

**PENGARUH PEMBERIAN DOLOMIT DAN KALSIT
TERHADAP SERAPAN BORON DAN HASIL TANAMAN
GANDUM (*Triticum aestivum* L.) VARIETAS DEWATA**

Oleh:

MEI SARI CHANAFIA



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG**

2019

**PENGARUH PEMBERIAN DOLOMIT DAN KALSIT
TERHADAP SERAPAN BORON DAN HASIL TANAMAN GANDUM
(*Triticum aestivum* L.) VARIETAS DEWATA**

Oleh :
MEI SARI CHANAFIA
155040200111239

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT BUDIDAYA PERTANIAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN BUDIDAYA PERTANIAN
MALANG**

2019

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, November 2019

Mei Sari Chanafia



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : **Pengaruh Pemberian Dolomit dan Kalsit terhadap Serapan Boron dan Hasil Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.)**

Nama : Mei Sari Chanafia

NIM : 155040200111239

Program Studi : Agroekoteknologi

Minat : Budidaya Pertanian

Disetujui oleh,
Pembimbing Utama,

Dr.agr. Nunun Barunawati, SP., MP.
NIP. 197407242005012001

Diketahui,
Ketua Jurusan Budidaya Pertanian

Dr. Noer Rahmi Ardiarini, SP., M.Si.
NIP. 197011181997022001

Tanggal Persetujuan :

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Titiek Islami, MS.
NIP. 195109211981032001

Afifuddin Latif Adiredjo, SP., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198111042005011002

Penguji III

Dr.agr. Nunun Barunawati, SP., MP.
NIP. 197407242005012001

Tanggal Lulus:





*Skripsi ini kupersembahkan untuk :
Kedua orang tua tercinta yang senantiasa
memberikan do'a dan cintanya tanpa syarat
serta adikku tersayang*

RINGKASAN

MEI SARI CHANAFIA. 155040200111239. Pengaruh Pemberian Dolomit dan Kalsit terhadap Serapan Boron dan Hasil Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.) di bawah bimbingan Dr.agr. Nunun Barunawati, SP., MP.

Permintaan tepung gandum di Indonesia terus meningkat namun tidak dengan peningkatan produksi. Hasil panen gandum yang rendah disebabkan karena pengaruh unsur hara mikro seperti toksisitas boron pada beberapa lahan budidaya. Tindakan yang dapat dilakukan untuk menurunkan toksisitas boron adalah meningkatkan pH tanah dengan melakukan pengapuran. Beberapa literatur menunjukkan bahwa pengapuran menggunakan dolomit dan kalsit dapat meningkatkan pH tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan dosis dan jenis kapur (dolomit atau kalsit) yang tepat sehingga mampu menurunkan serapan boron dan mendukung fase generatif yang optimum. Hipotesis penelitian ini adalah pengaplikasian dolomit sebanyak 600 g per polybag (10 kg) dapat menurunkan serapan boron dan meminimalkan efek toksisitas pada fase vegetatif dan generatif.

Penelitian dilaksanakan pada bulan April–Agustus 2019, di rumah plastik, di Desa Dadaprejo, Batu, Jawa Timur dengan ketinggian 700 mdpl. Penelitian ini adalah penelitian bukan faktorial dengan rancangan acak kelompok (RAK) yang terdiri dari 9 perlakuan dan diulangi sebanyak 3 kali. Perlakuan dilakukan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya untuk mendapatkan tingkat pH yang diinginkan. Kombinasi perlakuan yang diberikan yaitu: P0 : tanpa penambahan dolomit dan kalsit (kontrol), P1 : 300 g per polibag dolomit, P2 : 600 g per polibag dolomit, P3 : 900 g per polibag dolomit, P4 : 1200 g per polibag dolomit, P5 : 300 g per polibag kalsit, P6 : 600 g per polibag kalsit, P7 : 900 g per polibag kalsit dan P8 : 1200 g per polibag kalsit. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah, cangkul, papan label, plastik UV, spidol, gunting, meteran, amplop coklat, timbangan digital, pH meter digital, SPAD-Minolta, oven dan kamera canon. Bahan yang digunakan adalah benih gandum varietas dewata, polibag ukuran 10 kg, pupuk kandang kambing, pupuk urea (100 kg ha^{-1}), pupuk SP-36 (100 kg ha^{-1}), pupuk KCl (50 kg ha^{-1}), dolomit dan kalsit sesuai perlakuan, larutan buffer pH 4 dan buffer pH 7 dan aquades. Karakter komponen pertumbuhan yang diamati pada penelitian ini yaitu panjang tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, indeks klorofil, waktu muncul malai (hst), panjang akar, jumlah akar dan bobot kering brangkas. Karakter komponen hasil terdiri dari panjang malai, jumlah malai per rumpun, jumlah biji per malai, jumlah biji per rumpun, berat 100 biji (g) dan kandungan boron (ppm). Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan uji F untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh dari perlakuan. Apabila terdapat interaksi atau pengaruh nyata dari perlakuan, maka dilanjutkan dengan uji antar perlakuan dengan menggunakan BNJ pada taraf kepercayaan 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaplikasian 300 g dolomit per polibag dapat meningkatkan jumlah daun dan berat kering sebesar 62,71% dan 105,09% bila dibandingkan dengan perlakuan kontrol (P0). Sedangkan perlakuan pengaplikasian 1200 g kalsit per polibag mampu meningkatkan jumlah biji per rumpun hingga 85,64%.

SUMMARY

MEI SARI CHANAFIA. 155040200111239. Effect Application of Dolomite and Calcite on Boron Absorption and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Dewata Varieties. Supervised by Dr. agr. Nunun Barunawati, SP., MP.

The demand of wheat flour in Indonesia recently increase gradually. However, wheat production is low since it productivity in some regions effected by micronutrients such as boron toxicity. To manage the level of toxicity through observetion of pH in the soil by inhibiting of boron absorption. Therefore, boron absorption was regulated in generative phase. The effort to decrease boron absorption in boron soil toxicity is applying dosage of liming. In some references show that liming can apply as dolomite and calcite to rise of pH. The aims of this research is to obtain the right dosage and type of lime (dolomite or calcite) to reduce boron absorption and support optimum wheat generative phase. The hypothesis of this research is the application of 600 g dolomite per polybag (10 kg) able to reduce boron absorption and minimized toxicity effect on vegetative and generative phase.

The research has been conducted in April-August 2019 at plastic house, in Dadaprejo Village, Batu, East Java which is placed at 700 m above sea level. This research is the non-factorial experiment as randomized block design (RCBD) consist of 9 treatments with 3 replication. The preliminary pH observation was measured in the Soil Chemistry Laboratory, Faculty of Agriculture, Brawijaya University. The combination of treatments are P0: without liming (control), P1: 300 g dolomite per polybag, P2: 600 g dolomite per polybag, P3: 900 g dolomite per polybag, P4: 1200 g dolomite per polybag, P5: 300 g dolomite per polybag, P6: 600 g dolomite per polybag, P7: 900 g dolomite per polybag, and P8: 1200 g dolomite per polybag. The experiment using the tools are hoes, label boards, UV plastics, markers, scissors, envelopes, digital scales, digital pH meters, SPAD-Minolta, oven and camera canon. Meanwhile, the materials used are seed of wheat Var. Dewata, polybags, goat manure, Urea fertillizer (100kg/ha), SP-36 fertilizer (100kg/ha) and KCl fertilizer (50kg/ha), dosage of lime are dolomite and calcite according to treatments, pH 4 buffer solution and 7 and aquades. The growth observation consists of, length of plant, number of leaves, number of tillers, time of panicle initiation (dap), length of root, number of root and dry weight per plant. Moreover the variable of yield observation are length of panicle, number of grains per clump, number of grains per panicle, weight of 100 grains and boron absorption in leaves. The observed-data that was collected, analyzed using variance (F test) at 5% level to determine the real effect of treatments. Then, the results of the test have a real effect, then procced with a comparison test between treatments using the Honestly Significant Difference test with a level of 5%.

The results show that application of dolomite and calcite dosage were significant to increase number of leaves and dry weight by 62.71% and 105.09% when compared to the control treatment (P0) by 300 g dolomite per polibag. Meanwhile the treatment with application of 1200 g calcite per polibag was able to enhance number of seeds per clump until 85.64%.

KATA PENGANTAR

Puji syukur panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya yang telah menuntun penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **Pengaruh Pengaplikasian Dolomit dan Kalsit terhadap Serapan Boron dan Hasil Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.)**. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Noer Rahmi Ardiarini, SP., M.Si. selaku ketua jurusan Budidaya Pertanian.
2. Dr. agr. Nunun Barunawati, SP., MP. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penelitian.
3. Prof. Dr. Ir. Titiek Islami, MS. selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran sehingga terselesaikannya penelitian ini.
4. Kedua orang tua, saudara, dan teman-teman yang telah memberikan dukungan serta bantuan kepada penulis sehingga dapat terselesainya penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penyusunan hasil penelitian selanjutnya.

Diharapkan hasil penelitian ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Malang, November 2019

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 30 Mei 1997 di Kabupaten Pemalang, Jawa Tengah sebagai anak pertama dari 3 bersaudara dari bapak Sabar Laksono dan ibu Emi Lestari. Penulis memiliki adik bernama Qurrotu A'yun dan Muhammad Jabbar Siddiq Perkasa Alamsyah.

Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN. 01 Kebondalem pada tahun 2003 sampai tahun 2009, kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 2 Pemalang pada tahun 2009 yang ditempuh selama 3 tahun sampai 2012. Setelah lulus dari SMPN 2 Pemalang penulis melanjutkan sekolah di SMAN 1 Pemalang pada tahun 2012 sampai tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan Strata-1 Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Dasar Ilmu Tanah selama 3 semester. Selain itu penulis juga pernah menjabat sebagai pengurus LKM Bengkel seni selama 1 masa jabatan untuk bidang Lukis dan desain. Penulis mengikuti kegiatan magang kerja di Pusat Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Bogor- LIPI, Bogor, Jawa Barat pada tahun 2018. Penulis pernah menjadi pemakalah di Seminar Nasional Inovasi dan Teknologi Pengelolaan Tanah dan Air tahun 2019.

