa pertumbuhan. Secara umum, daun tanaman kedelai memiliki dua bentuk, yakni bulat (oval) dan lancip (lanceolate). Faktor genetik yang mempengaruhi kedua bentuk daun tersebut. Bentuk daun diprediksi mempunyai hubungan yang sangat erat dengan potensi produksi biji (Irwan, 2006).

Batang tanaman kedelai merupakan batang semak yang tingginya berkisar antara 30-100 cm. Tanaman berbatang semak memiliki ciri-ciri yaitu mempunyai cabang yang banyak dan tingginya lebih pendek, tekstur batang hijau dan lembut dan cepat pertumbuhannya. Tiap batang mampu membentuk hipokotil 3-6 cabang. Ada dua tipe pertumbuhan batang kedelai, yakni tipe determinate dan indeterminate. Hal yang mendasari perbedaan tersebut adalah keberadaan bunga di pucuk batang. Batang yang tidak mengalami pertumbuhan lagi setelah kemunculan bunga disebut dengan pertumbuhan batang tipe determinate. Sedangkan batang tanaman yang pucuknya masih terus bertumbuh walaupun sudah muncul bunga disebut dengan pertumbuhan batang tipe indeterminate. Sementara itu, terdapat varietas hasil persilangan yang memiliki batang mirip dengan keduanya. Tipe batang ini disebut dengan semi-determinate atau semi-indeterminate. Percabangan akan muncul pada batang dengan jumlah bergantung pada varietas dan kondisi tanah, tetapi ada varietas kedelai yang tidak mengalami percabangan (Adisarwanto, 2005).

Tipe penyerbukan pada tanaman kedelai adalah tanaman menyerbuk sendiri yang memiliki sifat kleistogami. Tanaman dikatakan masuk fase reproduktif apabila tunas aksilar mengalami perkembangan membentuk kelompok bunga dengan 2-35 kuntum bunga tiap kelompok. Buku pada bunga pertama ada hubungannya dengan tahap perkembangan tanaman. Saat buku kotiledon, daun primer, dan daun *trifoliolate* dalam fase vegetatif, bunga pertama muncul di buku

kelima atau keenam dan/atau buku di atasnya. Kemunculan bunga menuju arah ujung batang utama dan ujung cabang. Waktu tanam akan mempengaruhi periode berbunga yang dapat berlangsung 3-5 minggu (Adie dan Krisnawati, 2007).

Buah kedelai berbentuk polong. 50-100 polong dapat dihasilkan oleh setiap tanaman kedelai. Warna polong kedelai adalah kuning kecoklatan atau abu-abu dan memiliki bulu. Selama tahap pematangan buah yang pada mulanya polong berwarna hijau akan berubah kehitaman (Sugeno, 2008).

Dua bagian utama pada biji kedelai yakni kulit biji dan janin (embrio). Terdapat pusar (hilum) di kulit biji yang memiliki warna coklat, hitam, atau putih. Ada lubang-lubang kecil yang terbentuk pada tahap pembentukan biji yang disebut dengan mikrofil. Mikrofil terdapat pada ujung hilum. Warna kulit biji berbagai macam. Ada warna kuning, hijau, coklat, hitam, ataupun kombinasi campuran dari warna-warna tersebut. Tidak terjadi dormansi pada biji kedelai sehingga setelah tahap pengisian biji selesai, biji kedelai bisa langsung ditanam. Meskipun begitu, biji tersebut harus memiliki kadar air berkisar antara 12-13% (Irwan, 2006).

2.2. Syarat Tumbuh

2.2.1. Iklim

Salah satu faktor yang melekat pada produksi pertanian yakni kondisi iklim yang merupakan faktor paling penting, sulit dikendalikan dan merupakan pembatas yang lebih besar dalam mempengaruhi hasil maksimum. Cekaman abiotik seperti kekeringan, hujan berlebihan, suhu ekstrem, dan cahaya rendah secara signifikan dapat menurunkan hasil panen (Ohyama, *et al*, 2017).

Beberapa kondisi di atas tanah yang utama mempengaruhi pertumbuhan tanaman kedelai yaitu intensitas dan lama penyinaran, suhu udara, serta kandungan CO₂ di atmosfer. Lama penyinaran optimum antara 10–12 jam. Intensitas cahaya matahari yang berkurang, akan mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi lebih tinggi, ruas antar buku lebih panjang, jumlah daun dan polong lebih sedikit, serta ukuran biji makin kecil. Tanggapan tanaman kedelai pada perubahan suhu bergantung pada fase pertumbuhan. Pada fase perkecambahan suhu yang cocok antara 15–22°C, pada fase pembungaan antara 20–25°C, serta fase pemasakan antara 15–22°C (Taufiq dan Sundari, 2012).

Kedelai mampu bertumbuh di kondisi suhu yang beragam. Suhu tanah yang optimal pada tahap perkecambahan yakni 30°C, apabila ditanam di suhu yang lebih rendah (< 15°C) maka proses perkecambahannya akan berlangsung sangat lambat dan dapat mencapai waktu 2 minggu. Hal ini disebabkan karena perkecambahan biji tercekam di kondisi tingginya kelembaban tanah dan banyaknya biji yang mati dikarenakan respirasi air dari dalam biji yang terlalu cepat (Adisarwanto, 2005). Suhu yang sesuai dengan tanaman kedelai antara 21-34°C, akan tetapi suhu optimum untuk pertumbuhan tanaman kedelai adalah 23-27°C.

Tanaman kedelai mampu membentuk organ vegetatif dan generatif secara maksimum pada suhu kardinal (23 – 26°C). Pematangan biji berlangsung pada siang hari dengan suhu 20-25°C dan 15-18°C pada malam hari merupakan suhu yang optimum untuk kualitas benih yang dihasilkan (Sumarno dan Manshuri, 2016).

Tanaman kedelai mampu bertumbuh dengan baik sampai ketinggian tempat 1.500 m di atas permukaan laut (dpl), tetapi kisaran yang terbaik untuk pertumbuhan tanaman kedelai yakni pada ketinggian 0 – 900 m dpl dan yang paling terbaik sampai 650 meter dpl, karena ketinggian tempat akan mempengaruhi usia tanaman. Usia tanaman kedelai yang ditanam di dataran tinggi akan lebih panjang (Rukmi, 2009).

Pada umumnya, curah hujan yang merata yaitu 100-150 mm per bulan di dua bulan pertama sejak kedelai ditanam adalah kondisi yang cukup baik untuk pertumbuhan kedelai. Tanaman kedelai dengan usia panen 100-190 hari umumnya memiliki kebutuhan air tanaman antara 450-825 mm (rata-rata 4,5 mm/hari). Sehingga dari data tersebut, kebutuhan air tanaman kedelai dengan umur panen 80-90 hari antara 360-405 mm atau sama dengan 120-135 mm per bulan. Kebutuhan air yang diperlukan tanaman kedelai sangat dipengaruhi kemampuan tanah menyimpan air, besarnya penguapan, serta kedalaman lapisan olah tanah (Sumarno dan Manshuri, 2016).

2.2.2. Tanah

Tekstur tanah ideal untuk budidaya tanaman kedelai adalah yang memiliki tekstur liat berpasir, liat berdebu-berpasir, dan debu berpasir. Kemudian memiliki drainase sedang sampai baik, memiliki kemampuan menahan kelembaban tanah, dan tidak mudah tergenang. Apabila unsur hara tanah cukup untuk tanaman, maka kandungan bahan organik tanah pada kondisi sedang hingga tinggi (3 – 4 %) akan sangat mendukung pertumbuhan tanaman kedelai (Sumarno dan Manshuri, 2016).

Pada tanah yang memiliki tekstur gembur, lembab tidak tergenang air dan memiliki pH 6 – 6,8, kedelai dapat tumbuh dengan baik. Tetapi pada pH tanah 5,5 tanaman kedelai masih dapat tumbuh dan menghasilkan produksi, walaupun tidak sebaik pada pH yang optimum. Pertumbuhan tanaman kedelai sangat terhambat akibat keracunan Al pada pH tanah 5,5. Sehingga untuk mengatasinya lahan tersebut perlu diberi kapur (Jayasumarta, 2012).

Selain faktor iklim, kondisi tanah yang buruk adalah masalah utama untuk produksi kedelai. Kesuburan tanah juga penting untuk mendukung pertumbuhan kedelai. Di antara kendala biotik, gulma, serangga, dan penyakit merupakan masalah serius untuk menurunkan pertumbuhan tanaman dan produktivitas benih kedelai (Ohyama, *et al*, 2017).

Unsur hara dalam tanah harus di atas batas kekahatan. Hal ini dimaksudkan supaya tanaman tumbuh optimum. Unsur hara di dalam tanah memiliki nilai kritis yang bermacam-macam bergantung pada jenis tanah serta metode analisis yang dipakai. Suhu tanah akan mempengaruhi tanaman terutama di fase perkecambahan, dimana suhu tanah optimum antara 24,2–32,8°C. Tanaman kedelai sedikit sensitif terhadap kemasaman tanah, unsur-unsur toksik, serta salinitas. Secara berturut-turut, nilai kritis pH, Al, Mn, dan salinitas yaitu pH 5,5, Al-dd 1,33 me/100 g, Mn 3,3 ppm, dan 1,3 dS/m (Taufiq dan Sundari, 2012).

Faktor lainnya yakni kedalaman olah tanah akan mempengaruhi keberhasilan budidaya tanaman kedelai. Hal ini dikarenakan kedalaman olah tanah sangat penting untuk pendukung pertumbuhan akar. Maksudnya bahwa makin dalam

kedalaman olah tanahnya, maka akan lebih bebas ruang untuk pertumbuhan akar, sehingga akar tunggang tanaman kedelai makin kokoh dan dapat tumbuh lebih dalam. Pada tanah dengan tekstur remah dimana terdapat kedalaman olah tanah lebih dari 50 cm, maka akar tanaman kedelai mampu tumbuh hingga kedalaman 5 m. Sedangkan di tanah yang kadar liatnya tinggi, pertumbuhan akarnya hanya akan mencapai kedalaman ± 3 m (Irwan, 2006).

2.3. Nitrogen

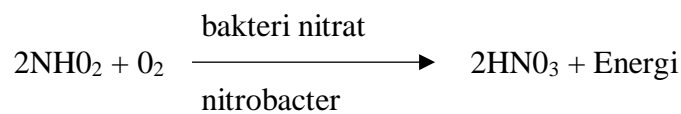
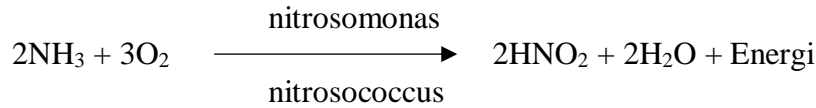
Unsur hara adalah pendukung untuk pertumbuhan tanaman yang sangat penting sebagai zat makanan bagi tanaman. Unsur hara penting yang diperlukan tanaman salah satunya adalah nitrogen. Unsur nitrogen merupakan unsur penyusun utama protein yang relatif tidak dapat diambil tanaman secara langsung meskipun molekul nitrogen terdapat lebih kurang 80% dari total unsur yang ada di atmosfer. Sehingga tanaman harus bergantung pada senyawa nitrogen yang terkandung dalam tanah dalam jumlah sedikit. Untuk menjadi pelengkap bagi peranannya sebagai pensintesa protein, nitrogen adalah bagian penyusun molekul klorofil sehingga aplikasi nitrogen yang cukup akan menyebabkan pertumbuhan vegetatif yang subur disertai warna hijau gelap pada daun. Aplikasi nitrogen secara berlebihan pada kondisi tertentu bisa mengakibatkan penundaan fase generatif tanaman bahkan sama sekali tidak terjadi. Selain itu, Nitrogen juga memiliki peran penting dalam metabolisme tanaman yaitu sebagai penyusun enzim. Nitrogen adalah unsur yang sangat *mobile* dalam tanaman sehingga protein fungsional yang memiliki kandungan nitrogen bisa terurai di bagian tanaman yang lebih tua selanjutnya dibawa ke jaringan muda yang aktif tumbuh (Tando, 2018).

Komponen penyusun utama protein, klorofil, enzim, hormon dan vitamin adalah nitrogen. Tanaman menyerap nitrogen dalam bentuk ion NO_3^- dan NH_4^+ yang juga sangat mudah ditranslokasikan di dalam tanaman. Oleh sebab itu gejala kekurangan nitrogen akan tampak pada daun tua. Gejala kekurangan nitrogen pada tanaman muda yaitu dapat dilihat dari daunnya yang berwarna hijau pucat dan tanaman yang mengalami kekurangan nitrogen yang parah akan menunjukkan warna kuning pucat pada daun, serta batang yang memanjang dan lemah. Sedangkan pada tanaman tua, pada bagian bawah daun-daun akan terlihat memunculkan gejala kuning parah dan gugur pada akhirnya (Taufiq dan Sundari, 2012).

Nitrogen diubah menjadi ammonium di dalam tanah. Tanaman dapat memanfaatkan nitrogen di dalam tanah secara optimum dalam bentuk ammonium. Bentuk nitrogen lain yang bisa dimanfaatkan tanaman adalah dalam bentuk nitrat. Tetapi lebih memungkinkan tanaman memanfaatkan nitrogen dalam bentuk ammonium daripada nitrat. Hal ini disebabkan nitrat lebih memungkinkan melakukan pembentukan N_2O hasil proses denitrifikasi serta lebih mudah tercuci. Proses denitrifikasi menyebabkan akibat yang tidak diharapkan. Ion ammonium (NH_4^+) memiliki muatan positif serta siap diserap oleh bahan organik tanah dan koloid tanah yang sifatnya negatif. Proses tersebut akan mencegah dari pencucian tanah yang disebabkan aliran hujan. Beda halnya dengan ion nitrat (NO_3^-) yang muatannya negatif sehingga tidak mampu diikat oleh tanah serta bisa mengalami

pencucian. Oleh sebab itu nitrogen akan hilang dari tanah serta kesuburan tanah akan berkurang (Amir, *et al*, 2012).

Proses nitrifikasi terjadi akibat bantuan bakteri-bakteri nitrit dan nitrat. Dengan proses seperti berikut:



Terdapat tiga hal yang dapat mengakibatkan nitrogen hilang dari dalam tanah yakni nitrogen akan hilang akibat tercuci bersama air drainase, menguap dan diserap oleh tanaman (Patti, *et al*, 2013).