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN.....

i

SUMMARY.....

ii

KATA PENGANTAR.....

iii

RIWAYAT HIDUP.....

iv

DAFTAR ISI.....

v

DAFTAR TABEL.....

vi

DAFTAR GAMBAR.....

vii

DAFTAR LAMPIRAN.....

viii

1. PENDAHULUAN.....

1

1.1 Latar Belakang.....

1

1.2 Tujuan.....

2

1.3 Hipotesis.....

2

2. TINJAUAN PUSTAKA.....

3

2.1 Tanaman Gandum.....

3

2.2 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Gandum.....

6

2.3 Tanah Inceptisol.....

7

2.4 Peran Unsur Hara Makro dan Mikro pada Tanaman.....

8

2.5 Peran Boron pada Tanaman.....

9

2.6 Pengaruh pH pada Ketersediaan dan Penyerapan Unsur Hara.....

12

2.7 Kapur dan Pengkapuran.....

14

3. BAHAN DAN METODE.....

16

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....

16

3.2 Alat dan Bahan.....

16

3.3 Metode Penelitian.....

16

3.4 Pelaksanaan Penelitian.....

17

3.5 Pengamatan dan Pengumpulan Data.....

18

3.6 Analisis Data.....

21

4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....

22

4.1 Hasil.....

22

4.2 Pembahasan.....

35

5. KESIMPULAN DAN SARAN.....

42

5.1 Kesimpulan.....

42

5.2 Saran.....

42

DAFTAR PUSTAKA.....

43

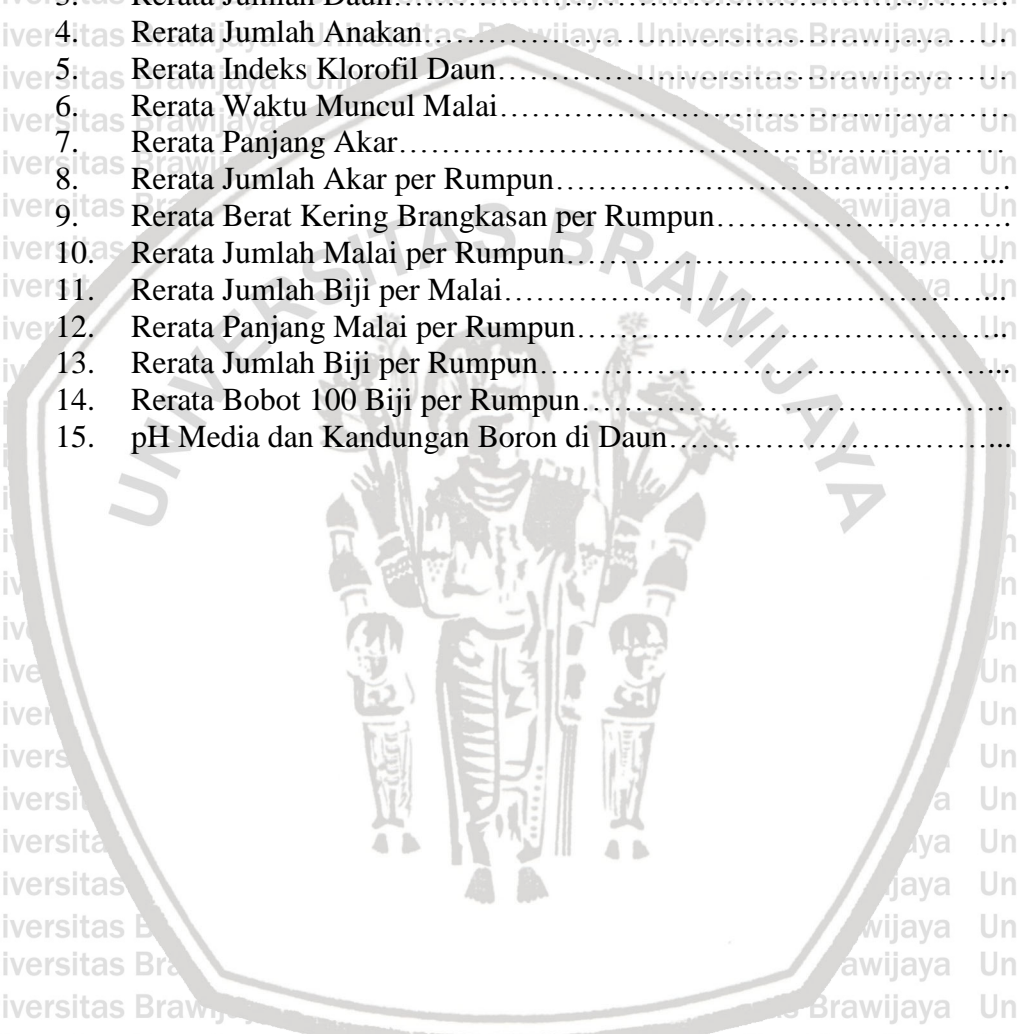
LAMPIRAN.....

46



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Klasifikasi status boron (B) di dalam tanah.....	8
2.	Rerata Panjang Tanaman.....	21
3.	Rerata Jumlah Daun.....	22
4.	Rerata Jumlah Anakan.....	24
5.	Rerata Indeks Klorofil Daun.....	25
6.	Rerata Waktu Muncul Malai.....	25
7.	Rerata Panjang Akar.....	26
8.	Rerata Jumlah Akar per Rumpun.....	27
9.	Rerata Berat Kering Brangkasian per Rumpun.....	28
10.	Rerata Jumlah Malai per Rumpun.....	29
11.	Rerata Jumlah Biji per Malai.....	30
12.	Rerata Panjang Malai per Rumpun.....	30
13.	Rerata Jumlah Biji per Rumpun.....	31
14.	Rerata Bobot 100 Biji per Rumpun.....	32
15.	pH Media dan Kandungan Boron di Daun.....	33



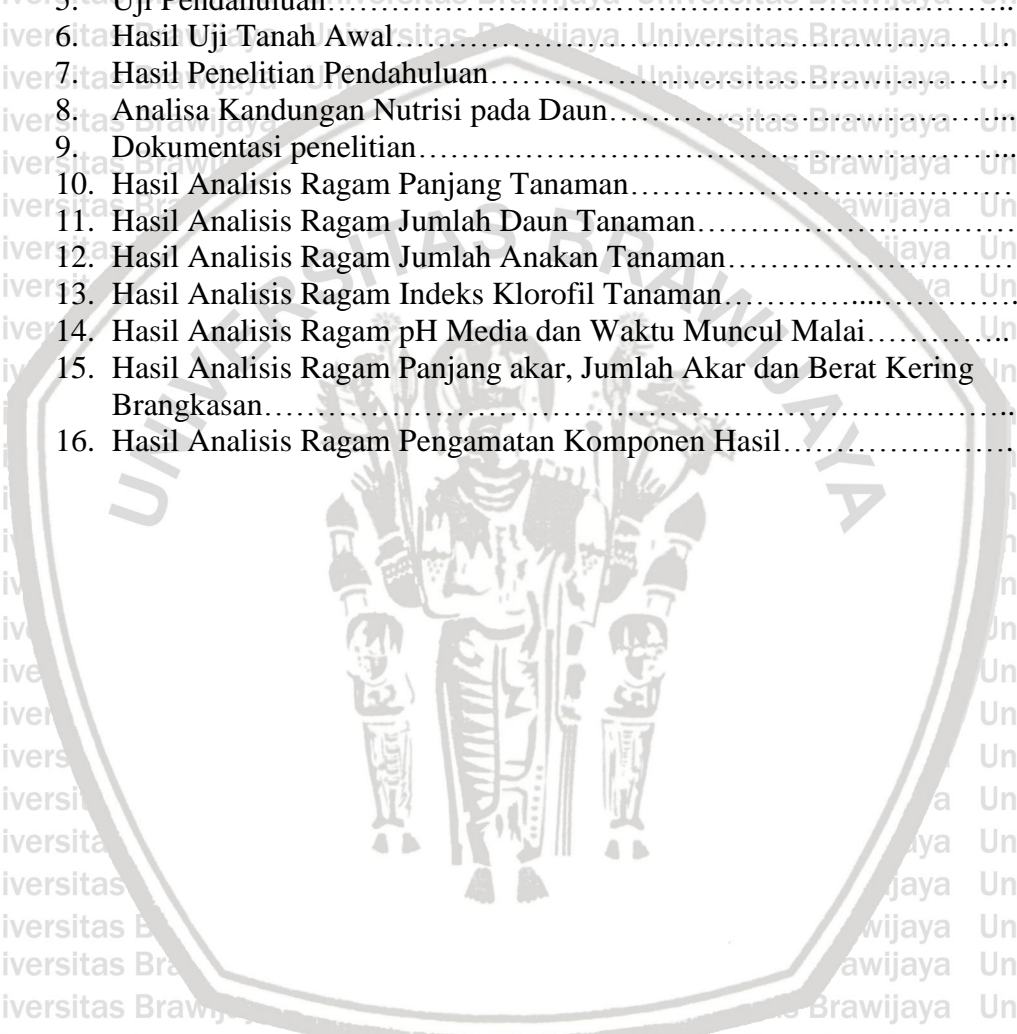
DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Morfologi Tanaman Gandum	3
2.	Susunan Spikelet pada Malai Gandum	4
3.	Perubahan asam borat menjadi tetrahedral borat anion.....	10
4.	Pengaruh Level Boron terhadap Jumlah Anakan Tanaman Gandum.....	11
5.	Pengaruh Konsentrasi Boron terhadap Tingkat Klorosis dan Nekrosis	12
6.	Konsentrasi Boron di Akar Tanaman Barley pada Beberapa pH Media....	13