Produksi kedelai yang tinggi membutuhkan nitrogen dalam jumlah besar dan tanaman kedelai harus terus mengasimilasi nitrogen selama tahap vegetatif dan generatif. Banyak data di lapangan menunjukkan bahwa jumlah total N yang diasimilasi dalam pucuk tanaman kedelai sangat berkorelasi dengan produksi biji kedelai. Untuk mendapatkan produksi biji kedelai yang tinggi, nodulasi yang baik, aktivitas fiksasi nitrogen yang tinggi dan tahan lama adalah sangat penting, sebab umumnya ketersediaan N tanah tidak mencukupi untuk mendukung pertumbuhan kedelai dan benihnya, N dan pupuk starter kimia N hilang dalam beberapa minggu setelah tanam (Ohyama, *et al*, 2017).

2.4. Simbiosis *Bradyrhizobium* sp. dengan Akar Tanaman Kedelai

Bakteri bintil akar (*root nodulating bacteria*) merupakan bakteri pemfiksasi N₂ yang hidupnya melakukan simbiosis dengan tanaman kacang-kacangan (*rhizobia*). Memanfaatkan *rhizobia* menjadi inokulan pupuk hayati mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen bagi tanaman. Hal ini bisa mendukung meningkatnya produktivitas tanaman kacang-kacangan. *Rhizobium* yang mampu membentuk bintil akar pada tanaman kedelai dengan efektif disebut dengan *Bradyrhizobium japonicum*, walaupun kenyataannya bahwa pada tanaman kedelai *Bradyrhizobium japonicum* bukan selalu merupakan mikrosimbion tunggal (Saraswati dan Sumarno, 2008).

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah yaitu keserasian strain bakteri *Rhizobium* sp. dengan tanaman inangnya, kemampuan *Rhizobium* sp. bersaing dengan bakteri-bakteri lainnya di dalam tanah, serta kemampuan tanaman inang mengadakan nutrisi untuk *Rhizobium* sp. yang bersimbiosis dengan tanaman tersebut (Widyasari, *et al*, 2013).

Bradyrhizobium japonicum merupakan salah satu bakteri bintil akar (BBA) yang secara simbiosis memiliki peran penting agar terjadi peningkatan produktivitas tanaman kedelai. Bintil akar adalah sebuah proses kompleks yang memerlukan koordinasi ekspresi gen dari bakteri dan tanaman. Flavonoid pada eksudat akar tanaman menginduksi ekspresi dari gen bintil di *Bradyrhizobium* sp. Untuk mencukupi kebutuhan nitrogen pada pertumbuhan tanaman, bakteri bintil akar yang terdapat di bintil akar, akan mengubah nitrogen menjadi ammonia. Bakteri *Bradyrhizobium japonicum* akan menghasilkan juga lendir yang sebagian besar berbentuk polisakarida ekstraseluler (EPS) yang berasal dari karbohidrat permukaan sel dan fungsinya untuk toleransi terhadap asam (Tobing, *et al*, 2014).

Biosintesis eksopolisakarida (EPS) oleh *rhizobia* dibutuhkan dalam membentuk nodul penambat nitrogen pada nodul-legum yang memiliki tipe indeterminate seperti Pisum, Trifolium, dan Vicia spp. Dalam invasi dan perkembangan nodul EPS terlibat dalam melepaskan bakteri dari benang infeksi, perkembangan bakteroid, dan menekan tanggap perlindungan serta pertahanan tanaman terhadap senyawa anti mikrobial tanaman. EPS *rhizobia* adalah polimer heteropolisakarida spesifik spesies yang terkandung gula di dalamnya. Gula tersebut bisa disubstitusi dengan sisa nonkarbohidrat. Sintesis unit ulangan EPS, modifikasi, polimerisasi serta ekspor ke permukaan sel dikontrol sekelompok gen yang dikenal dengan *exo*, *exs*, *exp*, atau *pss*. Gen- gen ini ada pada megaplasmid atau kromosom *rhizobia*. Selain itu, faktor-faktor lingkungan seperti nitrogen, fosfat, dan sulfur akan mempengaruhi produksi EPS (Hidayat, 2013).

Bintil akar sebagai organ penambat nitrogen terbentuk akibat simbiosis *rhizobia* dengan akar tanaman legum. Terdapat sel-sel yang sedikit membesar pada bintil akar yang didalamnya terdapat bakteroid dan ada sel-sel diantaranya yang lebih kecil dan banyak memiliki kandungan pati. Bintil akar mulai berkembang ketika sel korteks akar mengalami rangsangan untuk melakukan pembelahan secara mitosis agar calon bintil terbentuk yang bersamaan dengan bakteri *Rhizobium* yang masuk ke dalam sel-sel tersebut. Secara umum bintil akar mulai dibentuk 5-6 hari sesudah inokulasi, sedangkan penambatan nitrogen berlangsung 8-15 hari setelah inokulasi. Tanaman inang yang menentukan struktur bintil akar. Pada tanaman kedelai contohnya, pada bintil akar determinate, daerah meristematnya tidak jelas, dan berbentuk bulat. Bintil akar dengan warna merah memiliki kandungan leghemoglobin yang berarti bintil akar tersebut efektif memfiksasi N₂. Selama 50–60 hari bintil akar akan tetap aktif. Kemudian akan mengalami senescen. Leghemoglobin dan bakteroid ketika senescen akan mengalami degradasi sehingga bintil akar berubah menjadi warna coklat atau hijau. Yang menentukan ukuran, warna, bentuk, tekstur serta letak bintil akar pada tanaman adalah tanaman inang (Dierolf, *et al*, 2001 dalam Purwaningsih, *et al*, 2012).

Saat berada dalam bintil akar mitra legumnya, *Bradyrhizobium* sp mampu memfiksasi nitrogen atmosfer. Peran *Bradyrhizobium* sp khususnya terhadap pertumbuhan tanaman berhubungan dengan ketersediaan nitrogen bagi tanaman inangnya. *Bradyrhizobium* sp adalah mikroorganisme yang memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen bebas dari udara yang diubah ke dalam bentuk ammonia (NH₃) dan kemudian diubah lagi ke bentuk asam amino. Berikutnya diubah dalam bentuk senyawa nitrogen yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang.

Bradyrhizobium sp sendiri mendapatkan karbohidrat untuk sumber energi berasal dari tanaman inangnya (Sari dan Prayudyaningsih, 2015).

Rhizobium sp. membentuk bintil akar pada tanaman kedelai ketika tanaman tersebut masih muda yakni sesudah terbentuknya rambut akar di akar utama atau akar cabang. Proses terbentuknya bintil akar karena ada rangsangan di permukaan akar yang mengakibatkan bakteri bisa masuk serta berkembang di dalam akar kedelai. Ketersediaan nitrogen dalam tanah akan mempengaruhi pembentukan bintil akar, begitu juga dengan salinitas, kelembaban, pH dan keberadaan *Rhizobium* (Kumalasari, *et al*, 2013).

Proses infeksi diawali melalui penetrasi bakteri ke dalam sel rambut akar. Proses ini diawali dengan rambut akar yang tumbuh mengeriting karena auksin yang dihasilkan dari bakteri. Selanjutnya benang infeksi mengalami perkembangan hingga korteks dan membuat percabangan yang mengakibatkan pembesaran jaringan korteks. Hal ini bisa diamati sebagai bintil akar. Proses bakteri menginfeksi, sensitif terhadap lingkungan yang tidak menguntungkan sampai pada proses ini. Bintil akar efektif merupakan bintil yang apabila dilakukan pembelahan melintang maka tampak berwarna merah muda sampai kecoklatan pada bagian tengah. Pigmen merah leghemoglobin paling berperan dalam melakukan penambatan nitrogen. Jumlah leghemoglobin dalam bintil akar berhubungan langsung dengan jumlah nitrogen yang diikat dengan korelasi positif. Jumlah leghemoglobin yang semakin banyak, menyebabkan nitrogen yang diikat juga semakin banyak (Novriani, 2011).

Pembentukan bintil akar dan efektivitas *rhizobium* dipengaruhi sejumlah faktor, yaitu:

(a) Kekeringan

Pembentukan bintil akar dan penambatan nitrogen sangat terhambat pada kondisi kekeringan. Sehingga sangat penting menjaga kelembaban tanah tetap optimum.

(b) Tergenang

Rhizobium akan terhambat perkembangannya jika terjadi genangan. Hal ini akan menyebabkan penambatan nitrogen juga terhambat.

(c) pH tanah

pH tanah yang rendah atau terlalu tinggi akan menghambat *rhizobium* berkembang.

(d) Pupuk N yang berlebihan

Pemberian pupuk N yang berlebihan akan menyebabkan penambatan nitrogen juga menurun.

(e) Aplikasi insektisida

Jika diaplikasikan insektisida dengan bahan aktif carbofuran, thimet, dasanite, dan heptachlor maka tidak akan mempengaruhi kandungan leghaemoglobin bintil akar.

(f) Terdapat faktor tanah yang akan mempengaruhi perakaran, seperti kandungan Al dan Mn.

(g) Terdapat bakteri dan jamur antagonis terhadap *rhizobium*.

(Taufiq dan Sundari, 2012).

Proses pembentukan bintil akar dapat berlangsung melewati sejumlah proses, yakni:

- (a) Bakteri *Rhizobium* berkumpul di sekitar rambut akar
 - (b) Rambut akar mengeluarkan triptofan, kemudian diubah menjadi *indole acetic acid* (IAA) oleh *Rhizobium*
 - (c) IAA mengakibatkan rambut akar mengerut, sedangkan lebih lanjut bakteri *Rhizobium* menghasilkan enzim yang mampu membuat senyawa pekat larut di dalam selulosa kulit rambut akar sampai terikat
 - (d) Adanya larutan pekat mengakibatkan bakteri *Rhizobium* menjadi bulat, kecil-kecil dan bisa bergerak
 - (e) Selulosa yang terikat pekat mengakibatkan selaput rambut akar mudah ditembus *Rhizobium* dan amat tipis
 - (f) Selanjutnya *Rhizobium* masuk dan berkembang dalam rambut akar dan terbentuk benang infeksi hingga tiap akar akan mengandung koloni bakteri. Akhirnya terbentuk nodul
- (Maharani, 2008).

Bintil akar tanaman kedelai dapat dikatakan sehat atau tidak sehat jika memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- (a) Apabila bintil akarnya dibelah, maka terlihat berwarna merah atau pink di bagian dalamnya yang berarti mengandung leghaemoglobin yang tinggi serta aktif memfiksasi nitrogen. Warna bintil akar yang makin merah menunjukkan semakin aktif.
- (b) Apabila bagian dalam bintil akarnya menunjukkan warna putih atau abu-abu berarti bintil akar masih muda dan belum terjadi kegiatan memfiksasi nitrogen.
- (c) Apabila bintil akarnya menunjukkan warna hijau berarti tidak aktif memfiksasi nitrogen yang dapat disebabkan karena *rhizobium* yang tidak efisien atau tanaman yang kurus.

(Taufiq dan Sundari, 2012).

Reaksi yang terjadi secara umum pada proses fiksasi nitrogen oleh bakteri leguminose yaitu:



Dibutuhkan 15–30 ATP untuk mereduksi 1 molekul N_2 dimana 30–60% dari energi ATP nya terbuang dalam bentuk gas H_2 .

Pada penelitian Purwaningsih, *et al* (2012) dijelaskan bahwa kultivar kedelai yang diteliti dikelompokkan ke dalam empat kriteria yakni:

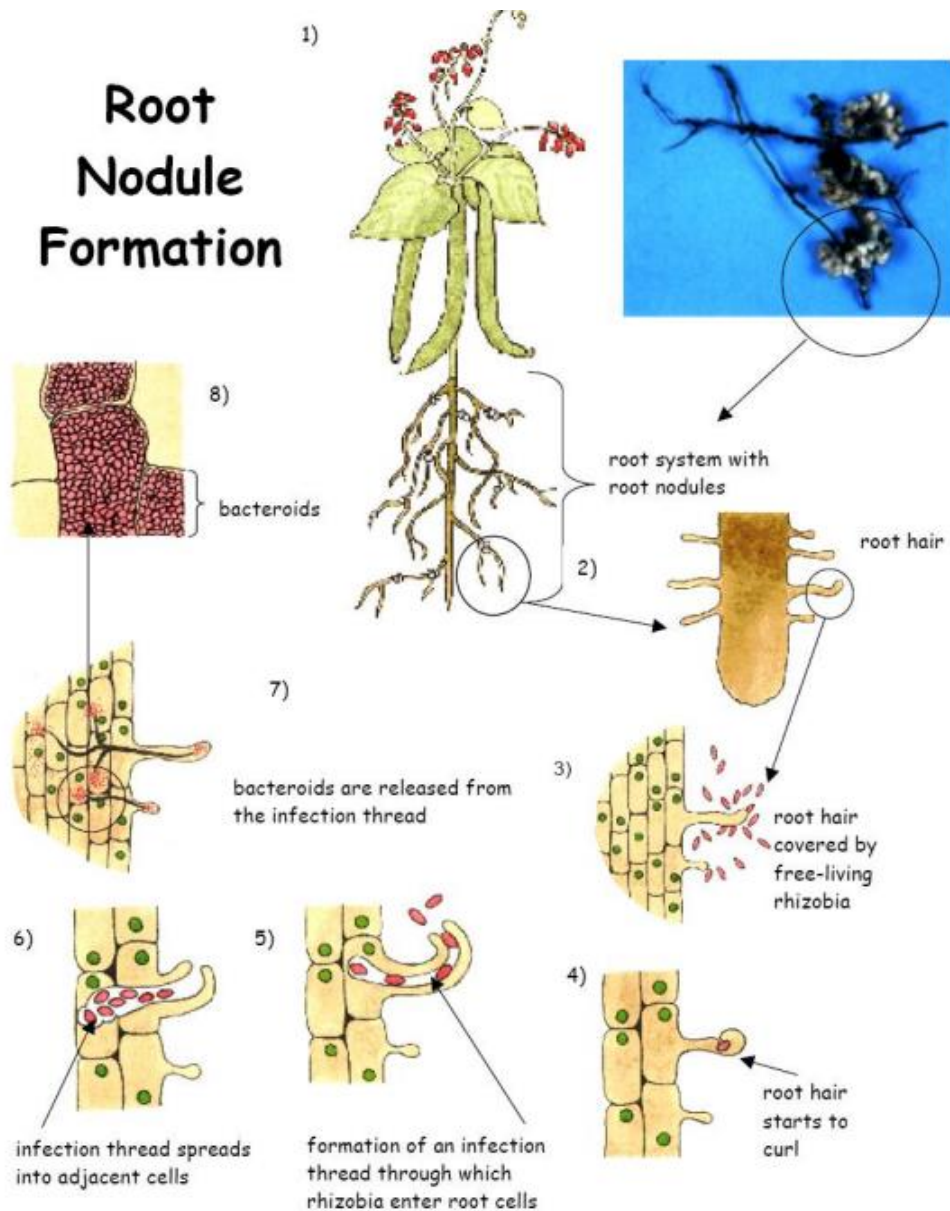
- (a) Inokulasi *rhizobium* mengakibatkan peningkatan fiksasi nitrogen dan hasil biji.
- (b) Inokulasi *rhizobium* mengakibatkan peningkatan fiksasi nitrogen tetapi tidak disertai dengan hasil biji yang meningkat.
- (c) Inokulasi *rhizobium* tidak mengakibatkan peningkatan fiksasi nitrogen tetapi meningkatkan hasil biji.
- (d) Inokulasi *rhizobium* tidak mengakibatkan peningkatan fiksasi nitrogen dan hasil biji.

Tingginya tingkat produksi fotosintat sangat berhubungan dengan meningkatnya fiksasi N oleh *Rhizobia*. Faktor-faktor yang menyebabkan laju fotosintesis berkurang akan mengurangi fiksasi nitrogen. Faktor-faktor yang dimaksud termasuk didalamnya yakni intensitas cahaya yang berkurang, tekanan kelembaban, dan suhu rendah. Pembentukan polong tanaman kedelai sangat

dipengaruhi oleh hasil fotosintat. Oleh sebab itu, terdapat interaksi antara inokulasi *Bradyrhizobium* sp dengan lokasi penanaman kedelai (Havlin, *et al*, 1999).

Terjadi peningkatan jumlah polong yang mempengaruhi hasil biji tanaman kedelai. Inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* mampu meningkatkan jumlah polong berisi sehingga terjadi peningkatan hasil tanaman kedelai dari 1,71 menjadi 2,17 ton/ha (27% daripada perlakuan tanpa inokulan) (Sativa, 2016).

Penelitian Adijaya, *et al* (2004) dalam Sativa (2016) diperoleh bahwa terjadi peningkatan jumlah polong kedelai serta penurunan jumlah polong hampa. Pada tanaman yang diberi inokulasi *Bradyrhizobium* terjadi peningkatan produksi kedelai sebesar 56,07%.



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Nodul Akar

2.5. Peningkatan pH melalui Pengapuran

Ukuran jumlah ion hidrogen di dalam larutan tanah disebut dengan pH tanah. Tetapi di dalam larutan tanah sebenarnya konsentrasi ion hidrogen cukup kecil. Contohnya, tanah dengan pH 4,0 mempunyai konsentrasi ion hidrogen hanya 0,0001 mol per liter dalam air tanah. (1 mol = jumlah atom hidrogen dalam 1 g hidrogen). Akibat sulitnya menghitung dengan angka seperti itu, maka pH dinyatakan menjadi logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, sehingga dihasilkan skala pH yang sudah dikenal yakni 0-14. Oleh sebab itu, $\text{pH} = 4,0 = -\log(0,0001)$. Karena skala pH menggunakan logaritma, masing-masing perubahan angka (seperti dari 5,0 menjadi 4,0) menunjukkan 10x lipat terjadi peningkatan konsentrasi ion H^+ . Perlu diperhatikan bahwa peningkatan jumlah ion hidrogen berarti pH turun. pH 7 akan mempunyai 100x lebih kecil konsentrasi ion hidrogen dari pada tanah dengan pH 5 (USDA, 2000).

Pengasaman tanah merupakan sebuah proses permanen alami yang terdapat pada sebagian besar tanah yang dimanfaatkan agar tanaman berproduksi. Apabila langkah-langkah tepat untuk mengoreksi keasaman tanah berlebihan tidak diterapkan, maka tanah tersebut pada akhirnya dapat menjadi lebih masam. Upaya meningkatkan kesuburan tanah masam melalui proses pengapuran yang berbeda sudah diakui secara luas mampu meningkatkan produktivitas tanah serta tanaman. Proses pengapuran tersebut dilakukan dengan memenuhi empat ketentuan yakni dosis, cara, waktu, dan kondisi yang tepat. Tetapi dengan nilai pH yang sama, pada tanah yang berbeda akan menunjukkan tanggapan berbeda terhadap jumlah bahan kapur yang sama tetapi jenis kapur yang berbeda. Seperti CaO (kapur api atau kalsium oksida); $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kapur terhidrasi atau kalsium hidroksida); CaCO_3 (batu kapur atau kalsit atau kalsium karbonat) dan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomit). Ketersediaan kelarutan dan nutrisi sangat bergantung pada pH tanah (Maulana, *et al*, 2020).

Pengapuran merupakan sebuah teknologi memberikan kapur ke dalam tanah, yang bertujuan agar kesuburan tanah bisa diperbaiki. Umumnya, pengapuran mempunyai tujuan agar sifat-sifat fisika, kimia dan biologi dari tanah dapat diperbaiki. Faktor tanaman harus menjadi pertimbangan saat melakukan peningkatan pH yang diharapkan dari bahan kapur. pH yang paling sesuai yaitu pH yang mencapai pH optimum bagi jenis tanaman tertentu (Damanik, *et al*, 2011).

Salah satu upaya agar pH tanah meningkat adalah dengan melakukan pengapuran. pH tanah merupakan salah satu sifat tanah yang mampu mempengaruhi ketersediaan hara, aktivitas mikroorganisme, dan Kapasitas Tukar Kation (KTK).

Terdapat dua jenis batu kapur dalam pertanian, yaitu calcitic dan dolomit. Batu kalsit mengandung kalsium karbonat, sedangkan batu dolomit mengandung kalsium dan magnesium karbonat. Baik Ca ataupun Mg merupakan nutrisi tanaman yang penting. Batu kapur juga meningkatkan ketersediaan fosfor (P) dan molibdenum (Mo). Kapur menurunkan ketersediaan aluminium dan mangan, sehingga menurunkan risiko toksisitasnya juga, ini merupakan masalah umum di tanah yang sangat asam. Kapur mampu juga menurunkan ketersediaan seng dan besi. Pada akhirnya, kapur untuk pertanian akan mengurangi kelarutan zat berat yang memiliki potensi menjadi logam berbahaya dalam tanah. Kapur mampu

melumpuhkannya sehingga lebih sedikit logam yang terserap ke dalam air, tanaman, dan akhirnya rantai makanan (Ritchey, *et al*, 2016).

Sudah banyak dipublikasikan bahwa pengapuran mampu meningkatkan produksi tanaman kedelai. Respons tanaman kedelai terhadap pengapuran yakni (a) Al dinetralkan, (b) Ca dan Mg cukup tersedia, (c) ketersediaan Mo meningkat, (d) Mn larut mengalami penurunan, (e) P tersedia meningkat, serta (f) pH lingkungan meningkat sesuai dengan yang dibutuhkan untuk membentuk bintil akar dan aktivitas *Rhizobium japonicum* (Wijanarko dan Taufiq, 2004).

Pada penelitian Rumahorbo (2016) diperoleh hasil bahwa perlakuan dengan dolomit nyata menyebabkan peningkatan pH tanah dan Al-dd tanah mengalami penurunan. Dolomit yang diberikan ke dalam tanah tidak mempengaruhi KTK tanah. Pada kation-kation basa dapat ditukar, pemberian dolomit nyata mengakibatkan peningkatan Ca-dd, Mg-dd, Na-dd tanah. Namun tidak memberikan pengaruh pada K-dd tanah. Selain itu, juga meningkatkan kejenuhan basa tanah secara nyata.

Menggunakan kapur dan *Bradyrhizobium* sp secara bersamaan dapat mengakibatkan hasil tanaman kedelai mengalami peningkatan pada tanah mineral masam. Menggunakan kapur dan *Bradyrhizobium* sp secara simultan dapat memberi hasil biji yang sama seperti saat menggunakan pupuk nitrogen (Bekere, 2013).

Terdapat sejumlah hara yang sulit tersedia untuk tanaman kedelai pada tanah yang masam yakni pH < 5.5. Hara-hara tersebut yaitu fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) dan sulfur (S). Tetapi unsur Mangan (Mn), Aluminium (Al) dan Besi (Fe) secara berlebihan tersedia. Oleh sebab itu, unsur – unsur tersebut dapat menjadi toksik untuk tanaman. Tanah mineral masam yang memiliki kandungan Al tinggi dapat mengakibatkan akar kedelai keracunan sehingga menjadi tidak berkembang, pendek dan tebal, tanaman tumbuh kerdil, daunnya tampak kuning kecoklatan dan tidak dapat melakukan pembentukan polong (Yusuf, 2013).

Pengapuran akan memberikan keuntungan dengan memperbaiki aktivitas mikroba, memperbaiki sifat fisik tanah menjadi lebih baik dan memperbaiki fiksasi nitrogen pada legum (USDA, 2000).

Pengapuran secara signifikan meningkatkan pertumbuhan dan produksi kedelai yang diuji. Selain itu juga nyata menyebabkan peningkatan pH tanah dan penurunan kejenuhan Al. Pemberian kapur pada dosis 2 ton/ha secara signifikan mampu meningkatkan produksi 38,32% (Sahuri, 2017).

2.6. Pengaruh pH terhadap *Bradyrhizobium* sp.

Untuk pertanaman kedelai, sebenarnya lahan masam kurang sesuai untuk ditanami. Hal ini dikarenakan bahwa pada pH tanah yang rendah, akar kedelai tidak mampu berkembang dan bintil akar tidak mampu dibentuk dengan baik. Oleh sebab itu, serapan hara dan fiksasi nitrogen tidak optimal (Harsono, *et al*, 2011).

pH tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, karena akan mempengaruhi ketersediaan hara, pembentukan bintil akar oleh bakteri *rhizobium*

yang ada hubungannya dengan penambahan nitrogen tanaman, serta aktivitas pertumbuhan, perkembangan dan populasi *rhizobium* tersebut (Lubis, *et al*, 2015).

Kekurangan unsur hara nitrogen pada umumnya terjadi di tanah dengan tekstur pasir, serta tanah yang masam (pH rendah) sehingga mikroba tanah terganggu aktivitasnya. Secara umum, 50% dari nitrogen yang diperlukan tanaman asalnya dari hasil fiksasi nitrogen oleh bakteri *Rhizobium*. Umumnya, lahan yang sebelumnya telah ditanami kedelai memiliki populasi *Rhizobium* alami yang tinggi (Taufiq dan Sundari, 2012).

Bakteri *Bradyrhizobium* sp. mampu tumbuh optimal pada kisaran pH yaitu sedikit di bawah netral sampai agak alkali. Meskipun demikian, sejumlah strain *Bradyrhizobium* sp. masih mampu hidup pada pH 5,0 (Sari dan Prayudyaningsih, 2015).

Seluruh strain *Rhizobium* di lahan masam menginfeksi sangat lambat, khususnya pada pH 4,5 atau lebih masam. Tanggap kedelai terhadap inokulasi *rhizobium* tidak sama. Inokulasi *Rhizobium* pada Ultisol Lampung yang memiliki pH di bawah 4,5 mampu mengakibatkan bintil akar meningkat sampai 100% tetapi tidak mampu mengakibatkan produksi kedelai meningkat, serta pemupukan 25 kg N/ha tidak menyebabkan peningkatan produksi serta pertumbuhan *Rhizobium* menjadi tertekan yang terlihat dari bobot bintil akar yang menurun (Taufiq dan Sundari, 2012).

Fiksasi nitrogen dan produksi *exopolysacchride* oleh *Bradyrhizobium* sp bergantung terhadap sejumlah faktor lingkungan. Sebuah penelitian difokuskan kepada efek suhu, pH, konsentrasi NaCl dan sumber karbon yang berbeda pada tiga strain asli dari *Bradyrhizobium japonicum* viz., B1, B2 dan B3. Strain ini diisolasi dari bintil akar JS-335 kultivar kedelai yang dibudidayakan di lahan pertanian di Ujjain (Madhya Pradesh). Bobot kering sel dan produksi *exopolysaccharide* dijadikan sebagai parameter pertumbuhan. Hasil penelitian diperoleh bahwa pada suhu 25°C, pH 8,0, dan konsentrasi NaCl 2%, ketiga isolat tersebut menunjukkan pertumbuhan yang signifikan. Penelitian ini memberikan informasi tentang keadaan lingkungan yang paling efektif untuk pertumbuhan *Bradyrhizobium japonicum* indigen yang diisolasi secara maksimal (Kumawat dan Sharma, 2015).

Kandungan Al tinggi pada tanah masam dengan kadar lebih tinggi dari 20% bisa mengakibatkan akar tanaman kedelai mengalami keracunan. Hal ini akan menyebabkan akar kedelai tidak berkembang, tanaman tumbuh kerdil, daunnya kuning kecoklatan, serta tidak terjadi pembentukan polong. Terjadi penghambatan berkembangnya bakteri *Rhizobium* pada tanah masam, kemungkinannya dapat disebabkan karena fotosintat dari daun yang kurang (Sumarno dan Manshuri, 2016).

Beberapa faktor yang memiliki potensi menjadi pembatas bagi pertumbuhan tanaman berkaitan dengan tanah masam yaitu pH tanah rendah yang sering mempunyai tingkat Al larut dan Mn tinggi. Oleh sebab itu akan menyebabkan berkurangnya ketersediaan Ca, Mg, P, dan Mo serta menjadi pembatas untuk memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan keberlangsungan hidup serta efektivitas fiksasi *Bradyrhizobium japonicum* dengan tanaman kedelai (Tobing, *et al*, 2014).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan mulai bulan Agustus – Oktober 2018 di lahan masyarakat Desa Jati Kesuma, Kecamatan Namorambe, Kabupaten Deli Serdang di titik koordinat 3°27'19" LU dan 98°38'52"BT pada ketinggian ±70 m dpl. Jenis tanah yang digunakan merupakan Tanah Ultisol (Kandiudults).