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Deskripsi Varietas.....	45
2.	Denah Percobaan.....	46
3.	Denah Pengambilan Tanaman Contoh pada Petak Percobaan.....	47
4.	Perhitungan Pupuk Kandang Pupuk Urea, KCl dan SP-36.....	48
5.	Uji Pendahuluan.....	49
6.	Hasil Uji Tanah Awal.....	50
7.	Hasil Penelitian Pendahuluan.....	52
8.	Analisa Kandungan Nutrisi pada Daun.....	53
9.	Dokumentasi penelitian.....	54
10.	Hasil Analisis Ragam Panjang Tanaman.....	62
11.	Hasil Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman.....	63
12.	Hasil Analisis Ragam Jumlah Anakan Tanaman.....	64
13.	Hasil Analisis Ragam Indeks Klorofil Tanaman.....	65
14.	Hasil Analisis Ragam pH Media dan Waktu Muncul Malai.....	66
15.	Hasil Analisis Ragam Panjang akar, Jumlah Akar dan Berat Kering Brangkasan.....	67
16.	Hasil Analisis Ragam Pengamatan Komponen Hasil.....	68



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan permintaan tepung gandum di Indonesia tidak diimbangi dengan peningkatan produksi gandum nasional sehingga menyebabkan tingginya nilai import gandum dan tepung gandum. Hal ini dibuktikan dari data yang dikeluarkan oleh Pusdatin (2016) yaitu volume import gandum segar mencapai 7.444.622 ton dan import gandum olahan mencapai 178.629 ton.

Ketidaktertimbang pertumbuhan antara permintaan dengan produksi gandum disebabkan oleh masih rendahnya hasil produksi gandum nasional. Rendahnya hasil gandum tersebut karena gandum bukan merupakan tanaman asli Indonesia melainkan hasil introduksi dari negara subtropis. Tanaman hasil introduksi umumnya memiliki hasil panen yang rendah sebab perlu adanya adaptasi dari perbedaan iklim daerah asal dengan daerah baru atau dengan kata lain budidaya gandum di Indonesia masih tergantung dengan ketinggian tempat budidaya. Rendahnya hasil panen gandum ini dapat dilihat dari data hasil pengamatan Erythrina dan Zulkifli (2016) bahwa tanaman gandum yang diproduksi pada dataran tinggi (800-1300 mdpl) memiliki produktivitas mencapai 2,9-4,8 ton/ha biji kering atau dengan tara-rata 3,2 ton/ha. Hal ini didukung oleh data Balitsereal (2018) bahwa nilai rata-rata produksi gandum jika ditanam di dataran rendah dengan ketinggian <400 mdpl hanya mencapai 1,3-2,4 ton/ha. Maka untuk dapat meningkatkan hasil produksi gandum perlu dilakukan tindakan ekstensifikasi dan intensifikasi.

Tindakan ekstensifikasi dapat dilakukan dengan menanam tanaman gandum di dataran menengah sedangkan tindakan intensifikasi ini dapat dilakukan dengan mengatur pemberian nutrisi yang cukup termasuk unsur hara mikro. Unsur mikro memegang peranan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman, meskipun hanya dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit akan tetapi defisiensi dan toksisitas unsur mikro dapat mengurangi keseimbangan nutrisi yang diserap tanaman sehingga sulit memperoleh hasil panen yang optimum. Salah satu unsur mikro yang berpengaruh terhadap kuantitas dan kualitas hasil tanaman gandum adalah boron. Hal ini dikarenakan Boron adalah unsur esensial khususnya dalam pembentukan organ reproduktif termasuk pembentukan dan pengisian bulir

gandum namun adanya kisaran antara kadar defisiensi dan toksisitas boron yang rendah jika dibandingkan dengan unsur lainnya menyebabkan sulit dalam menjaga konsentrasi boron yang optimum bagi tanaman (Marschner, 2012).

Kemasaman tanah (pH) yang terlalu rendah dapat menyebabkan unsur mikro seperti Al, Fe, dan B menjadi toksisitas. Kandungan boron dalam tanah yang kurang dari 0,4 ppm tergolong rendah sedangkan kandungan boron lebih dari 0,8 ppm menyebabkan toksisitas bagi tanaman. Serapan boron oleh tanaman harus diturunkan pada tanah yang mengalami toksisitas boron. Salah satu upaya untuk menurunkan serapan unsur mikro seperti boron adalah dengan cara melakukan pengkapuran (Subandi dan Wijanarko, 2013).

1.2 Tujuan

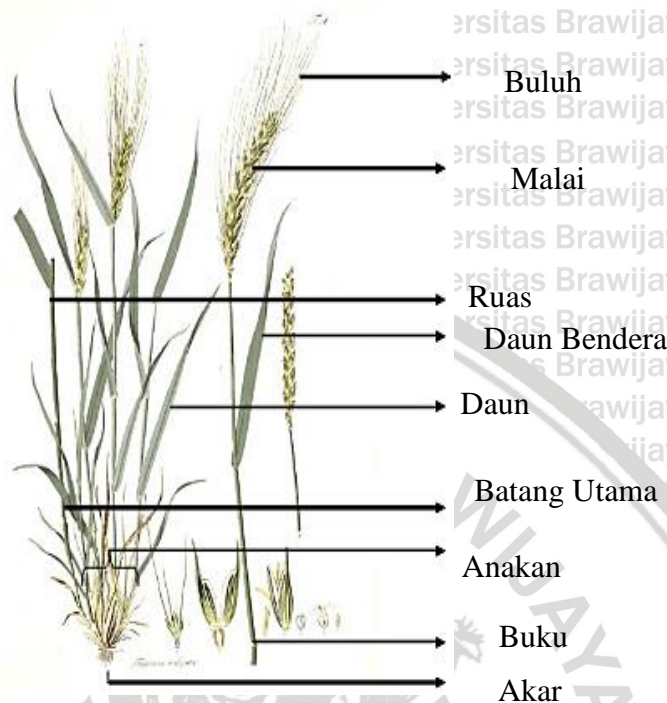
Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan dosis dan jenis kapur (dolomit atau kalsit) yang tepat sehingga mampu menurunkan serapan boron dan mendukung fase generatif yang optimum.

1.3 Hipotesis

Pengaplikasian dolomit sebanyak 600 g per polybag (10 kg) dapat menurunkan serapan boron dan meminimalkan efek toksisitas pada fase vegetatif dan generatif.

1. TINJAUAN PUSTAKA

2.1.1 Tanaman Gandum

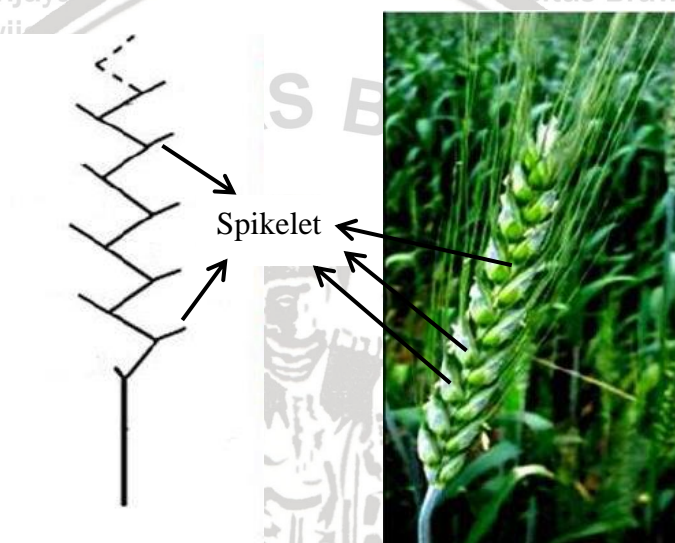


Gambar 1. Morfologi Tanaman Gandum (Host, 1805) dalam Andriani dan Muzdalifah (2016)

Era globalisasi seperti saat ini menyebabkan informasi dan budaya di seluruh dunia mudah masuk ke Indonesia termasuk gaya hidup masyarakat seperti pola konsumsi pangan yang sedikit demi sedikit menggeser pola konsumsi pangan masyarakat Indonesia. Salah satu bukti pergeseran pola konsumsi pangan ini yaitu tingginya nilai konsumsi tepung gandum yang merupakan bahan dasar dari berbagai makanan olahan favorit masyarakat Indonesia baik di perkotaan maupun pedesaan seperti roti dan mie. Sehingga tanpa disadari tepung gandum telah menjadi salah satu diversifikasi pangan nasional yang berdampak pula pada meningkatnya permintaan tepung gandum di Indonesia (Sembiring, Hasnul, dan Diana., 2016).

Permintaan tepung gandum yang meningkat tidak diimbangi dengan peningkatan produksi gandum nasional sehingga menyebabkan nilai import gandum dan tepung gandum tinggi. Hal ini dibuktikan dari data yang dikeluarkan oleh Pusdatin (2016) yang berisi bahwa volume import gandum segar mencapai

7.444.622 ton atau senilai dengan 2.095.655 USD dan volume import gandum olahan mencapai 178.629 ton atau senilai dengan 109.919 USD. Tingginya nilai import gandum menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara importir gandum terbesar ke-2 di dunia. Nilai import gandum yang tinggi selain disebabkan oleh tidak berimbangannya pertumbuhan antara permintaan dengan produksi gandum juga disebabkan oleh masih rendahnya hasil produksi gandum nasional. Rendahnya hasil gandum tersebut karena gandum bukan merupakan tanaman asli Indonesia melainkan hasil introduksi dari negara subtropis (Sembiring *et al.*, 2016).