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan bahan – bahan yakni benih kacang kedelai (*Glycine max* L. Merill) varietas Anjasmoro sebagai tanaman indikator, pupuk dasar yaitu Urea (45% N) sebagai sumber N, TSP (45% P₂O₅) sebagai sumber P₂O₅ dan KCl (60% K₂O) sebagai sumber K₂O, bahan-bahan kimia sebagai bahan analisis tanah dan tanaman, air untuk menyiram tanaman indikator, dan bahan – bahan pendukung lainnya.

Kemudian alat-alat yang dipakai dalam penelitian ini yakni cangkul untuk mempersiapkan lahan, timbangan untuk mengukur bobot tanah, alat-alat laboratorium untuk kegiatan mengisolasi bakteri *Bradyrhizobium* sp. serta analisis tanah dan tanaman, Laminar Air Flow (LAF) sebagai tempat proses mengisolasi *Bradyrhizobium* sp, oven dan autoclave sebagai alat sterilisasi media dan alat isolasi, serta alat – alat pendukung lainnya.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan 2 faktor dan 4 ulangan.

Faktor I : Inokulasi *Bradyrhizobium* sp
I₀ : Tanpa Inokulan (Kontrol)
I₁ : Inokulan BGR 3
I₂ : Inokulan LP 3

Faktor II : Pemberian Kapur
K₀ : Tanpa pemberian kapur
K₁ : Dengan pemberian kapur (1,06 kg/plot)

Maka diperoleh 6 kombinasi sebagai berikut :

I ₀ K ₀	I ₀ K ₁	I ₁ K ₀
I ₁ K ₁	I ₂ K ₀	I ₂ K ₁

Jumlah ulangan : 4
Jumlah unit percobaan : 24
Ukuran plot : 200 x 200 cm

Jarak antar blok	: 50 cm
Jarak antar plot	: 30 cm
Jarak tanam	: 40 x 20 cm
Jumlah tanaman per plot	: 45 tanaman
Jumlah tanaman seluruhnya	: 1.080 tanaman
Jumlah tanaman sampel per plot	: 5 tanaman
Jumlah tanaman sampel seluruhnya	: 120 tanaman

Data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan sidik ragam dengan model linier sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1,2,3,4 \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2$$

Dimana:

Y_{ijk}	: Hasil pengamatan pada blok ke-i akibat perlakuan Inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp (I) jenis ke-j dan Pemberian Kapur (K) pada taraf ke-k
μ	: Nilai tengah
ρ_i	: Efek dari blok ke-i
α_j	: Efek perlakuan Inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp (I) pada taraf ke-j
β_k	: Efek Pemberian Kapur (K) pada taraf ke-k
$(\alpha\beta)_{jk}$: Interaksi antara perlakuan Inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp (I) jenis ke-j dan Pemberian Kapur (K) taraf ke-k
ε_{ijk}	: Galat dari blok ke-i, perlakuan Inokulasi <i>Bradyrhizobium</i> sp (I) jenis ke-j dan pemberian Kapur (K) taraf ke-k

Data hasil penelitian dianalisis dengan sidik ragam, data yang berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji beda rata-rata berdasarkan Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf $\alpha = 5\%$.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Pengambilan Contoh Tanah

Pada penelitian ini, sampel tanah yang digunakan merupakan tanah mineral masam Ultisol (Kandiudults) berasal dari Desa Jati Kesuma (Deli Serdang). Diambil tanah secara komposit di kedalaman 0-30 cm. Kemudian dikering udarkan, diayak 10 mesh dan berikutnya dilakukan analisis tanah awal.

3.4.2. Analisis Awal

Dilakukan analisis awal tanah pada sampel tanah yang sudah diayak 10 mesh yakni meliputi analisis tekstur tanah (Metode Bouyoucos), %KA (Metode

Gravimetri), pH H₂O (Metode Elektrometri), N-Total (Metode N-Kjehldal) dan Al-dd (Metode Ekstraktan KCl).

3.4.3. Persiapan Lahan dan Pembuatan Bedengan

Terlebih dahulu, lahan penanaman dibersihkan dari gulma di areal tersebut. Selanjutnya diolah dan digemburkan lahan tersebut memanfaatkan cangkul pada kedalaman olah tanah 30 cm. Berikutnya dibuat plot-plot dengan ukuran panjang dan lebar 200 cm dengan jarak antar blok 50 cm serta jarak antar plot 30 cm. Dibuat parit drainase di sekeliling plot dengan kedalaman 30 cm agar terhindar dari genangan air di sekitar areal penelitian.

3.4.4. Pengapuran

Sebelum dilakukan penanaman, dilakukan pengapuran 2 minggu sebelum tanam menggunakan dolomit sesuai dengan dosis perlakuan.

3.4.5. Persiapan Inokulan *Bradyrhizobium* sp

3.4.5.1. Pembuatan Media YEM Agar

Media YEM (Yeast Extract Mannitol) dibuat menggunakan bahan yaitu Yeast extract 1Gms/L, Mannitol 10 Gms/L sebagai sumber karbon, Dipotassium phosphate 0.5 Gms/L, Magnesium sulphate 0.2 Gms/L, Destile water 1L. Kemudian dimasukkan media ke dalam erlenmeyer 1 L dan distirer hingga homogen. Selanjutnya dipanaskan media dan dicampur dengan agar serta diaduk sampai mendidih. Selanjutnya media di autoclave sampai steril, dituang ke petridish, dan didinginkan.

3.4.5.2. Isolasi Bintil Akar

Pemilihan bintil akar untuk isolasi bintil akar dilaksanakan berdasarkan kriteria yaitu: memiliki ukuran 0.2mm – 0.5mm dan berwarna merah (bintil akar efektif). Diisolasi bintil akar dengan menggoreskan cairan merah pada media YEM agar. Kemudian diinkubasi selama 5 hari (dikondisikan). Bintil akar didapatkan dari akar tanaman kedelai pada penelitian sebelumnya yang ditanam di polibeg menggunakan tanah Ultisol Kelurahan Cengkeh Turi, Kota Binjai di lahan penelitian Fakultas Pertanian USU. Diinokulasikan ke tanaman kedelai tersebut, isolat *Bradyrhizobium* sp terdiri dari isolat BGR 3 dan LP 3.

3.4.5.3. Purifikasi Bakteri *Bradyrhizobium* sp

Untuk memurnikan bakteri *Bradyrhizobium* sp. pada media YEM agar perlu dilakukan purifikasi dengan melakukan pemisahan *Bradyrhizobium* sp dari mikroorganisme-mikroorganisme lainnya serta dilakukan inkubasi selama 5 hari. Selanjutnya isolat dipindahkan ke media agar miring untuk penyimpanan.

3.4.5.4. Persiapan Media YEM Cair

Media YEM cair dibuat menggunakan bahan-bahan yaitu: Yeast extract 1 Gms/ L, Mannitol 10 Gms/L sebagai sumber karbon, Dipotassium phosphate 0.5 Gms/L, Magnesium sulphate 0.2 Gms/L, Destile water 1L untuk masing-masing perlakuan isolat *Bradyrhizobium* sp pada Erlenmeyer. Kemudian diinokulasi *Bradyrhizobium* sp di media YEM cair yang sudah diberikan perlakuan sebanyak 1 mL, dilakukan inkubasi selama 7 hari kemudian di *shaker* dengan kecepatan 70 rpm.

3.4.6. Penanaman Benih Kedelai

Penanaman benih kedelai dilakukan dengan menanam benih yang telah diberikan perlakuan sebanyak 2 biji/lubang tanam.

3.4.7. Aplikasi *Bradyrhizobium* sp

Isolat *Bradyrhizobium* sp diaplikasikan dua kali selama penelitian yakni pada benih kedelai dengan direndam sesuai perlakuan yang diberikan kemudian disiram di sekitar akar tanaman kedelai pada umur tanaman 7 HST. Isolat *Bradyrhizobium* sp yang diaplikasikan telah dihitung populasinya dengan melakukan pengenceran dengan populasi $\geq 10^8$ /ml.

3.4.8. Pemeliharaan

3.4.8.1. Penyiraman

Dilakukan penyiraman disesuaikan dengan kondisi lapangan. Sumber utama air pada lokasi penelitian berasal dari air hujan.

3.4.8.2. Pemupukan

Sebelum penanaman dilakukan pemupukan serta pada umur tanaman 6 MST. Dosis pupuk yang dipakai yaitu Urea 25 kg/ha, KCl 150 kg/ha, dan TSP 200 kg/ha.

3.4.8.3. Penjarangan Tanaman

Dilakukan penjarangan tanaman umur tanaman 2 minggu setelah tanam (MST). Penjarangan dilaksanakan melalui pemotongan tanaman yang tidak diperlukan dengan menyisakan satu tanaman yang baik pertumbuhannya.

3.4.8.4. Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman

Kegiatan pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) dilaksanakan secara manual dengan membuang serta membunuh OPT yang menyerang tanaman.

3.4.8.5. Pemanenan

Pelaksanaan panen ketika tanaman telah menunjukkan matang fisiologis yakni telah bewarna kuning kecoklatan polongnya dan berumur lebih kurang 91 hari setelah tanam. Panen dilaksanakan dengan memetik polong yang telah matang.

3.5. Peubah Amatan

3.5.1. Bobot Kering Tajuk (g)

Mengukur bobot kering tajuk (g) dengan memisahkan tajuk dari akar kemudian dibersihkan dari kotoran. Selanjutnya diovenkan pada suhu 80°C sampai konstan bobotnya. Kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik. Dilakukan pengukuran dengan memanen tajuk pada umur 6 MST.

3.5.2. Bobot Kering Akar (g)

Mengukur bobot kering akar (g) dengan memisahkan akar dari tajuk kemudian dibersihkan dari kotoran. Selanjutnya diovenkan pada suhu 80°C sampai konstan bobotnya. Selanjutnya ditimbang menggunakan timbangan analitik. Dilakukan pengukuran dengan memanen akar pada umur 6 MST.

3.5.3. Jumlah Cabang Produktif (cabang)

Untuk mendapatkan jumlah cabang produktif dilakukan dengan menghitung seluruh cabang berasal dari batang utama yang menghasilkan polong bernas ketika panen.

3.5.4. Jumlah Polong Berisi (polong)

Penghitungan jumlah polong berisi dilakukan dengan menghitung banyak polong yang menghasilkan biji pada setiap tanaman sampel.

3.5.5. Jumlah Polong Hampa (polong)

Penghitungan jumlah polong hampa dengan menghitung banyaknya polong yang tidak menghasilkan biji pada setiap tanaman sampel.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

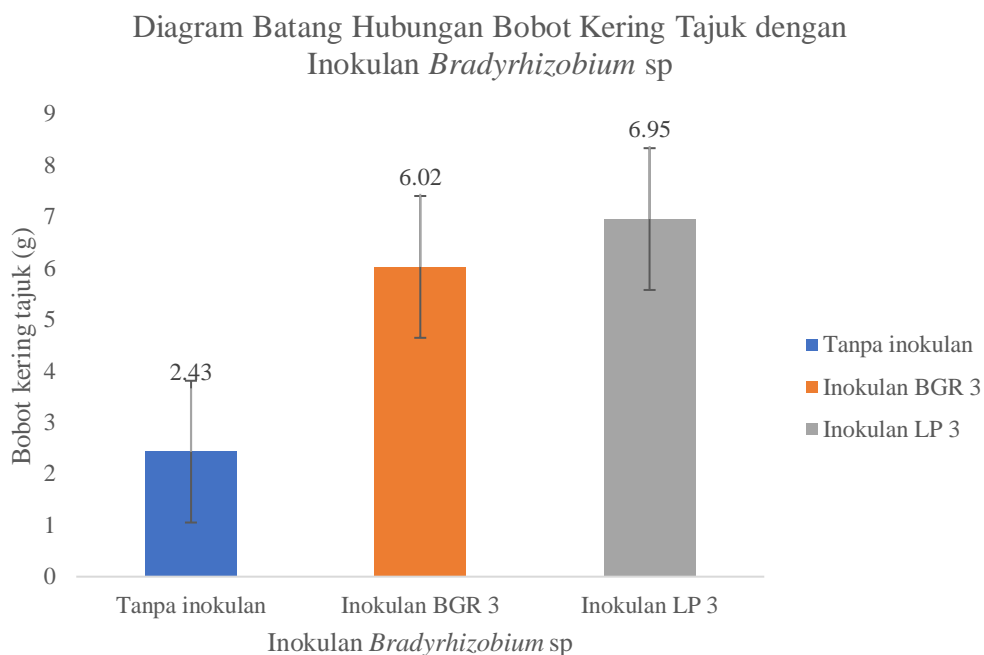
4.1.1. Bobot Kering Tajuk (g)

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh bahwa pada perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp. memiliki pengaruh nyata terhadap bobot kering tajuk tanaman kedelai, tetapi perlakuan pengapuran dan interaksi kedua perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap bobot kering tajuk tanaman kedelai. Bobot kering tajuk tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran pada tanah mineral masam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bobot kering tajuk (g) tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran pada tanah mineral masam

Perlakuan	Tanpa Pemberian Kapur (K ₀)	Dengan Pemberian Kapur (K ₁)	Rataan
Tanpa inokulan (I ₀)	1.51	3.34	2.43 b
Inokulan BGR 3 (I ₁)	5.65	6.39	6.02 a
Inokulan LP 3 (I ₂)	6.41	7.48	6.95 a
Rataan	4.52	5.74	

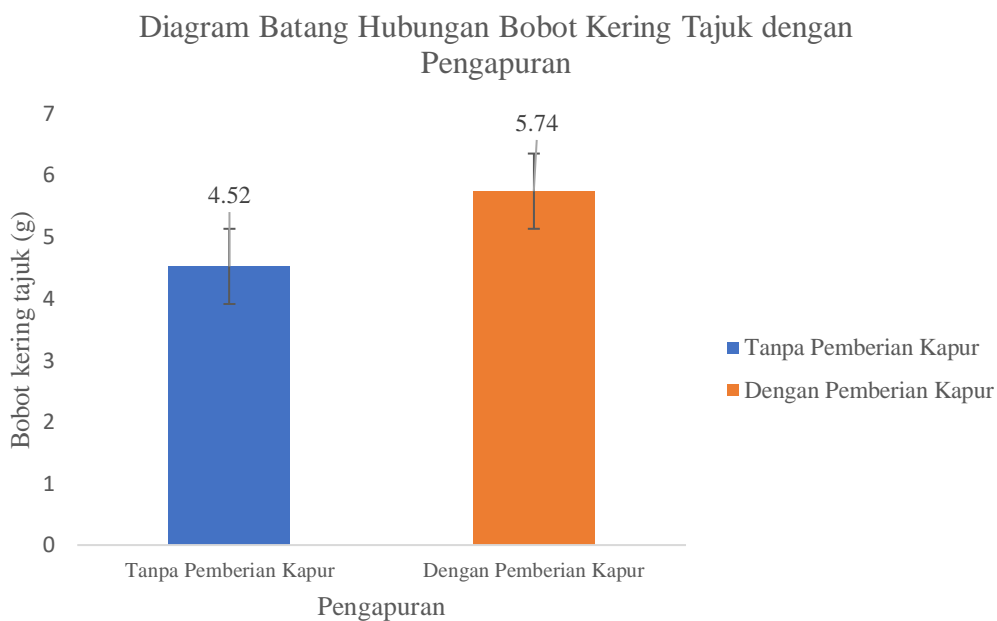
Catatan: huruf yang sama pada kolom perlakuan yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$)



Gambar 2. Hubungan Bobot Kering Tajuk (g) tanaman kedelai dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Perlakuan inokulan LP 3 menunjukkan bobot kering tajuk tertinggi sebesar 6,95 g yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa inokulan tetapi berbeda tidak nyata dengan perlakuan inokulan BGR 3 (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa inokulan LP 3 mampu meningkatkan bobot kering tajuk tanaman kedelai sebesar 186,01 % daripada perlakuan tanpa inokulan (Gambar 2).

Pada perlakuan pengapuran, meskipun tidak menunjukkan pengaruh yang nyata, tetapi dapat kita lihat bahwa perlakuan pemberian kapur (5,74 g) menghasilkan bobot kering tajuk yang lebih tinggi daripada tanpa pemberian kapur. Terjadi peningkatan bobot kering tajuk sebesar 26,99 % pada perlakuan pemberian kapur.



Gambar 3. Hubungan Bobot Kering Tajuk (g) tanaman kedelai dengan Pengapuran

Interaksi kedua perlakuan tersebut juga tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap bobot kering tajuk tanaman kedelai, tetapi dapat kita lihat pada kombinasi perlakuan inokulan LP 3 dan pemberian kapur menunjukkan bobot kering tajuk tertinggi daripada kombinasi perlakuan lainnya (7,48 g).

4.1.2. Bobot Kering Akar (g)

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh bahwa pada perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran memiliki pengaruh nyata terhadap bobot kering akar tanaman kedelai, tetapi interaksi kedua perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap bobot kering akar tanaman kedelai. Bobot kering akar tanaman

kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran pada tanah mineral masam dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Bobot kering akar (g) tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran pada tanah mineral masam

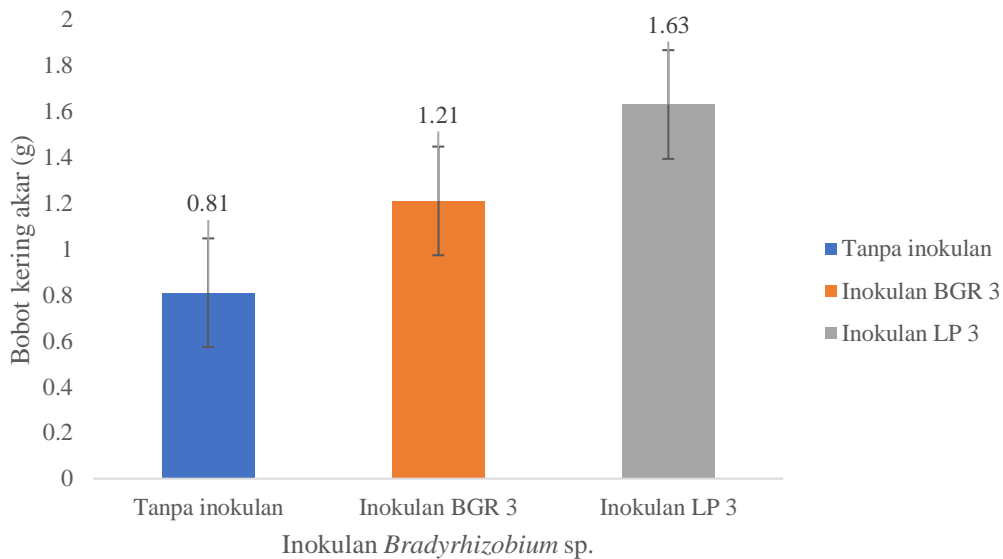
Perlakuan	Tanpa Pemberian Kapur (K ₀)	Dengan Pemberian Kapur (K ₁)	Rataan
Tanpa inokulan (I ₀)	0.57	1.04	0.81 b
Inokulan BGR 3 (I ₁)	0.96	1.46	1.21 ab
Inokulan LP 3 (I ₂)	1.01	2.26	1.63 a
Rataan	0.85 b	1.59 a	

Catatan: huruf yang sama pada kolom atau baris perlakuan yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$)

Perlakuan inokulan LP 3 menunjukkan bobot kering akar tertinggi sebesar 1,63 g yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa inokulan tetapi berbeda tidak nyata dengan perlakuan inokulan BGR 3 (Tabel 2). Berarti inokulan LP 3 mampu meningkatkan bobot kering akar tanaman kedelai sebesar 101,23 % daripada perlakuan tanpa inokulan (Gambar 4).

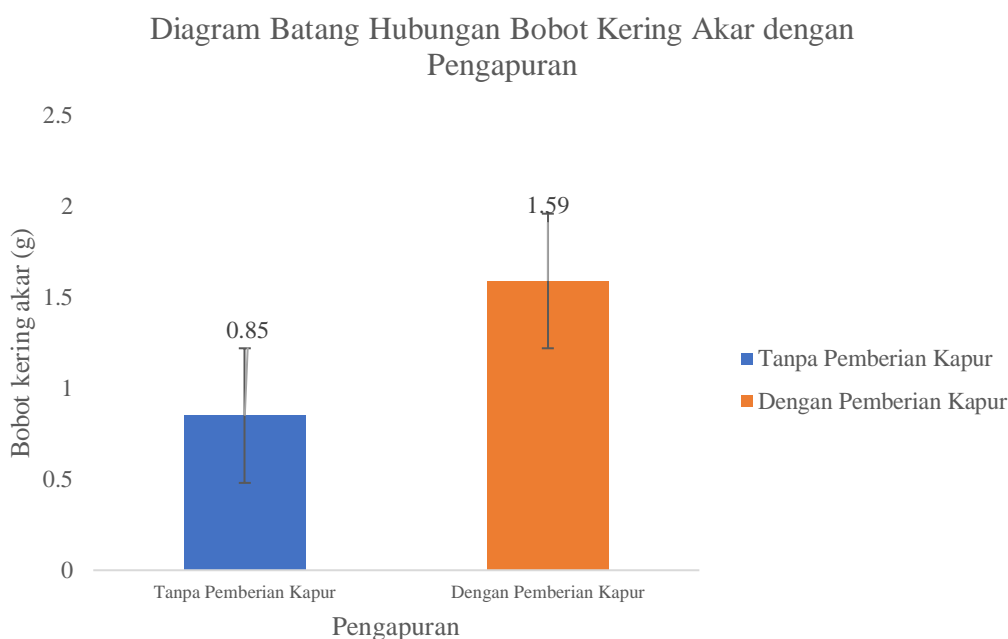
Bobot kering akar pada perlakuan pengapuran juga menunjukkan pengaruh yang nyata dimana perlakuan pemberian kapur (1,59 g) menghasilkan bobot kering akar yang lebih tinggi daripada tanpa pemberian kapur. Terjadi peningkatan bobot kering akar sebesar 87,06 % pada perlakuan pemberian kapur (Gambar 5).

Diagram Batang Hubungan Bobot Kering Akar dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.



Gambar 4. Hubungan Bobot Kering Akar (g) tanaman kedelai dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Pada kombinasi perlakuan, interaksi kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap bobot kering akar tanaman kedelai. Tetapi jika kita amati pada kombinasi perlakuan inokulan LP 3 dan pemberian kapur menunjukkan bobot kering akar tertinggi daripada kombinasi perlakuan lainnya (2,26 g).



Gambar 5. Hubungan Bobot Kering Akar (g) tanaman kedelai dengan Pengapuran

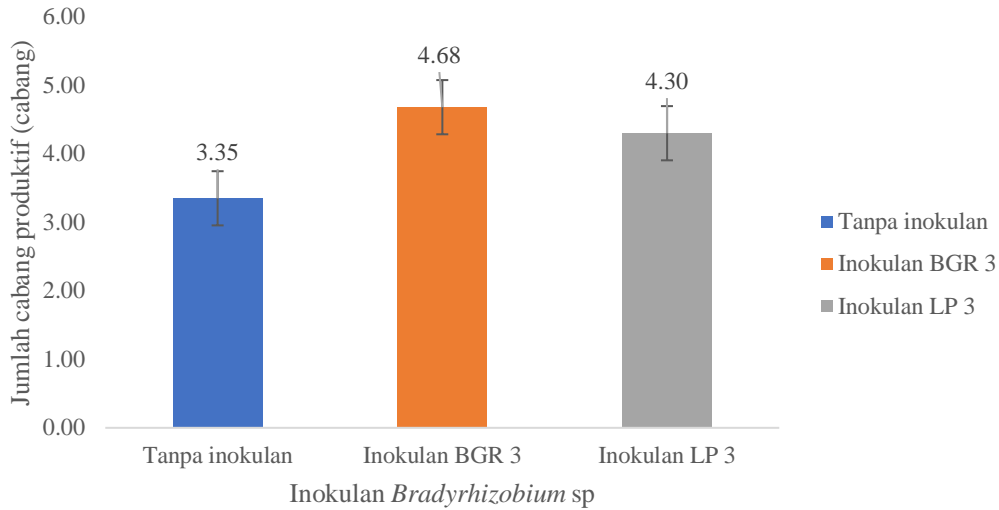
4.1.3. Jumlah Cabang Produktif (cabang)

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh bahwa pada perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp, pengapuran dan interaksi keduanya tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah cabang produktif tanaman kedelai. Jumlah cabang produktif tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran pada tanah mineral masam dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah cabang produktif (cabang) tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran pada tanah mineral masam

Perlakuan	Tanpa Pemberian Kapur (K ₀)	Dengan Pemberian Kapur (K ₁)	Rataan
Tanpa inokulan (I ₀)	3.25	3.45	3.35
Inokulan BGR 3 (I ₁)	4.85	4.50	4.68
Inokulan LP 3 (I ₂)	4.30	4.30	4.30
Rataan	4.13	4.08	

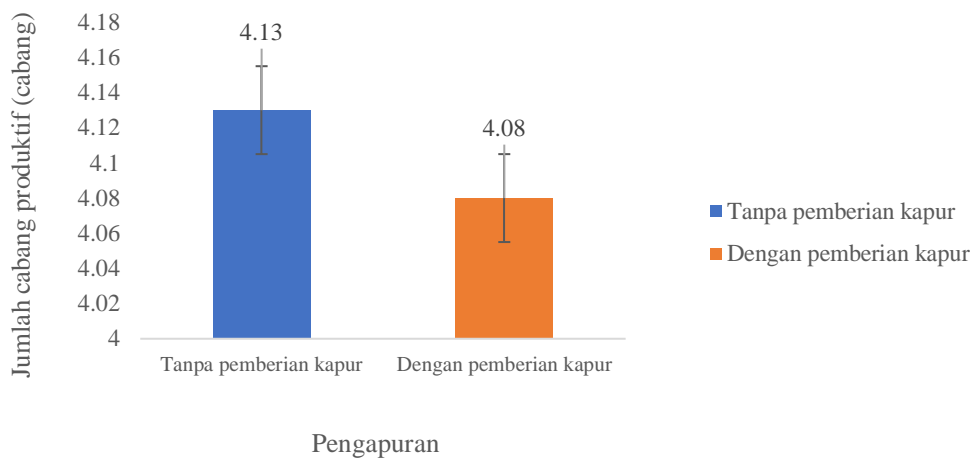
Diagram Batang Hubungan Jumlah Cabang Produktif dengan Inokulasi *Bradyrhizobium* sp.



Gambar 6. Hubungan Jumlah Cabang Produktif (cabang) tanaman kedelai dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Meskipun tidak menunjukkan pengaruh nyata, tetapi jika diamati maka pada perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp, perlakuan inokulan BGR 3 menunjukkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai terbanyak yaitu sebesar 4,68 cabang (Tabel 3). Tidak jauh berbeda dengan perlakuan inokulan LP 3 yang menghasilkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai sebesar 4,30 cabang. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa inokulan BGR 3 dan LP 3 dapat menghasilkan jumlah cabang produktif yang hampir sama daripada tanpa inokulan.

Diagram Batang Hubungan Jumlah Cabang Produktif dengan Pengapuran



Gambar 7. Hubungan Jumlah Cabang Produktif (cabang) tanaman kedelai dengan Pengapuran

Jumlah cabang produktif pada perlakuan pengapuran juga tidak menunjukkan pengaruh yang nyata dimana perlakuan pemberian tanpa kapur (4,13 cabang) menghasilkan jumlah cabang produktif sedikit lebih banyak daripada pemberian kapur, tetapi tidak signifikan.

Sementara itu, interaksi kedua perlakuan tersebut juga tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah cabang produktif tanaman kedelai. Tetapi jika kita amati pada kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan tanpa pemberian kapur menunjukkan jumlah cabang produktif terbanyak sebesar 4,85 cabang daripada kombinasi perlakuan lainnya.