Gambar 2. Susunan Spikelet pada Malai Gandum (Winfried, 2014) dalam Andriani dan Muzdalifah (2016)

Klasifikasi ilmiah tanaman gandum berdasarkan dari hasil pencatatan para ahli menurut Azrai, Nining dan Andi (2016) yaitu sebagai berikut: kingdom *plantae*, kelas *monocotyledoneae*, sub kelas *liliopsida*, ordo *poales*, famili *poaceae/gramineae*, genus *triticum*, spesies *T. aestivum*, dan lain-lain. Gandum memiliki sistem perakaran serabut dengan 2 tipe perakaran yaitu akar primer dan sekunder. Akar primer terdiri atas satu radikula dan dua pasang seminal lateral.

Pada musim dingin perakaran gandum dapat tumbuh hingga 2,2 m, sedangkan pada musim semi hanya mencapai 1,1 m (Thorup-Kristensen, Montserrat, dan Ralf., 2009). Gandum memiliki batang berupa jerami yang tegak, berbentuk silinder, permukaan halus, dengan 8-16 buku dan ruas. Ruas atas memiliki ukuran paling panjang biasa disebut *peduncle* yang berfungsi untuk menopang malai. Daun dari tanaman gandum berbentuk pita sejajar, tersusun atas helai daun,

pelepa daun, ligula, dan aurikel. Daun bendera akan muncul pada daun terakhir (Andriani dan Muzdalifah, 2016). Anakan adalah cabang lateral dari tanaman gandum. Anakan memiliki struktur dan bentuk yang sama dengan batang utama, dan membentuk malai, meskipun tidak semua anakan dapat membentuk malai (Andriani dan Musdalifah, 2016).

Bunga tanaman gandum bersifat determinate. Bunga gandum adalah sekelompok bunga yang tersusun dalam malai. Setiap malai tersusun atas 5-30 spikelet dan setiap spikelet tersusun atas 2-9 bunga tunggal. Gandum tergolong dalam tanaman monokotil dengan biji yang keras (*caryopsis*). Biji terbentuk dalam spikelet dengan rata-rata sebanyak 5 biji/ spikelet. bobot 1000 biji gandum berkisar 15-44 g, namun akan menurun apabila terjadi kenaikan suhu udara dan suhu tanah. Biji gandum terdiri atas embrio dan skutelum (*germ*) 3% dari bobot biji, 14% lapisan dedak/bekatul (*bran*), dan yang paling banyak adalah endosperma (*endosperm*), 83% dari total bobot biji. Endosperm merupakan bagian yang paling banyak dari biji gandum, tersusun atas pati (*starch*), protein, dan glutein (*gluten*) (Anderson dan Jennifer, 2000). Embrio yang terlindungi oleh skutelum disebut germ atau mata tunas. Skutelum yang menyelimuti embrio memiliki ketebalan 2,5-3 mm, memisahkan embrio dari endosperma, merupakan jaringan yang termodifikasi dari kotiledon pada tanaman biji berkeping dua (Andriani dan Musdalifah, 2016).

Tanaman gandum merupakan tanaman hasil introduksi yang berasal dari daerah subtropika dimana daerah tersebut memiliki iklim sejuk sehingga gandum dapat tumbuh dengan baik pada suhu udara 20-25°C dan 2-4°C suhu tanah (Aqil, Muhammad dan Andi., 2016). Lokasi yang ideal untuk penanaman gandum di Indonesia adalah di daerah dataran menengah sampai dataran tinggi yang memiliki ketinggian mulai dari 800 mdpl, dengan kelembaban udara yang diperlukan 80-90% dan tanah yang subur dengan pH 6,5-7,1 (Herdiani, 2018). Namun tidak menutup kemungkinan tanaman gandum dapat diproduksi di dataran menengah (± 400 mdpl) dengan penggunaan teknologi untuk membantu gandum dalam beradaptasi. Tanaman gandum pada umumnya tumbuh dengan baik di wilayah dengan curah hujan sedang hingga rendah yaitu sekitar 350-1250 mm per tahun. Wilayah yang memiliki curah hujan terlalu tinggi dapat menyebabkan

tingginya intensitas serangan penyakit pada gandum akibat dari tingginya kelembaban udara dan tanah lahan budidaya (Aqil *et al.*, 2016).

2.2 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Gandum

Tanaman gandum merupakan tanaman introduksi dari daerah sub tropis.

Tanaman introduksi biasanya memiliki hasil panen yang rendah sebab perlu adanya adaptasi tanaman dari perbedaan lingkungan tumbuh daerah asal dengan daerah baru. Rendahnya hasil panen gandum ini dapat dilihat dari data Direktorat Budidaya Serealia (2015) yang berisi bahwa nilai rata-rata produksi gandum di Indonesia pada tahun 2015 hanya mencapai 400 ton dengan produktivitas 0,2 ton/ha. Sedangkan menurut Sumarno dan Made (2016) gandum yang ditanam di daerah sub tropis seperti China-Tiongkok pada tahun 2014 dapat mencapai 126.250.000 ton dengan produktivitas 5,05 ton/ha.

Perbedaan yang jauh antara hasil produksi gandum di Indonesia dengan negara sub tropis seperti China dikarenakan adanya perbedaan iklim, salah satu faktor iklim yang mempengaruhi produksi gandum adalah suhu. Suhu optimum tanaman gandum agar mampu berproduksi dengan baik yaitu antara 20-25°C. Sedangkan di daerah tropis seperti Indonesia memiliki suhu rata rata harian yang cukup tinggi yaitu antara 23,5- 28,5°C dan suhu tertinggi yang pernah terjadi pada tahun 2015 mencapai 39,5°C (Badan Pusat Statistik, 2018). Adanya perbedaan suhu yang cukup jauh dengan suhu optimum tanaman gandum menyebabkan budidaya gandum di Indonesia masih tergantung pada ketinggian tempat. Hal ini dibuktikan dari data pengamatan yang dilakukan oleh Erythrina dan Zulkifli (2016) bahwa tanaman gandum yang diproduksi pada dataran tinggi (800-1300 mdpl) memiliki produktivitas mencapai 2,9-4,8 ton/ha biji kering atau dengan tara-rata 3,2 ton/ ha. Sedangkan menurut data Balitseréal (2018) nilai rata – rata produksi gandum jika ditanam di dataran rendah dengan ketinggian <400 mdpl hanya mencapai 1,3-2,4 ton/ha. Kemudian jika dibandingkan dengan negara tropis lain, produksi gandum di Indonesia juga masih tergolong sangat rendah. Di India produksi gandum dapat mencapai 102.689.400 ton pertahun dengan produktivitas 3,3 ton/ha. Hal ini disebabkan luasan lahan budidaya gandum di India sebesar 31.118.000 ha (Sumarno dan Made, 2016). Sedangkan di Indonesia luas lahan budidaya tanaman gandum hanya sebesar 215 ha dengan hasil produksi pada

tahun 2015 sebesar 7.800 ton dan produktivitas hanya 30.00 kw/ha (Direktorat Budidaya Serealia, 2015).

Selain dari faktor iklim dan luas lahan yang sempit, produksi gandum yang rendah di Indonesia juga disebabkan oleh kandungan unsur hara di dalam tanah yang tidak berimbang khususnya kandungan unsur hara esensial baik makro maupun mikro. Sebagai contoh defisiensi boron dapat menyebabkan tanaman memiliki laju penyerapan fosfat yang lambat. Hal ini terjadi karena boron memiliki hubungan dengan transport ion dan gula dalam membran sel (Marschner, 2012). Sedangkan toksisitas boron pada gandum dan tanaman rumput lainnya, ditandai dengan urat daun paralel kemudian berkembang menjadi bercak hitam seperti terbakar pada ujung daun dan berakhir pada kematian sel atau nekrosis (Sheng, Gaofeng, Qingjiang, Shuang dan Xiuxin, 2010).

2.3 Tanah Inceptisol

Indonesia memiliki beberapa ordo tanah, salah satu yang banyak ditemukan adalah tanah Inceptisol dengan luasan lahan sekitar 20,75 juta ha (Muyassir, Sufardi dan Iwan, 2012). Tanah inceptisol adalah tanah *immanure* atau dalam masa perkembangan sehingga tanah ini masih memiliki ciri dari bahan induknya. Selain itu juga tanah ini memiliki beberapa permasalahan jika digunkan sebagai lahan pertanian antara lain kesuburan tanah yang rendah akibat tidak berimbangnya unsur hara di dalam tanah seperti rendahnya ketersediaan unsur hara makro dan unsur hara mikro terlalu tinggi (Khusrizal, 2015), Kapasitas tukar kation (KTK) rendah, dan pH tanah rendah (masam) (Nariratih, Damanik dan Sitagang, 2013). Pada pH tanah yang masam menyebabkan unsur hara mikro seperti boron menjadi tersedia pada jumlah yang terlalu tinggi hal ini dibuktikan dari penelitian yang dilakukan oleh Dey, Mahesh dan Brahma (2013) disimpulkan bahwa tanah Inceptisol yang diamati pada empat wilayah yang berbeda memiliki kandungan boron sebesar 6,9 mg/kg sampai 21,1 mg/kg.

Permasalahan pada tanah inceptisol juga dapat disebabkan oleh penggunaan lahan terlalu intensif yang berakibat terjadinya degradasi lahan atau kerusakan tanah baik secara fisik, kimia maupun biologi tanpa diikuti adanya upaya perbaikan (Yuztisia, Tohari, Shiddieq dan Subowo, 2012). Kerusakan tanah inceptisol di Indonesia disebabkan karena mayoritas digunakan sebagai lahan

sawah yang umumnya untuk budidaya padi sehingga lahan terus digenangi (Arifiyatun *et al.*, 2016). Penggenangan lahan menyebabkan menurunnya Eh (potensial redoks) dan pH tanah. Penurunan pH tanah dapat menyebabkan meningkatnya ketersediaan boron sehingga beresiko terjadinya toksisitas (Syukur, 2002).

Berdasarkan hasil uji tanah yang dilakukan di PT. Angler Laboratorium Tanah Surabaya menunjukkan bahwa tanah yang akan digunakan untuk penelitian mengandung unsur Boron sebanyak 5,65 ppm yang termasuk dalam kategori sangat tinggi. Klasifikasi status boron di dalam tanah menurut Soil factsheet (2015) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi status boron (B) di dalam tanah.

Unsur mikro	SR	R	S	T	ST
B (ppm)	< 0,20	0,21-0,40	0,40-0,80	0,81-1,00	>1,00

Keterangan: SR= Sangat rendah; R= rendah; S= sedang; T= tinggi; ST= sangat tinggi (Soil factsheet, 2015).

2.4 Peran Unsur Hara Makro dan Mikro pada Tanaman

Unsur hara esensial tanaman dibagi menjadi dua kelompok yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang banyak, sedangkan unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit. Setiap unsur hara memiliki peranan yang berbeda bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Berikut peran unsur hara makro dan mikro bagi tanaman menurut Marschner (2012):

1. Peran unsur hara makro bagi tanaman

Unsur hara makro terdapat 9 macam yaitu karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) berada di udara, sedangkan nitrogen (N), sulfur (S), fosfat (P), magnesium (Mg), kalium (K), dan kalsium (Ca) berada di dalam tanah. Nitrogen merupakan elemen unsur hara terbanyak yang dibutuhkan oleh tanaman setelah karbon. Nitrogen memegang peranan penting dalam pembentukan protein, asam nukleat, klorofil, koenzim, fitohormon dan dalam metabolisme sekunder. Sulfur memegang peranan penting dalam pembentukan asam amino sistein yang digunakan untuk mensintesis enzim dan koenzim, juga sebagai komponen sekunder dari fitokelatin, atau aliins dan glukosinولات. Fosfat adalah element struktural dari asam nukleat dan memegang peranan penting dalam transfer energi

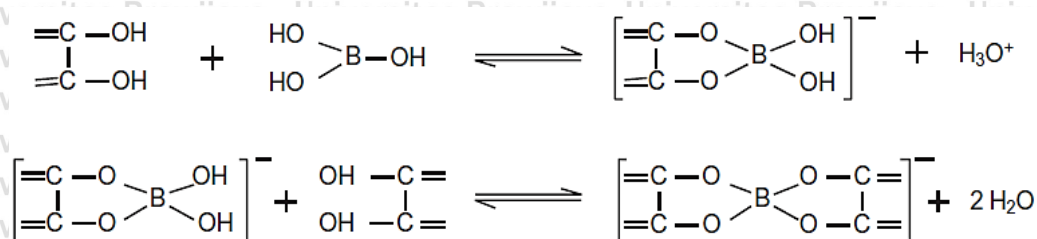
sebagai komponen dari adenosin fosfat. Fosfat juga memegang peranan dalam transfer karbohidrat dalam sel daun. Magnesium adalah komponen dari klorofil yang diperlukan dalam proses fotosintesis dan sintesis protein. Kalsium (Ca) adalah unsur penting dalam osmoregulasi, stabilisasi dinding dan membran sel. Sedangkan peranan utama dari kalium (K) adalah osmoregulasi yang penting untuk membuka dan menutupnya stomata, pengangkutan sukrosa dan kecepatan aliran masa di dalam tubuh tanaman.

2. Peran unsur hara mikro bagi tanaman

Unsur hara mikro terdapat 7 macam yaitu besi (Fe), mangan (Mn), copper (Co), boron (B), klorin (Cl), nikel (Ni) dan molibdenum (Mo) yang semuanya berada di dalam tanah. Besi (Fe) memegang peranan penting dalam sistem redox sel tanaman dan beberapa enzim. Mangan (Mn) dan copper (Co) berperan penting dalam sistem redox, aktivator beberapa enzim termasuk dalam meningkatkan detoxifikasi dari radikal superoksida, menjaga kesatuan membran dan juga sintesis protein dan fitohormon IAA. Nikel (Ni) mampu meningkatkan metabolisme nitrogen sebagai komponen ion metal pada enzim urease. Molibdenum (Mo) adalah komponen penting dalam metabolisme nitrogen sebagai komponen ion metal dari enzim nitrogenase. Boron (B) memegang peran penting dalam kesatuan dinding dan membran sel, sintesis protein, metabolisme karbohidrat, serta transfer ion dan glukosa. Sedangkan pada klorin (Cl) memegang peranan penting dalam osmoregulasi dan pergerakan stomata.

2.5 Peran Boron pada Tanaman

Boron termasuk dalam grup metaloid seperti halnya silikon dan germanium. Ukuran dari atom boron ini sangat kecil dengan tiga atom valensi sehingga memiliki sifat yang mendekati gas mulia. Monomer dari boron adalah asam borat dan tetrahedral borat anion. Asam borat tergolong asam lemah yang homogen pada larutan dengan $\text{pH} < 7$ dan konsentrasi $< 25\text{mM}$. Asam borat akan berubah menjadi tetrahedral borat anion ketika pH larutan meningkat karena asam borat mengikat satu ion OH^- dari air (Marschner, 2012). Perubahan asam borat menjadi tetrahedral borat anion dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Perubahan asam borat menjadi tetrahedral borat anion (Marschner, 2012)

Boron di dalam tanaman bisa berperan sebagai kompleks enzim atau sebagai aktivator, bisa juga berperan sebagai atom struktural dari dinding sel (Marschner, 2012). Boron di dalam tanaman membentuk struktur organik dengan kompleks ikatan cis-diol dan poliol. Kompleks boron tersebut dapat ditemukan pada beberapa bagian tanaman sesuai dengan fungsi boron namun proporsi kompleks boron terbesar dapat ditemukan di dinding sel tanaman sesuai dengan fungsinya dalam menjaga keutuhan dinding dan membran sel. Hal itu yang mempengaruhi kebutuhan boron dari tanaman dikotil lebih besar dari kebutuhan tanaman monokotil yang dapat terlihat dari kebutuhan boron tanaman gandum hanya sekitar 5 mg/g sedangkan pada tanaman bunga matahari bisa mencapai 28 mg/g (Tanaka, 1967).

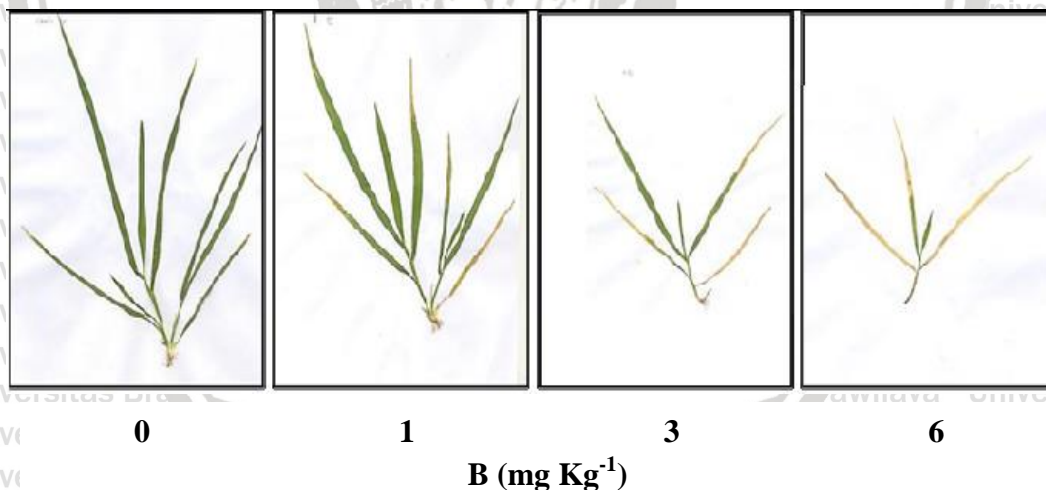
Selain berperan mensintesis dinding sel, boron juga berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan reproduktif. Defisiensi B pada tanaman dapat menyebabkan menurunnya kesuksesan dalam tahap reproduktif seperti produksi bunga prematur dan infertil, produksi polen dan viabilitas polen, serta kerontokan buah. Peran boron dalam keutuhan dinding sel dan membran sel secara jelas diekspresikan pada pertumbuhan dan perkembangan saluran polen. Gen yang responsif pada tautan antara borat dengan pektin rhamnogalakturoman-II sangat aktif di dalam saluran polen dan dibutuhkan untuk perkembangan jaringan reproduktif tanaman. Setelah penyerbukan, saluran polen memanjang oleh pertumbuhan ujung melalui aktivitas vesikel sekretorik yang diangkut ke ujung saluran oleh aliran sitoplasma di mana mereka menyatu dengan membran plasma dari saluran polen dan komponen pembentuknya (polisakarida dan pektin) dibuang ke luar, di mana mereka berkontribusi terhadap pembentukan dinding sel.

Transport boron untuk struktur reproduktif seperti pertumbuhan saluran polen adalah respon terbesar dari pemberian B untuk biji jika dibandingkan dengan

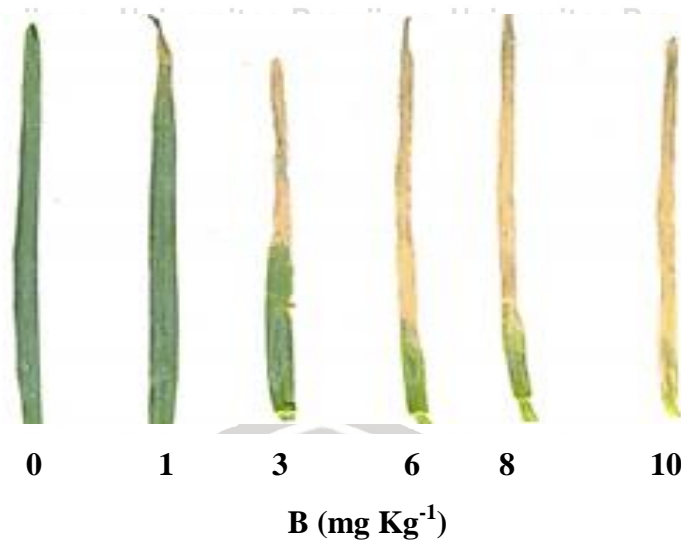
pertumbuhan vegetatif tanaman. Boron juga memiliki efek dalam fertilisasi dengan meningkatkan kapasitas produksi benang sari dan viabilitas dari butir polen. Efek penting lain seperti pembentukan gula adalah salah satu peran tidak langsung dari boron (Marschner, 2012).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Saha, Pabitra, Gora, dan tarik (2017) memperoleh hasil bahwa pengaplikasian boron dapat meningkatkan hasil panen biji gandum sebesar 35,27% dari perlakuan kontrol.