4.1.4. Jumlah Polong Berisi (polong)

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh bahwa pada perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah polong berisi tanaman kedelai, tetapi interaksi keduanya tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah polong berisi tanaman kedelai. Jumlah polong berisi tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran pada tanah mineral masam dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah polong berisi (polong) tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran pada tanah mineral masam

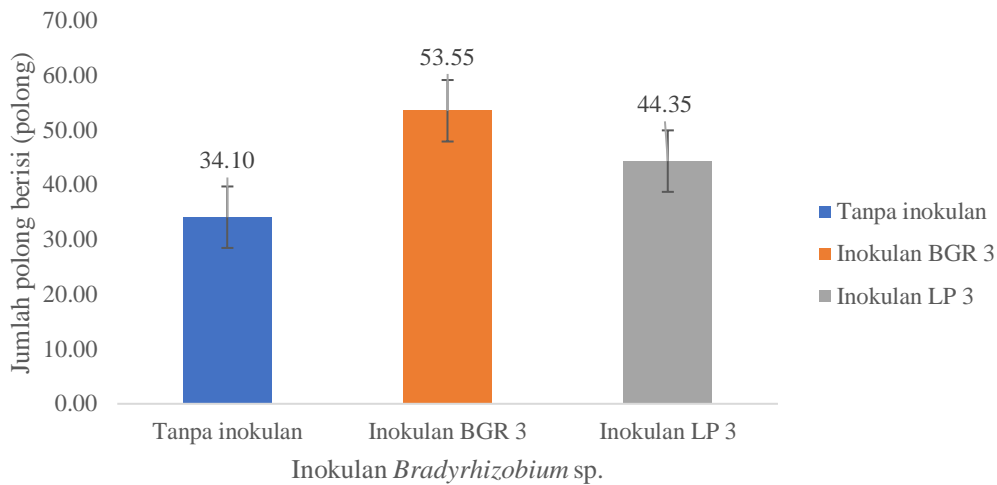
Perlakuan	Tanpa Pemberian Kapur (K ₀)	Dengan Pemberian Kapur (K ₁)	Rataan
Tanpa inokulan (I ₀)	27.15	41.05	34.10 b
Inokulan BGR 3 (I ₁)	53.70	53.40	53.55 a
Inokulan LP 3 (I ₂)	39.15	49.55	44.35 a
Rataan	40.00 a	48.00 a	

Catatan: huruf yang sama pada kolom atau baris perlakuan yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$)

Perlakuan inokulan BGR 3 menunjukkan jumlah polong berisi terbanyak yakni sebanyak 53,55 polong yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa inokulan tetapi berbeda tidak nyata dengan perlakuan inokulan LP 3 (Tabel 4). Dapat kita lihat bahwa inokulan BGR 3 mampu meningkatkan jumlah polong berisi tanaman kedelai sebesar 57,04 % daripada perlakuan tanpa inokulan.

Jumlah polong berisi pada perlakuan pengapuran juga menghasilkan pengaruh nyata dimana perlakuan pemberian kapur (48,00 polong) menghasilkan jumlah polong berisi yang lebih banyak dan berbeda nyata terhadap perlakuan tanpa pemberian kapur. Terjadi peningkatan jumlah polong berisi tanaman kedelai sebesar 20% pada perlakuan pemberian kapur.

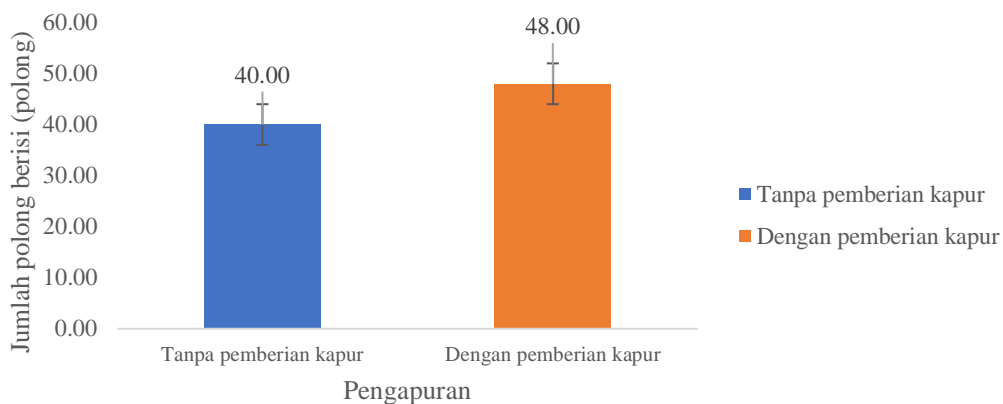
Diagram Batang Hubungan Jumlah Polong Berisi dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.



Gambar 8. Hubungan Jumlah Polong Berisi (polong) tanaman kedelai dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Pada kombinasi perlakuan, interaksi kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah polong berisi tanaman kedelai. Tetapi jika diamati pada kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan tanpa pemberian kapur menunjukkan jumlah polong berisi tanaman kedelai terbanyak daripada kombinasi perlakuan lainnya (53,70 polong) dan tidak jauh berbeda hasilnya dengan kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dengan pemberian kapur (53,40 polong).

Diagram Batang Hubungan Jumlah Polong Berisi dengan Pengapuran



Gambar 9. Hubungan Jumlah Polong Berisi (polong) tanaman kedelai dengan Pengapuran

4.1.5. Jumlah Polong Hampa (polong)

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh bahwa pada perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp, menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah polong hampa tanaman kedelai, tetapi perlakuan pengapuran dan interaksi kedua perlakuan tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah polong hampa tanaman kedelai. Jumlah polong hampa tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan pengapuran pada tanah mineral masam dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jumlah polong hampa (polong) tanaman kedelai terhadap inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran pada tanah mineral masam

Perlakuan	Tanpa Pemberian	Dengan Pemberian	Rataan
	Kapur (K ₀)	Kapur (K ₁)	
Tanpa inokulan (I ₀)	30.30	39.50	34.90 a
Inokulan BGR 3 (I ₁)	25.00	23.55	24.28 b
Inokulan LP 3 (I ₂)	25.85	26.90	26.38 b
Rataan	27.05	29.98	

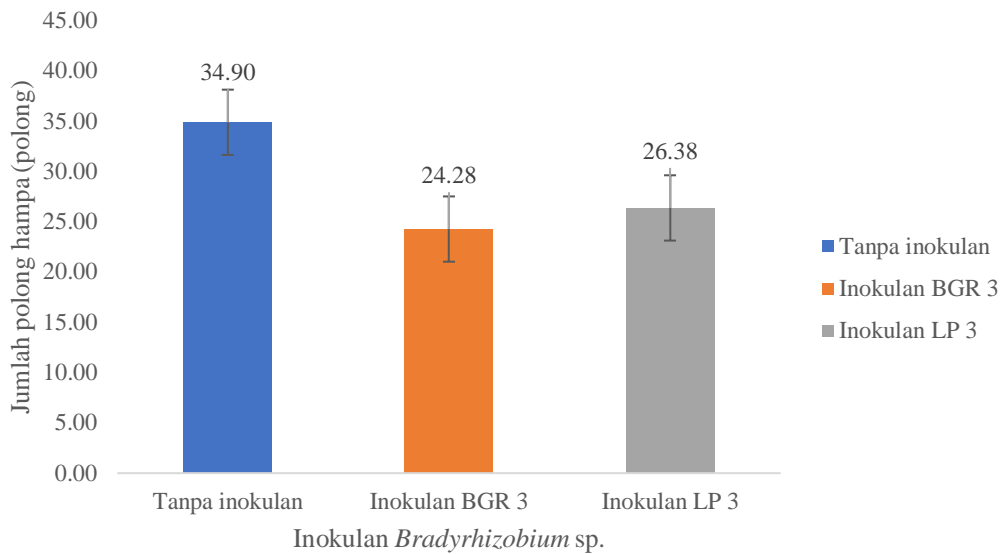
Catatan: huruf yang sama pada kolom perlakuan yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$)

Perlakuan tanpa inokulan menunjukkan jumlah polong hampa terbanyak sebanyak 34,90 polong yang berbeda nyata dengan perlakuan inokulan BGR 3 dan LP 3 (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan tanpa inokulan belum mampu menghasilkan polong berisi yang lebih banyak dibandingkan dengan tanaman kedelai yang diberikan perlakuan inokulan *Bradyrhizobium* sp. Perlakuan inokulan BGR 3 mampu menurunkan jumlah polong hampa tanaman kedelai sebanyak 30,43% dan inokulan LP 3 sebanyak 24,41%.

Pada perlakuan pengapuran, meskipun tidak menunjukkan pengaruh yang nyata, tetapi dapat kita amati bahwa perlakuan pemberian kapur (29,98 polong) menunjukkan jumlah polong hampa yang sedikit lebih banyak daripada tanpa pemberian kapur. Perlakuan pemberian kapur ternyata tidak menurunkan jumlah polong hampa pada tanaman kedelai.

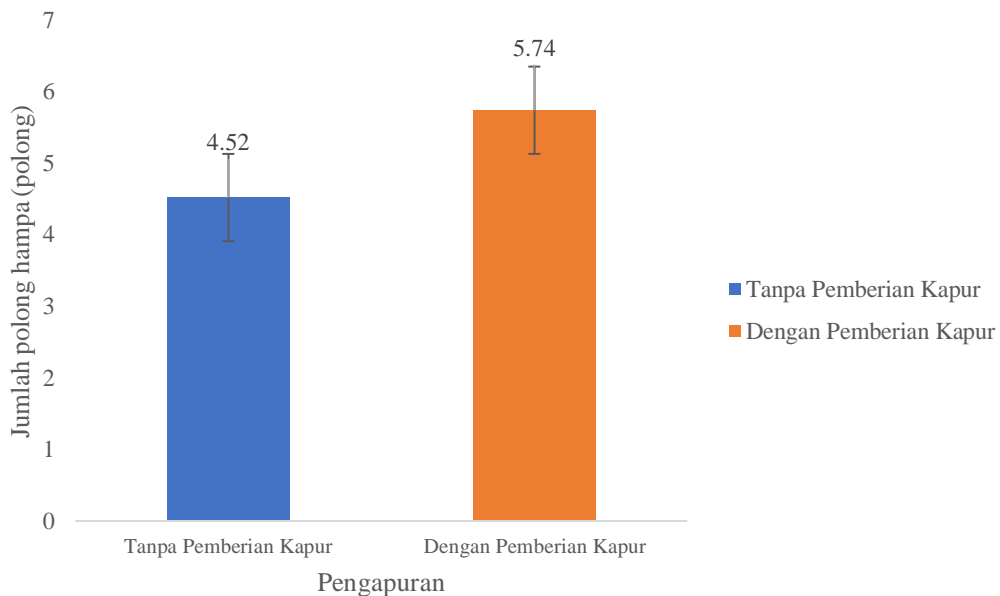
Interaksi kedua perlakuan tersebut juga tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap jumlah polong hampa tanaman kedelai, tetapi dapat kita amati bahwa jumlah polong hampa paling sedikit terdapat pada kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan pemberian kapur yakni sebesar 23,55 polong daripada kombinasi perlakuan lainnya.

Diagram Batang Hubungan Jumlah Polong Hampa dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.



Gambar 10. Hubungan Jumlah Polong Hampa (polong) tanaman kedelai dengan Inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Diagram Batang Hubungan Jumlah Polong Hampa dengan Pengapuran



Gambar 11. Hubungan Jumlah Polong Hampa (polong) tanaman kedelai dengan Pengapuran

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan Pemberian Inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Pada pengamatan bobot kering tajuk dan akar tanaman kedelai menunjukkan bahwa terjadi peningkatan yang signifikan pada perlakuan inokulan *Bradyrhizobium* sp. dibandingkan dengan tanaman kedelai yang tidak diberikan inokulan *Bradyrhizobium* sp. Inokulan LP 3 merupakan inokulan terbaik dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai di tanah masam.

Meskipun demikian, inokulan BGR 3 juga menghasilkan bobot kering tajuk dan akar yang lebih berat dibandingkan dengan tanpa pemberian inokulan. Pada perlakuan inokulan BGR 3 juga menghasilkan bobot kering tajuk dan akar yang tidak jauh berbeda dengan yang dihasilkan oleh tanaman kedelai dengan perlakuan inokulan LP 3. Hal ini menunjukkan bahwa antara dua inokulan *Bradyrhizobium* sp tersebut sama-sama mampu meningkatkan bobot kering tajuk dan akar daripada tanaman kedelai yang tidak diberi inokulan.

Oleh sebab itu, benar adanya bahwa bakteri *Bradyrhizobium* sp. mampu membantu tanaman kedelai dalam meningkatkan pertumbuhannya. Bakteri *Bradyrhizobium* sp. merupakan bakteri yang mampu memfiksasi nitrogen dari udara dan bersimbiosis dengan akar tanaman kedelai sehingga nitrogen menjadi tersedia bagi tanaman dan bisa dimanfaatkan tanaman. Nitrogen merupakan salah satu unsur penting yang sangat dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya, terutama pada tanaman kedelai. Apalagi di tanah masam, yang unsur nitrogennya sulit tersedia bagi tanaman. Sehingga dengan adanya pemberian inokulan *Bradyrhizobium* sp. pada tanaman kedelai di tanah masam sangat membantu menyediakan unsur nitrogen bagi pertumbuhan tanaman tersebut.

Pernyataan di atas juga sudah dijelaskan oleh Sari dan Prayudyaningsih (2015) bahwa ketika berada dalam bintil akar mitra legumnya, *Bradyrhizobium* sp mampu memfiksasi nitrogen atmosfer. Peran *Bradyrhizobium* sp khususnya terhadap pertumbuhan tanaman berhubungan dengan ketersediaan nitrogen bagi tanaman inangnya. *Bradyrhizobium* sp adalah mikroorganisme yang memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen bebas dari udara yang diubah dalam bentuk ammonia (NH₃) dan kemudian diubah ke bentuk asam amino. Berikutnya diubah ke bentuk senyawa nitrogen yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh serta berkembang. *Bradyrhizobium* sp mendapatkan karbohidrat untuk sumber energi berasal dari tanaman inangnya.

Dijelaskan juga oleh Ohyama, *et al* (2017) bahwa produksi kedelai yang tinggi membutuhkan nitrogen dalam jumlah besar dan tanaman kedelai harus terus mengasimilasi nitrogen selama tahap vegetatif dan generatif. Maka tahap pertumbuhan atau vegetatif tanaman kedelai juga akan mempengaruhi produksinya, sehingga sangat diperlukan perawatan yang baik pada fase vegetatif atau pertumbuhan tanaman kedelai.