Konsentrasi B dalam tanaman menurun pada saat fase panen dibandingkan pada saat fase inisiasi malai. Berdasarkan dari data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penyerapan boron pada gandum lebih banyak pada fase inisiasi malai atau dengan kata lain boron lebih berperan penting terhadap pembentukan organ reproduktif. Disisi lain, menurut Furlani, Cristiane, Jose, dan Marcelo (2003) Titik kritis defisiensi boron dalam tanaman gandum sebesar 25ppm sedangkan titik kritis toksisitas boron bervariasi tergantung dari varietasnya yaitu berkisar 44-318 ppm sedangkan menurut Marschner (2012) konsentrasi boron pada daun tanaman gandum sebesar 100-270 ppm merupakan titik kritis toksisitas. Akumulasi B lebih tinggi pada bagian tanaman gandum dapat menyebabkan toksisitas pada tanaman.



Gambar 4. Pengaruh Level Boron terhadap Jumlah Anakan Tanaman Gandum
Keterangan : semakin tinggi konsentrasi boron di dalam tanah akan mengakibatkan penurunan jumlah anakan (Matwally *et al.*, 2017)



Gambar 5. Pengaruh Konsentrasi Boron di Dalam Tanah terhadap Tingkat Klorosis dan Nekrosis pada Daun Gandum.
Keterangan : semakin tinggi konsentrasi boron di dalam tanah mengakibatkan klorosis pada daun (1-10 mg kg⁻¹) (Matwally *et al.*, 2017).

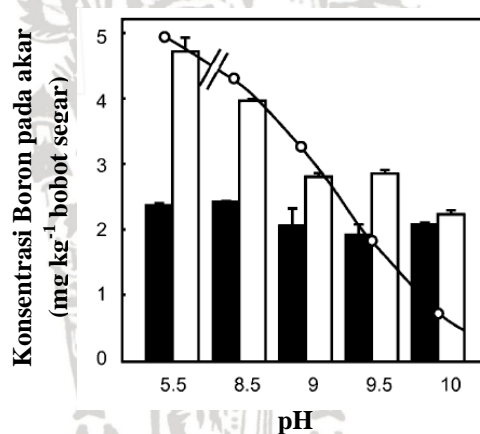
Hasil penelitian toksisitas boron pada tanaman padi yang dilakukan oleh Koohkan dan Maftoun (2014) menunjukkan bahwa pengaplikasian 5 mg kg⁻¹ dapat menurunkan hasil panen padi. Menurut Liu *et al* (2019), toksisitas B menyebabkan gangguan pada perkembangan dinding sel, metabolisme, serta menghambat pembelahan dan pemanjangan sel. Selain itu dampak negatif dari toksisitas B adalah menurunkan aktifitas fotosintesis, pembelahan sel akar, perkembangan dinding sel *shoot*, dan mengaktifkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang diikuti dengan bahaya oksidatif. Gejala toksisitas B adalah klorosis atau nekrosis pada daun tua sehingga dapat menurunkan efisiensi fotosintesis (Metwally *et al.*, 2019). Adanya dampak negatif dari toksisitas B maka menurut Turan, Nilgun, dan Suleyman (2009) berpendapat bahwa konsentrasi boron sebesar 5mg/g di dalam tanah perlu dilakukan perbaikan dengan pemberian Ca dengan tujuan mengoptimalkan hasil panen.

2.6 Pengaruh pH pada Ketersediaan dan Penyerapan Unsur Hara

Kemasaman (pH) tanah adalah interpretasi dari konsentrasi ion hidrogen (H⁺) dengan menghitung skala logaritmis negatif dari ion hidrogen (pH = -log [H⁺]). Kemasaman tanah disebabkan oleh kation asam maupun basa yang terlarut di dalam tanah. Tanah basa umumnya disebabkan oleh kation basa dari karbonat dan bikarbonat yang secara alami dapat ditemukan didalam tanah. Sedangkan

tanah masam umumnya disebabkan oleh bahan induk yang banyak mengandung silika, kandungan pasir yang tinggi dengan kapasitas buffer yang rendah, dan curah hujan tinggi sehingga menyebabkan kation basa tercuci. Faktor yang mempengaruhi pH yaitu kapasitas tukar kation (KTK), tekstur tanah, kapur, dan tingkat presipitasi (McCauley, Clain dan Kathrin, 2017). Perubahan pH rhizosfer tidak hanya mempengaruhi kelarutan nutrisi dalam tanah, tetapi juga berpengaruh pada serapan hara tanaman.

Umumnya unsur hara makro lebih tersedia pada pH 6,5-8 yang berbeda adalah unsur fosfat (P) lebih tersedia pada pH 5,5-7, sedangkan unsur hara mikro seperti boron (B), copper (Co), Mangan (Mn), nikel (Ni), dan zink (Zn) akan lebih tersedia pada 5-7 (Marschner, 2012). Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan Barman dan Raj (2014) menghasilkan bahwa pengaplikasian kapur pada tanah masam dapat meningkatkan ketersediaan unsur makro namun memberikan efek negatif terhadap ketersediaan unsur mikro.



Gambar 6. Konsentrasi Boron di Akar Tanaman Barley pada Beberapa pH Media.

Keterangan: varietas Schooner (bar putih) menunjukkan penurunan konsentrasi boron pada akar dengan peningkatan pH media (Hayes dan Robert, 2004).

Kemasaman tanah berpengaruh penting terhadap kelarutan nutrisi dan unsur unsur beracun di dalam tanah. pH tanah juga dapat mempengaruhi penyerapan nutrisi dengan adanya pompa proton H^+ yang dilakukan oleh enzim ATPase pada membran sel sehingga menciptakan sebuah gradien elektropotensial berupa perbedaan pH antara sitosol (pH 7-7,5) dan apoplas (pH 5-6). Gradien potensial elektrokimia ini menciptakan energi untuk mengambil nutrisi dari dalam tanah melalui transport aktif sel baik secara simport maupun antiport. Perbedaan dalam

kebutuhan tanaman juga dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi, penyerapan kation dan anion sering tidak seimbang. Kelebihan anion atau kation menyebabkan penghapusan proton di rhizosfer sehingga dapat meningkatkan pH rhizosfer. Sebaliknya, penyerapan kation yang berlebihan diimbangi oleh pelepasan proton akan mengakibatkan pengasaman rhizosfer. Ekstrusi proton melalui ATPase pada membran plasma juga merupakan komponen penting untuk stabilisasi pH intraseluler dengan memodifikasi reaksi metabolik yang melibatkan produksi atau konsumsi H^+ (Marschner, 2012).

Kemasaman tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pelepasan dan pengambilan HCO_3^- , produksi CO_2 dari respirasi akar dan mikroorganisme tanah, serta pelepasan senyawa organik dengan berat molekul rendah yang juga dapat digabungkan dengan transportasi proton. Kapasitas buffer pH tanah dan pH tanah awal adalah faktor tanah utama yang menentukan kemampuan akar tanaman dalam mengubah pH rhizosfer. Kapasitas buffer pH tanah sangat tergantung pada pH awal, kandungan kapur, dan kandungan lempung.

2.7 Kapur dan Pengkapuran

pH tanah adalah faktor penting dalam kegiatan budidaya karena kaitannya dengan ketersediaan unsur hara makro maupun mikro. pH tanah yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan ketidakberimbangan ketersediaan unsur hara. pH tanah yang terlalu rendah dapat menyebabkan unsur mikro seperti Al, Fe, dan B menjadi tersedia dalam jumlah yang berlebih. Salah satu upaya untuk menurunkan toksisitas unsur mikro seperti boron di dalam tanah adalah dengan cara melakukan pengkapuran. Penurunan tingkat toksisitas unsur mikro disebabkan karena adanya peningkatan pH tanah dengan meningkatkan kandungan Ca dan/atau Ca dan Mg (Subandi dan Wijanarko, 2013).

Sumber kapur adalah batu gamping. Batu gamping mengandung kalsit dan dolomit yang disusun oleh unsur-unsur Ca, C, O dan Mg. Pada proses geokimia sebagian besar unsur Ca bersenyawa dengan unsur C dan O, maka terbentuk mineral kalsit; bila senyawa tersebut terdapat unsur Mg maka terbentuk mineral dolomit. Susunan senyawa dalam mineral kalsit ($CaCO_3$) dengan komposisi Ca = 40,04 %, C=12,0 %, O=47,96 % atau $CaO = 56,03$ %, $CO_2 = 43,96$ %, sedangkan mineral dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) dengan komposisi Ca=21,73%, Mg=13,18%,

C=13,03%, O=52,06%, CaO=30,4%, MgO=21,7%, CO₂=47,9% (Djuhariningrum dan Rusmadi, 2004).

Efek pengapuran dalam pengelolaan tanah adalah menurunkan konsentrasi ion H⁺ dan meningkatkan konsentrasi ion OH⁻ sehingga menyebabkan penurunan kemasaman tanah (kenaikan pH). Selain itu pengapuran juga dapat menjaga ketersediaan unsur hara dan mencegah keracunan unsur tertentu, seperti Mn, B, dan As. Contohnya adalah adsorpsi B ke mineral lempung sangat meningkat di atas pH 6,5 dan maksimal pada pH 9. Pada tanah alkali kelarutan B berada pada taraf rendah yang disebabkan oleh adanya adsorpsi B oleh mineral lempung.

Toksisitas boron biasanya terjadi pada tanah sodik, sedangkan toksisitas B biasanya terjadi pada tanah alkali (Marschner, 2012). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Khadka (2016) mendapatkan hasil bahwa dengan peningkatan satu unit pH dapat menurunkan ketersediaan boron bagi tanaman sebesar 0,61 unit. Hal ini disebabkan karena peningkatan pH dapat mengubah boron dari bentuk B(OH)₃ menjadi kurang tersedia dalam bentuk B(OH)₄⁻. Efek dari pengapuran ini berkaitan dengan kandungan Ca dalam kapur yang dapat meningkatkan pH tanah. Hal ini sesuai dengan pendapat Turan *et al.*, (2009) yang menyatakan bahwa Ca dan B memiliki interaksi yang antagonis dimana ketika ditambahkan B maka Ca dalam tanaman menurun, sedangkan ketika diaplikasikan Ca dalam tanah maka konsentrasi B dalam tanah menurun yang menyebabkan serapan B tanaman juga menurun.

1. BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan di rumah plastik pada bulan April-Agustus 2019 di Desa Dadaprejo, Kecamatan Junrejo, Kota Batu, Propinsi Jawa Timur dengan ketinggian tempat 700 mdpl.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah, cangkul, cetok, tugal, gembor, jaring-jaring tikus, jaring-jaring burung, plastik UV, spidol, gunting, amplop coklat, meteran, papan label, timbangan digital, pH meter digital, SPAD, oven, dan kamera. Bahan yang digunakan adalah benih gandum varietas dewata, polibag, pupuk kandang kambing 10 ton ha⁻¹, pupuk anorganik yang terdiri dari Urea (100kg/ha), SP-36 (100kg/ha) dan KCl (50kg/ha), dolomit, kalsit sesuai perlakuan, aquades dan larutan buffer pH 4 dan buffer pH 7.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan adalah penelitian bukan faktorial dengan rancangan acak kelompok (RAK) yang diulangi sebanyak 3 kali. Terdapat 9 perlakuan dengan masing-masing satuan percobaan terdiri dari 9 polibag sehingga diperoleh 243 polibag. Perlakuan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan dengan cara uji coba penambahan kapur pada tanah lahan penelitian untuk mendapatkan tingkat pH yang diinginkan. Penelitian pendahuluan dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Hasil penelitian pendahuluan dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** Berikut perlakuan yang telah diberikan dalam penelitian ini:

1. P0 : Tanpa pemberian dolomit dan kalsit (kontrol)
2. P1 : 300 g dolomit/polibag
3. P2 : 600 g dolomit/polibag
4. P3 : 900 g dolomit/polibag
5. P4 : 1200 g dolomit/polibag
6. P5 : 300 g kalsit/polibag
7. P6 : 600 g kalsit/polibag

8. P7 : 900 g kalsit/polibag

9. P8 : 1200 g kalsit/polibag

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Lahan

Persiapan lahan yang dilakukan meliputi perbaikan kerangka rumah plastik, pemasangan plastik UV, jaring-jaring tikus dan jaring jaring burung. Persiapan lahan dilakukan 3 minggu sebelum persiapan media.

3.4.2 Persiapan Media Tanam

Persiapan media tanam dilakukan dengan cara mencampur tanah dan pupuk kandang kambing sebanyak 10 ton ha⁻¹ hingga homogen. Setelah homogen media dimasukkan ke dalam polibag sebanyak 10 kg tanah. Persiapan media tanam dilakukan 2 minggu sebelum tanam. Jarak antar polibag yang digunakan adalah 25 cm × 5 cm. Polibag disusun sesuai dengan denah percobaan pada Lampiran 2.

3.4.3 Penanaman

Varietas gandum yang digunakan pada penelitian ini adalah gandum varietas Dewata. Deskripsi tanaman gandum varietas dewata dapat dilihat pada Lampiran 1. Penanaman dilakukan dengan cara membuat lubang tanam dengan kedalaman 2-3 cm. Setiap polibag diisi sebanyak 3 benih.

3.4.4 Perlakuan Dolomit dan Kalsit

Pemberian dolomit dan kalsit dilakukan satu minggu sebelum tanam dengan cara mencampur dolomit dan kalsit ke dalam media sesuai dosis perlakuan yang diberikan. Langkah yang dilakukan untuk mendapatkan taraf pH perlakuan 6,4-8 adalah melakukan uji pendahuluan. Uji pendahuluan dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Hasil dari uji pendahuluan ini adalah setiap peningkatan pemberian 300 g dolomit atau kalsit per polibag dapat meningkatkan pH sebesar 0,4. Rincian tahapan uji pendahuluan mengenai level pH dapat dilihat pada Lampiran 5.

3.4.5 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman meliputi kegiatan pengairan, pemupukan, penyulaman, penjarangan, pengendalian gulma, serta pengendalian hama dan penyakit. Rincian kegiatan pemeliharaan tanaman yaitu sebagai berikut:

a. Pemupukan

Pupuk yang digunakan adalah pupuk Urea, SP-36 dan KCl. Pemupukan dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada umur 14 hst dengan dosis setengah dari dosis rekomendasi yakni sebanyak 50 kg/ha Urea, 50 kg/ha SP-36 dan 25 kg/ha KCl. Kemudian pemupukan susulan dilakukan pada umur 30 hst dengan dosis yang sama seperti pemupukan pertama. Perhitungan dosis pupuk per tanaman dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

b. Penyulaman dan Penjarangan

Penyulaman dan penjarangan dilakukan pada 14 hst dengan umur tanaman yang sama. Penjarangan dilakukan dengan menyisakan satu tanaman pada setiap polybag. Penyulaman dilakukan pada tanaman yang tidak tumbuh. Bibit yang digunakan untuk menyulam diambil dari tanaman cadangan yang sudah disediakan dengan umur tanaman yang sama.

c. Pengairan

Pengairan dilakukan dengan cara dikocor setiap 2 hari sekali menggunakan gembor.

d. Pengendalian Gulma (Penyiangan)

Pengendalian gulma secara rutin dilakukan dengan cara manual yaitu mencabut gulma yang tumbuh di dalam polibag.

e. Pengendalian Hama dan Penyakit

Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan cara manual yaitu mengambil hama yang terdapat di tanaman apabila terlihat gejala serangan.

3.4.4 Panen

Pemanenan dilakukan pada umur 110 hst dengan ciri fisiologis malai berwarna kuning keemasan, batang dan daun telah menguning 95% serta serta bulir sudah mengeras.

3.5 Pengamatan dan Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pengamatan pada komponen pertumbuhan dan komponen hasil secara destruktif dan non destruktif. Denah pengambilan tanaman contoh disajikan pada Lampiran 3.

3.5.1 Komponen Pertumbuhan

1. Panjang tanaman (cm)

Panjang tanaman diukur pada setiap rumpun tanaman mulai dari permukaan tanah (pangkal batang bagian bawah) hingga ujung tanaman terpanjang.

Pengamatan panjang tanaman dilakukan pada 28 hst, 42 hst, 56 hst, 70 hst dan 84 hst

2. Jumlah daun per rumpun (helai),

Menghitung jumlah daun hanya dilakukan pada daun yang telah membuka sempurna, berwarna hijau, dan tidak rusak. Pengamatan jumlah daun dilakukan pada 28 hst, 42 hst, 56 hst, 70 hst dan 84 hst

3. Jumlah anakan per rumpun

Jumlah anakan per rumpun dihitung dengan cara menghitung semua anakan pada 28 hst, 42 hst, 56 hst.

4. Indeks klorofil per rumpun

Pengamatan indeks klorofil dilakukan pada 42 hst, 56 hst, 70 hst, dan 84 hst. Pengamatan ini dilakukan menggunakan alat SPAD pada tiga sampel tanaman dan masing masing tanaman diukur sepuluh daun.

5. Waktu terbentuknya malai (hst)

Pengamatan waktu muncul malai dilakukan pada saat 50% populasi tanaman dalam satu perlakuan telah muncul malai.

6. Jumlah akar per rumpun

Pengukuran jumlah akar dilakukan pada saat panen (110 hst). Cara menghitung akar yaitu merendam polibag terlebih dahulu pada ember berisi air, kemudian setelah tanah remah polibag dibuka untuk memisahkan akar tanaman dengan tanah. Setelah terpisah, akar primer dihitung dengan hati-hati.

7. Panjang akar per rumpun (cm)

Pengukuran panjang akar dilakukan dengan cara mengukur panjang akar terpanjang menggunakan meteran setelah akar dicuci bersih.

8. Berat kering brangkas per rumpun (g)

Berat kering brangkas per rumpun (g) dilakukan dengan cara akar, batang dan daun di oven secara terpisah pada suhu 80°C selama 48 jam sebelum melakukan penimbangan.

3.5.2 Pengamatan Komponen Hasil

1. Jumlah malai per rumpun

Pengamatan jumlah malai per rumpun dilakukan dengan cara menghitung semua malai yang terbentuk. Pengamatan dilakukan pada 84 hst, dan 98 hst.

2. Jumlah biji per malai

Pengamatan jumlah biji per malai dilakukan dengan cara menghitung semua biji yang terbentuk pada setiap malai pada umur 84 hst dan 98 hst.

3. Panjang malai per rumpun

Pengamatan panjang malai per rumpun dilakukan dengan cara mengukur semua malai yang terbentuk. Pengamatan dilakukan pada saat panen.

4. Jumlah biji per rumpun

Jumlah biji per rumpun dihitung dengan cara menghitung biji pada setiap rumpun.