Selain itu, laju fotosintesis juga mempengaruhi fiksasi nitrogen. Sehingga dijelaskan oleh Havlin, *et al* (1999) bahwa tingginya tingkat produksi fotosintat sangat berhubungan dengan meningkatnya fiksasi N oleh *Rhizobia*. Faktor-faktor yang menyebabkan laju fotosintesis berkurang akan mengurangi fiksasi nitrogen.

4.2.2. Hubungan Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan Pengapuran

Pengamatan bobot kering tajuk dan akar tanaman kedelai juga menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada perlakuan pemberian kapur dibandingkan tanaman kedelai yang tanpa perlakuan pengapuran. Pengapuran yang dilakukan pada tanah masam mampu mengakibatkan peningkatan ketersediaan hara bagi tanaman kedelai sehingga bisa menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman kedelai.

Pada tanah masam ketersediaan hara sulit tersedia bagi tanaman. Oleh sebab itu, pemberian kapur sangat dibutuhkan untuk meningkatkan pH tanah. Pada lokasi penelitian di Desa Jati Kesuma, Namorambe memiliki pH tanah 4,9 yang tidak sesuai dengan syarat tumbuh tanaman kedelai. Hal ini menyebabkan tanaman kedelai sulit tumbuh dengan baik. Dengan adanya perlakuan pengapuran maka pH tanah ditingkatkan sesuai syarat tumbuh tanaman kedelai sehingga banyak hara yang tersedia dan cukup untuk pertumbuhan tanaman kedelai.

Telah dijelaskan oleh Maulana, *et al* (2020) bahwa upaya meningkatkan kesuburan tanah masam melalui proses pengapuran yang berbeda sudah diakui secara luas mampu meningkatkan produktivitas tanah serta tanaman. Proses pengapuran tersebut dilakukan dengan memenuhi empat ketentuan yakni dosis, cara, waktu, dan kondisi yang tepat. Tetapi dengan nilai pH yang sama, pada tanah yang berbeda akan menunjukkan tanggap yang berbeda terhadap jumlah bahan kapur yang sama tetapi jenis kapur yang berbeda. Seperti CaO (kapur api atau kalsium oksida); Ca(OH)₂ (kapur terhidrasi atau kalsium hidroksida); CaCO₃ (batu kapur atau kalsit atau kalsium karbonat) dan CaMg(CO₃)₂ (dolomit). Ketersediaan kelarutan dan nutrisi sangat bergantung pada pH tanah.

Kemudian Yusuf (2013) juga menyatakan bahwa terdapat sejumlah hara yang sulit tersedia untuk tanaman kedelai pada tanah yang bereaksi masam yakni pada pH di bawah 5.5. Hara-hara tersebut yaitu fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K) dan sulfur (S). Tetapi unsur Mangan (Mn), Aluminium (Al) dan Besi (Fe) secara berlebihan tersedia. Oleh sebab itu, unsur – unsur tersebut dapat menjadi toksik untuk tanaman. Tanah mineral masam yang memiliki kandungan Al tinggi dapat mengakibatkan akar kedelai menjadi keracunan sehingga tidak mengalami perkembangan, pendek dan tebal, tanaman tumbuh kerdil, daunnya tampak kuning kecoklatan serta tidak dapat terbentuk polong.

4.2.3. Hubungan Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan Inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan Pengapuran

Interaksi perlakuan inokulan *Bradyrhizobium* sp. dengan pengapuran tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada bobot kering tajuk dan akar tanaman kedelai yang ditanam di tanah masam. Meskipun demikian dapat diamati bahwa kombinasi perlakuan inokulan LP 3 dan pengapuran menunjukkan bobot kering tajuk dan akar tertinggi daripada perlakuan lainnya.

Oleh karena itu, dapat dikatakan pemberian inokulan LP 3 pada tanaman kedelai apabila dikombinasikan dengan pemberian kapur maka mampu

mengakibatkan peningkatan pertumbuhan tanaman kedelai di tanah masam. Kombinasi perlakuan inokulan LP 3 dengan pengapuran menunjukkan peningkatan bobot kering tajuk sebesar 395,36% dan bobot kering akar sebesar 296,49% daripada perlakuan tanpa inokulan dan tanpa pengapuran.

Hal ini menunjukkan ada interaksi antara bakteri *Bradyrhizobium* sp. dengan pemberian kapur. Bakteri *Bradyrhizobium* sp. juga membutuhkan pH yang optimum agar dapat memfiksasi N dengan baik sehingga tersedia bagi tanaman. Seperti yang dijelaskan oleh Harsono, *et al* (2011) bahwa untuk pertanaman kedelai, sebenarnya lahan masam kurang sesuai untuk ditanami. Hal ini dikarenakan bahwa pada pH tanah yang rendah, akar kedelai tidak mampu berkembang dan bintil akar tidak mampu dibentuk dengan baik. Oleh sebab itu, serapan hara dan fiksasi nitrogen tidak optimal. Oleh karena itu, dengan pemberian kapur pada tanah masam hingga pH optimum memberikan pengaruh yang baik juga pada bakteri *Bradyrhizobium* sp. Sehingga unsur hara nitrogen tersedia bagi tanaman dan dapat diserap tanaman dengan baik yang pada akhirnya pertumbuhan tanaman tersebut juga mengalami peningkatan.

Telah dijelaskan oleh USDA (2000) bahwa pengapuran akan memberikan keuntungan dengan memperbaiki aktivitas mikroba, memperbaiki sifat fisik tanah menjadi lebih baik dan memperbaiki fiksasi nitrogen pada legum. Dari pernyataan tersebut sudah dapat kita telaah bahwa memang ada hubungan yang erat antara pengapuran di tanah masam dengan aktivitas mikroba dan fiksasi nitrogen pada tanaman legum.

4.2.4. Hubungan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan Pemberian Inokulan *Bradyrhizobium* sp

Inokulasi *Bradyrhizobium* sp. pada tanaman kedelai, mampu meningkatkan jumlah cabang produktif dan jumlah polong berisi serta menurunkan jumlah polong hampa. Inokulan BGR 3 merupakan inokulan terbaik dalam meningkatkan produksi tanaman kedelai karena menghasilkan jumlah cabang produktif dan jumlah polong berisi terbanyak serta jumlah polong hampa paling sedikit. Tetapi jika dibandingkan dengan inokulan LP 3, maka tanaman kedelai yang diberi inokulan LP 3 juga tidak jauh berbeda hasilnya dengan tanaman kedelai yang diberi inokulan BGR 3. Kedua inokulan tersebut sama-sama mampu meningkatkan produksi tanaman kedelai apabila dibandingkan dengan tanaman kedelai yang tidak diberikan inokulan *Bradyrhizobium* sp.

Inokulan BGR 3 mampu meningkatkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai sebesar 39,70% dan jumlah polong berisi sebesar 57,04% serta menurunkan jumlah polong hampa sebesar 30,43% daripada tanaman kedelai dengan perlakuan tanpa inokulan.

Sementara itu, inokulan LP 3 juga mampu meningkatkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai sebesar 28,36% dan jumlah polong berisi sebesar 30,06% serta menurunkan jumlah polong hampa sebesar 24,41% daripada tanaman kedelai dengan perlakuan tanpa inokulan.

Dari kedua hasil di atas, maka dapat dikatakan bahwa inokulan *Bradyrhizobium* sp. tersebut mampu meningkatkan produksi tanaman kedelai di

tanah masam. Padahal kita ketahui bahwa bakteri *Bradyrhizobium* sp. tidak mampu hidup dengan baik di tanah masam. Seperti dijelaskan oleh Sari dan Prayudyaningsih (2015) bahwa bakteri *Bradyrhizobium* sp. mampu tumbuh optimal pada kisaran pH yaitu sedikit di bawah netral sampai agak alkali. Meskipun demikian, sejumlah strain *Bradyrhizobium* sp. masih mampu hidup pada pH 5,0 (Sari dan Prayudyaningsih, 2015). Sehingga kedua inokulan *Bradyrhizobium* sp. yang digunakan pada penelitian merupakan inokulan yang tahan pH masam.

Bakteri *Bradyrhizobium* sp. juga mempengaruhi produksi tanaman kedelai. Sesuai dengan hasil penelitian Sativa (2016) diperoleh bahwa terjadi peningkatan jumlah polong yang mempengaruhi hasil biji tanaman kedelai. Inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* mampu meningkatkan jumlah polong berisi sehingga terjadi peningkatan hasil tanaman kedelai dari 1,71 menjadi 2,17 ton/ha (27% daripada perlakuan tanpa inokulan).

Selain itu hasil penelitian Adijaya, *et al* (2004) dalam Sativa (2016) diperoleh bahwa terjadi peningkatan jumlah polong kedelai dan penurunan jumlah polong hampa. Pada tanaman yang diberi inokulasi *Bradyrhizobium* terjadi peningkatan produksi kedelai sebesar 56,07%.

4.2.5. Hubungan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan Pengapuran

Proses pengapuran pada lahan pertanaman kedelai di lahan masam memberikan pengaruh terhadap produksi tanaman kedelai pada jumlah polong berisi. Pada jumlah polong berisi, aplikasi kapur mampu mengakibatkan peningkatan jumlah polong berisi secara signifikan dibandingkan dengan tanpa pemberian kapur yakni sebesar 20%. Sedangkan pada pengamatan jumlah cabang produktif tanaman kedelai memperlihatkan bahwa pemberian kapur menghasilkan jumlah cabang produktif tanaman sedikit lebih rendah daripada tanpa diberi kapur. Tetapi tidak memberikan pengaruh yang nyata. Sementara pada parameter jumlah polong hampa juga menunjukkan bahwa pemberian kapur menghasilkan jumlah polong hampa sedikit lebih banyak daripada tanpa pemberian kapur.

Dari uraian di atas, maka dapat kita amati bahwa pemberian kapur mampu meningkatkan jumlah polong berisi tanaman kedelai, tetapi tidak menurunkan jumlah polong hampa, serta tidak meningkatkan jumlah cabang produktif. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Irwan dan Nurmala (2018) bahwa perlakuan pengapuran tidak memberikan pengaruh nyata di sejumlah parameter pengukuran yang diamati termasuk jumlah polong tanaman kedelai.

Pemberian kapur dapat meningkatkan jumlah polong berisi tanaman kedelai dikarenakan pengapuran hingga pH yang optimum akan meningkatkan juga unsur hara posfor yang dibutuhkan tanaman untuk berproduksi. Menurut penelitian Sahuri (2017) bahwa pengapuran secara signifikan meningkatkan pertumbuhan dan produksi kedelai yang diuji. Selain itu juga nyata mengakibatkan peningkatan pH tanah dan kejenuhan Al mengalami penurunan. Pemberian kapur pada dosis 2 ton/ha secara signifikan mampu meningkatkan produksi 38,32%.

Pemberian kapur dalam bentuk batu dolomit akan meningkatkan ketersediaan posfor dan molibdenum yang akan menunjang produksi tanaman kedelai. Hal ini

sesuai dengan pernyataan Ritchey, *et al* (2016) bahwa batu dolomit mengandung kalsium dan magnesium karbonat. Baik Ca ataupun Mg merupakan nutrisi tanaman yang penting. Batu kapur juga meningkatkan ketersediaan fosfor (P) dan molibdenum (Mo). Kapur menurunkan ketersediaan aluminium dan mangan, sehingga menurunkan risiko toksisitasnya juga, ini merupakan masalah umum di tanah yang sangat asam. Kapur mampu juga menurunkan ketersediaan seng dan besi. Pada akhirnya, kapur untuk pertanian akan mengurangi kelarutan zat berat yang memiliki potensi menjadi logam berbahaya dalam tanah.

4.2.6. Hubungan Produksi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) dengan Inokulasi *Bradyrhizobium* sp. dan Pengapuran

Terdapat hubungan antara produksi tanaman kedelai dengan inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran meskipun tidak signifikan. Kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dengan tanpa pemberian kapur mampu meningkatkan jumlah cabang produktif dan jumlah polong hampa tanaman kedelai, sedangkan kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan pemberian kapur mampu menurunkan jumlah polong hampa tanaman kedelai.

Kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dengan tanpa kapur mampu meningkatkan jumlah cabang produktif tanaman kedelai sebesar 49,23% dan jumlah polong berisi sebesar 97,79% daripada perlakuan tanpa inokulan dan kapur (kontrol). Sedangkan kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan pengapuran mampu menurunkan jumlah polong hampa tanaman kedelai sebesar 40,38% daripada perlakuan tanpa inokulan dan kapur (kontrol).

Dari hasil penelitian di atas dapat diamati bahwa meskipun secara statistik tidak ada pengaruh nyata dari interaksi perlakuan inokulasi *Bradyrhizobium* sp dan pengapuran, tetapi terlihat ada peningkatan pada produksi tanaman kedelai di tanah masam akibat perlakuan tersebut. Dapat dikatakan kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan tanpa kapur merupakan kombinasi perlakuan yang lebih baik dalam meningkatkan produksi tanaman kedelai daripada kombinasi perlakuan lainnya.

Inokulan BGR 3 mampu hidup dan memfiksasi nitrogen meskipun pada tanah masam (pH belum ditingkatkan), sehingga inokulan BGR 3 bisa dikatakan tahan terhadap pH masam. Padahal seperti yang sudah banyak dijelaskan bahwa bakteri *Bradyrhizobium* sp. tidak mampu hidup dan memfiksasi nitrogen pada pH masam (tidak optimum). Pernyataan tersebut sesuai dengan yang dijelaskan oleh Tobing, *et al* (2014) bahwa beberapa faktor yang memiliki potensi menjadi pembatas bagi pertumbuhan tanaman berkaitan dengan tanah masam yaitu pH tanah rendah yang sering mempunyai tingkat Al larut dan Mn tinggi. Oleh sebab itu akan mengurangi ketersediaan Ca, Mg, P, dan Mo serta menjadi pembatas untuk memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan keberlangsungan hidup serta efektivitas fiksasi *Bradyrhizobium japonicum* dengan tanaman kedelai.

Triadiati, *et al* (2013) juga telah melakukan penelitian tanaman kedelai menggunakan inokulan *Bradyrhizobium japonicum* di tanah masam, sehingga diperoleh bahwa *Bradyrhizobium japonicum* juga dapat meningkatkan produksi selain mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai yakni jumlah polong, jumlah biji per tanaman, bobot biji per tanaman, bobot biji/m², bobot 100

biji, dan kadar N biji. Inokulasi *Rhizobium* efektif memberikan pengaruh untuk membentuk polong kedelai. Kemudian fotosintat akan mengisi polong yang dibentuk sehingga terbentuk biji. Jumlah dan ukuran polong sangat menentukan jumlah biji, sehingga jika polong makin banyak maka jumlah biji juga makin banyak.

Didukung juga dengan hasil penelitian Widyasari, *et al* (2013) bahwa hasil uji ketahanan *Rhizobium* sp. di lahan masam (pH 5,0) yang telah dilaksanakan secara *in vitro* menghasilkan bahwa bakteri *Rhizobium* sp. di tanah masam dapat menghasilkan ATR (*Acid Tolerance Response*) di hari ke 4 sampai hari ke 7 dengan pH 5,0. Oleh karena itu, bisa diasumsikan bakteri *Rhizobium* sp. dapat melakukan simbiosis dengan tanaman kedelai.

Kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dengan pengapuran mampu menurunkan jumlah polong hampa tanaman kedelai. Hal tersebut memperlihatkan bahwa selain inokulan *Bradyrhizobium* sp. yang tahan masam jika dikombinasikan dengan pemberian kapur maka akan menurunkan jumlah polong hampa. Jumlah polong hampa yang sedikit menunjukkan bahwa tanaman kedelai mampu mengalokasikan hasil fotosintatnya dengan baik untuk pengisian polong sehingga produksi tanaman kedelai juga akan meningkat. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Bekere (2013) bahwa menggunakan kapur dan *Bradyrhizobium* sp secara bersamaan dapat mengakibatkan hasil tanaman kedelai mengalami peningkatan pada tanah mineral masam. Menggunakan kapur dan *Bradyrhizobium* sp secara simultan dapat memberi hasil biji yang sama seperti saat menggunakan pupuk nitrogen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Bakteri *Bradyrhizobium* sp dengan perlakuan inokulan LP 3 mampu menghasilkan peningkatan pertumbuhan tanaman kedelai di tanah masam. Sementara inokulan BGR 3 mampu menghasilkan peningkatan produksi tanaman kedelai di tanah masam.
2. Pengapuran mampu menghasilkan peningkatan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai di tanah masam.
3. Kombinasi perlakuan inokulan *Bradyrhizobium* sp dengan pengapuran yakni pada kombinasi perlakuan LP 3 dengan pengapuran mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai, sedangkan kombinasi perlakuan inokulan BGR 3 dan tanpa kapur mampu menghasilkan peningkatan produksi tanaman kedelai di tanah masam.

5.2. Saran

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan pada penelitian selanjutnya yang menggunakan bakteri *Bradyrhizobium* sp tahan masam pada tanaman kedelai di tanah masam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adie, M. dan A. Krisnawati. 2007. Biologi Tanaman Kedelai. Balai Penelitian Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian (BALITKABI). Malang.
- Adisarwanto, T. 2005. Kedelai. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Amir, L., A.P. Sari., S. F. Hiola dan O. Jumaidi. 2012. Ketersediaan Nitrogen Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor* L.) yang Diperlakukan dengan Pemberian Pupuk Kompos Azolla. Jurnal Sainsmat. 1(2): 167-180.
- Barchia, M.F. 2009. Agroekosistem Tanah Mineral Masam. UGM Press, Yogyakarta.
- BBSDLP (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian). 2012. Lahan Sub Optimal: Potensi, Peluang dan Permasalahan Pemanfaatannya untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan. Disampaikan dalam Seminar Lahn Sub-Optimal, Palembang, Maret 2012. Kementerian Ristek dan Teknologi.
- Bekere, W. 2013. Liming Effects on Yield and Yield Attributes of Nitrogen Fertilized and Bradyrhizobia Inoculated Soybean (*Glycine max* L.) Grown in Acidic Soil at Jimma, South Western Ethiopia.
- Damanik, M.M.B., B.E. Hasibuan., Fauzi., Sarifuddin., dan H. Hanum. 2011. Kesuburan Tanah dan Pemupukan. USU Press, Medan. p.128.
- Harsono, A., Prihastuti., dan Subandi. 2011. Efektivitas Multi-isolat Rhizobium dalam Pengembangan Kedelai di Lahan Kering Masam. Iptek Tanaman Pangan. 6 (1): 57-75.
- Havlin, J.L., S.L. Tisdale., J.D. Beaton dan W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. p 100.
- Irwan, A.W. 2006. Budidaya Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill). Universitas Padjadjaran, Jatinangor. p. 4-7.
- Irwan, A.W. dan T. Nurmala. 2018. Pengaruh Pupuk Hayati dan Pengapuran Terhadap Produktivitas Kedelai di Tanah Inceptisol Jatinangor. Jurnal Kktivasi. 17(2): 656-663.
- Jayasumarta, D. 2012. Pengaruh sistem olah tanah dan pupuk P terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merrill). *Agrium*. 17(3) : 148-154.

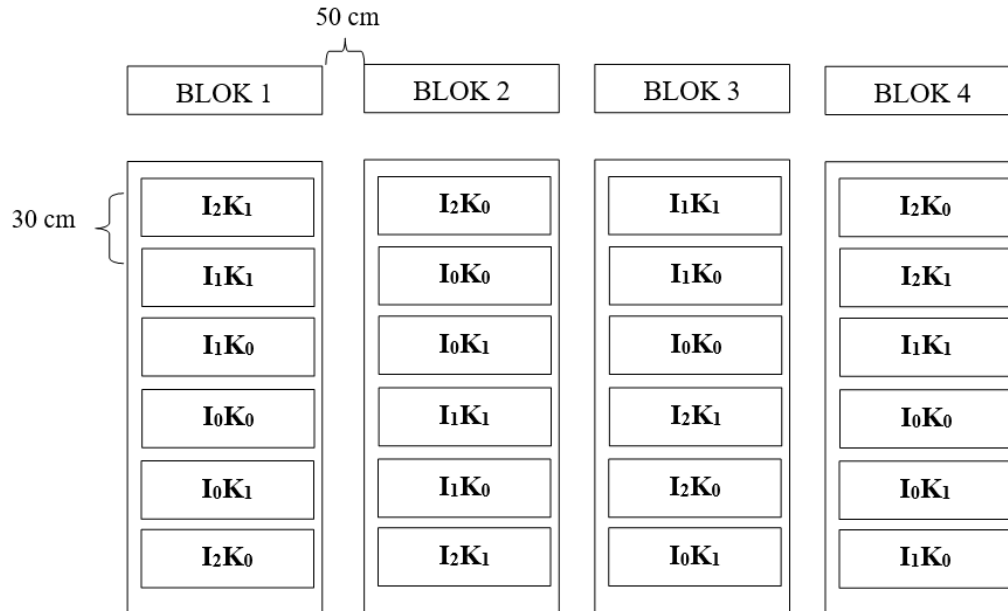
- Kumalasari, I.D., E.D. Astuti dan E. Prihastanti. 2013. Pembentukan Bintil Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) dengan Perlakuan Jerami pada Masa Inkubasi yang Berbeda. *Jurnal Sains dan Matematika*. 21(4): 103-107.
- Kumawat, D.M. dan M.K. Sharma. 2015. Growth Response of Three Indigenous Bradyrhizobium sp japonicum isolates against a few enviromental factors. *International Journal of Research in Pharmacy and Science*. 5(2) : 7-11.
- Lubis, D.S., A.S. Hanafiah dan M. Sembiring. 2015. Pengaruh pH Terhadap Pembentukan Bintil Akar, Serapan Hara N, P dan Produksi Tanaman pada Beberapa Varietas Kedelai pada Tanah Inseptisol di Rumah Kasa. *Jurnal Agroekoteknologi*. 3(3): 1111-1115.
- Maharani, P.S. 2008. Nodulasi dan Efektivitas *Rhizobium* Endogen Tanah Entisol dan Vertisol pada Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill). Skripsi. Universitas Islam Negeri Malang, Malang.
- Maulana, A., Herviyanti., dan T.B.Prasetyo. 2020. Pengaruh Berbagai Jenis Kapur dalam Aplikasi Pengapuran untuk Memperbaiki Sifat Kimia Ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 7(2): 209-214.
- Novriani. 2011. Peranan Bradyrhizobium sp dalam Meningkatkan Ketersediaan Nitrogen bagi Tanaman Kedelai. *Jurnal Agronobis*. 3(5) : 35-42.
- Ohyama, T., K. Tewari., S. Ishikawa., K. Tanaka., S. Kamiyama., Y. Ono., S. Hatano., N. Ohtake., K. Sueyoshi., H. Hasegawa., T. Sato., S. Tanabata., Y. Nagumo., Y. Fujita., and Y. Takahashi. 2017. Role of Nitrogen on Growth and Seed Yield of Soybean and a New Fertilization Technique to Promote Nitrogen Fixation and Seed Yield. *Intech*. Chapter 9. 153-185.
- Patti, P.S., E. Kaya dan Ch. Silahooy. 2013. Analisis Status Nitrogen Tanah dalam Kaitannya dengan Serapan N oleh Tanaman Padi Sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Agrologia*. 2(1): 51-58.
- Purwaningsih, O., D. Indradewa., S. Kabirun dan D. Shiddiq. 2012. Tanggapan Tanaman Kedelai terhadap Inokulasi *Rhizobium*. *Agrotrop*. 2(1): 25-32.
- Ritchey, E.L., L.W. Murdock., D.Ditsch., and J.M. McGrath. 2016. Agricultural Lime Recommendation Based on Lime Quality. University of Kentucky, Kentucky.
- Rukmi. 2009. Pengaruh Pemupukan Kalium dan Fosfat Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai. *Jurnal Sains*. 1-11.
- Rumahorbo, A.M. 2016. Pengaruh Inkubasi Dolomit terhadap Sifat Kimia Tanah dan Erapan Fosfor pada Ultisol Darmaga. IPB, Bogor. 1-14

- Sahuri. 2017. Penggunaan Kapur dan Varietas Adaptif untuk Meningkatkan Hasil Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) sebagai Tanaman Sela Karet. *Agrovigor*. 10(2): 87-94.
- Sari, R. dan R. Prayudyaningsih. 2015. Rhizobium: Pemanfaatannya Sebagai Bakteri Penambat Nitrogen. *Info Teknis EBONI*. 12(1): 51-64.
- Saraswati, R dan Sumarno. 2008. Pemanfaatan Mikroba Penyubur Tanah sebagai Komponen Teknologi Pertanian. *Iptek Tanaman Pangan*. 3(1): 41-58.
- Sativa, N.A. 2016. Peranan Bakteri *Bradyrhizobium japonicum* dan Pupuk Nitrogen Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.). Skripsi. Universitas Brawijaya, Malang.
- Selvia, I.N., A. Sahar and Y. Hasanah. 2019. Growth Response and N Uptake of Two Soybean Varieties on Inoculation of *Bradyrhizobium* sp. in Ultisol Binjai, Sumatera Utara. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 260 012129: 1-6.
- Stefia, E.M. 2017. Analisis Morfologi dan Struktur Anatomi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) pada Kondisi Tergenang. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. p. 8.
- Sugeno, R, 2008. Budidaya Kedelai. <http://warintek.ristek.go.id/pertanian/kedelai.pdf>. 2008. Diakses pada tanggal 20 Juni 2022.
- Sumarno dan G. Manshuri. 2016. Persyaratan Tumbuh dan Wilayah Produksi Kedelai di Indonesia. Balai Penelitian Tanaman Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian (BALITKABI). Malang. p. 74-103.
- Tando, E. 2018. Review: Upaya Efisiensi dan Peningkatan Ketersediaan Nitrogen dalam Tanah Serta Serapan Nitrogen pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Buana Sains*. 18(2): 171-180.
- Taufiq, A. dan T. Sundari. 2012. Respons Tanaman Kedelai Terhadap Lingkungan Tumbuh. *Buletin Palawija*. 23: 13-26.
- Tobing, S., N.R. Mubarik dan Triadiati. 2014. Aplikasi *Bradyrhizobium japonicum* dan *Aeromonas salmonicida* pada Penanaman Kedelai di Tanah Asam dalam Percobaan Rumah Kaca. *Jurnal Biotik*. 2 (2): 10-16.
- Triadiati, N.R. Mubarik, dan Y. Ramasita. 2013. Respon Pertumbuhan Tanaman Kedelai terhadap *Bradyrhizobium japonicum* Toleran Masam dan Pemberian Pupuk di Tanah Masam. *J. Agron Indonesia*. 41(1): 24-31.
- United State Department of Agriculture (USDA). 2000. Liming to improve soil quality in acid soils Soil Quality-Agronomy Technical Note. Vol. 8: 1-6.

- Widyasari, N.M., R. Kawuri dan I.K.Muksin. 2013. Pengaruh pH Media Pertumbuhan Terhadap Ketahanan dari *Rhizobium* sp. pada Tanah yang Bersifat Masam. Jurnal Biologi. XVII (2): 56-60.
- Wijanarko, A. dan A. Taufiq. 2004. Pengelolaan Kesuburan Lahan Kering Masam untuk Tanaman Kedelai. Buletin Palawija. 7 & 8 : 39-50.
- Yusuf, E.Y. 2013. Respon Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merr.) pada Kondisi Cekaman Kekeringan dan Cekaman Aluminium. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan Plot Penelitian



Lampiran 2. Perhitungan Kebutuhan Kapur Metode Al-dd

1 me Ca / 100 g tanah \approx 1 me Al / 100 g tanah

1 me Ca / 100 g tanah = Berat atom Ca/valensi x me Ca / 100 g tanah

= 40/2 x 0,96 me Ca / 100 g tanah

= 19,2 me Ca / 100 g tanah

= 192 me Ca / 1 kg tanah x 3 x 10⁶ (asumsi kedalaman tanah 30 cm)

= 576 kg Ca / ha

Untuk kapur dolomit (CaMg (CO₃)₂) = 184/40 x 576 kg Ca/ha

= 2.649,6 kg/ha

Kebutuhan dolomit / plot = 2.649,6 kg / 10.000m² : x/4 m²

= 1,06 kg / plot

Lampiran 3. Hasil Analisis Tanah Awal

Parameter	Satuan	Hasil
pH (H ₂ O)	-----	4,9
N-total	%	0,134
Al-dd	me 100 g ⁻¹	0,96
Pasir	%	38.56
Debu	%	20.56
Liat	%	40.88
Tekstur	-----	Clay