5. Bobot 100 biji (g)

Pengukuran bobot 100 biji dilakukan dengan cara menimbang 100 biji yang telah dikering anginkan 2-3 hari.

$$\text{Bobot 100 biji} = \frac{\text{bobot biji per rumpun}}{\text{jumlah biji per rumpun}} \times 100 \text{ biji}$$

6. Kandungan boron

Kandungan boron diukur pada daun bendera tanaman yang dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

3.6 Analisis Data

Analisa data yang telah dilakukan dengan cara menganalisis menggunakan uji F pada taraf 5% pada data pengamatan yang telah dikumpulkan untuk mengetahui pengaruh nyata dari perlakuan. Apabila dari hasil pengujian terdapat pengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan uji perbandingan antar perlakuan dengan menggunakan uji BNJ (Beda Nyata Jujur) dengan taraf 5%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.4.1 Komponen Pertumbuhan

1. Panjang Tanaman

Hasil analisis ragam pada Lampiran 10 menunjukkan rerata panjang tanaman gandum pada umur 28 dan 42 hst tidak berbeda nyata dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit, sedangkan pada umur 56, 70, dan 84 hst menunjukkan rerata panjang tanaman gandum yang berbeda nyata (Tabel 2).

Tabel 1. Rerata Panjang Tanaman Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Rerata Panjang Tanaman (cm)				
	28 hst	42 hst	56 hst	70 hst	84 hst
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	34,6	44,7	60,5ab	79,0a	86,5a
(P1) 300 g dolomit	37,3	51,8	58,4a	83,1ab	92,4ab
(P2) 600 g dolomit	42,1	60,9	83,8c	97,5c	100,1b
(P3) 900 g dolomit	37,4	51,2	75,9bc	93,2bc	100,1b
(P4) 1200 g dolomit	38,0	51,5	65,9ab	85,6abc	93,0ab
(P5) 300 g kalsit	36,5	48,1	62,2ab	88,8abc	95,0ab
(P6) 600 g kalsit	36,8	53,7	66,8ab	95,5bc	102,5b
(P7) 900 g kalsit	34,3	46,6	64,6ab	87,7abc	100,2b
(P8) 1200 g kalsit	37,8	45,6	58,5a	90,2abc	96,3ab
BNJ 5%	tn	tn	15,94	13,35	10,89
KK (%)	9,61	12,00	8,28	5,17	3,90

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ $p = 5\%$; hst : hari setelah tanam; tn = tidak nyata.

Hasil pengamatan rerata panjang tanaman pada umur 56 hst yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 memiliki rerata panjang tanaman yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P2 dan P3 juga memiliki rerata panjang tanaman yang tidak berbeda nyata. Sedangkan perlakuan P1 dan P8 memiliki panjang tanaman yang berbeda nyata dengan perlakuan pemberian 600g dolomit (P2).

Hasil pengamatan rerata panjang tanaman pada umur 70 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P4, P5, P6, P7, dan P8 memiliki rerata panjang tanaman yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 juga memiliki rerata panjang tanaman yang tidak berbeda nyata. Sedangkan perlakuan



600g dolomit (P2) memiliki panjang tanaman yang berbeda nyata dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

Hasil pengamatan rerata panjang tanaman pada umur 84 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 memiliki rerata panjang tanaman yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P0, P1, P4, P5 dan P8 juga memiliki rerata panjang tanaman yang tidak berbeda nyata. Sedangkan perlakuan 600g dolomit (P2), 900g dolomit (P3), 600g kalsit (P6), dan 900g kalsit (P7) memiliki panjang tanaman yang berbeda nyata dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

2. Jumlah Daun

Hasil analisis ragam pada Lampiran 11 menunjukkan rerata jumlah daun tanaman gandum pada umur 28, 42, 56, 70 dan 84 hst berbeda nyata dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit (Tabel 3).

Tabel 2. Rerata Jumlah Daun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Rerata Jumlah Daun (Helai)				
	28 hst	42 hst	56 hst	70 hst	84 hst
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	7,3a	30,3a	85,3a	51,7a	36,0a
(P1) 300 g dolomit	9,3ab	31,0ab	95,6ab	82,3bc	53,3bc
(P2) 600 g dolomit	9,0ab	53,9e	138,8b	116,7f	82,3d
(P3) 900 g dolomit	8,7a	41,5cd	101,2ab	74,7b	59,8c
(P4) 1200 g dolomit	12,5b	34,2ab	114,8ab	53,7a	46,9ab
(P5) 300 g kalsit	8,7a	36,2bc	96,6ab	90,0cd	63,8c
(P6) 600 g kalsit	8,0a	54,0e	122,6ab	102,3e	62,0c
(P7) 900 g kalsit	10,7ab	45,0d	112,1ab	81,7bc	43,1ab
(P8) 1200 g kalsit	10,7ab	41,8cd	114,4ab	93,3de	43,0ab
BNJ 5%	3,62	5,75	46,75	10,35	11,20
KK %	15,6	4,8	14,8	4,3	7,1

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ $p = 5\%$; hst : hari setelah tanam.

Hasil pengamatan rerata jumlah daun pada umur 28 hst yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P2, P3, P5, P6, P7, dan P8 memiliki rerata jumlah daun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P2, P4, P7, dan P8 juga memiliki rerata jumlah daun yang tidak berbeda nyata sedangkan pada perlakuan P0, P3, P5 dan P6 memiliki rerata jumlah daun yang berbeda nyata dengan perlakuan pemberian 1200g dolomit (P4).

Hasil pengamatan rerata jumlah daun pada umur 42 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2) dan 600 g kalsit (P6) memiliki rerata jumlah daun yang tidak berbeda nyata. Namun perlakuan P2 dan P6 memiliki rerata jumlah daun yang berbeda nyata dengan rerata jumlah daun perlakuan lainnya yakni rerata jumlah daun pada perlakuan P0, P1, P3, P4, P5, P7, dan P8.

Hasil pengamatan rerata jumlah daun pada umur 56 hst yang menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 memiliki rerata jumlah daun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 juga memiliki rerata jumlah daun yang tidak berbeda nyata. Namun pada perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2) memiliki rerata jumlah daun yang berbeda nyata dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit). P2 mampu meningkatkan rerata jumlah daun sebesar 62,71 % jika dibandingkan dengan rerata jumlah daun P0.

Hasil pengamatan rerata jumlah daun pada umur 70 dan 84 hst menunjukkan bahwa pemberian dolomit 600 g (P2) adalah perlakuan yang memiliki rerata jumlah daun terbanyak dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. P2 mampu meningkatkan jumlah daun sebesar 125,72 % pada 70 hst dan 128,61 % pada 84 hst jika dibandingkan dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

3. Jumlah Anakan

Hasil analisis ragam pada Lampiran 12 menunjukkan rerata jumlah anakan tanaman gandum berbeda nyata pada umur 42 hst dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit sedangkan pada umur 28 dan 56 hst menunjukkan rerata jumlah anakan tanaman gandum yang tidak berbeda nyata (Tabel 4). Hasil pengamatan rerata jumlah anakan pada umur 42 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3 dan P4 memiliki rerata jumlah anakan yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah anakan yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P2, P5, P6 dan P7 juga memiliki rerata jumlah anakan yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2) dan 1200 kalsit (P8) memiliki rerata jumlah anakan per rumpun yang berbeda nyata dengan perlakuan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit), 900 g dolomit (P3) dan 1200 g dolomit (P4). P2 dan P8 mampu meningkatkan jumlah anakan sebesar

41,68 % dan 27,87 % jika dibandingkan dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

Tabel 3. Rerata Jumlah Anakan Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Rerata Jumlah Anakan per Rumpun		
	28 hst	42 hst	56 hst
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	13,33	26,27a	28,11
(P1) 300 g dolomit	16,67	30,11ab	32,61
(P2) 600 g dolomit	18,33	37,22c	38,67
(P3) 900 g dolomit	17,67	26,00a	33,33
(P4) 1200 g dolomit	17,00	24,44a	36,11
(P5) 300 g kalsit	19,00	35,89bc	37,11
(P6) 600 g kalsit	16,00	37,11bc	39,89
(P7) 900 g kalsit	18,67	36,82bc	37,44
(P8) 1200 g kalsit	16,00	33,33b	36,83
BNJ 5%	tn	6,88	tn
KK (%)	27,94	7,42	13,68

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ $p = 5\%$; hst : hari setelah tanam; tn = tidak nyata.

4. Indeks Klorofil

Hasil analisis ragam pada Lampiran 13 menunjukkan rerata indeks klorofil daun tanaman gandum pada umur 42 dan 56 hst tidak berbeda nyata dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit, sedangkan pada umur tanaman 70 dan 84 hst berbeda nyata dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit (Tabel 5).

Hasil pengamatan rerata indeks klorofil pada umur 70 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6 dan P8 memiliki rerata indeks klorofil yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P0, P1, P2, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata indeks klorofil yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 1200 g dolomit (P4) dan 900 kalsit (P7) memiliki rerata indeks klorofil yang berbeda nyata.

Hasil pengamatan rerata jumlah anakan pada umur 84 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3, P4, P5, P6, P7, dan P8 memiliki rerata jumlah anakan indeks klorofil yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P0, P1, P2, P5, P6 dan P7 memiliki rerata indeks klorofil yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 900 g dolomit (P3), 1200 g dolomit (P4) dan 1200 kalsit (P8) memiliki rerata indeks klorofil yang berbeda nyata dengan perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2). P2 memiliki rerata indeks klorofil sebesar 29,43 %

lebih tinggi jika dibandingkan dengan rerata panjang tanaman P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

Tabel 4. Rerata Indeks Klorofil Daun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit pada Tanaman Gandum.

Perlakuan	Rerata Indeks Klorofil (unit)			
	42 hst	56 hst	70 hst	84 hst
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	44,49	41,22	32,16ab	28,30ab
(P1) 300 g dolomit	44,03	40,13	35,33ab	31,82ab
(P2) 600 g dolomit	43,28	43,30	40,22ab	36,63b
(P3) 900 g dolomit	43,81	41,12	34,40ab	25,27a
(P4) 1200 g dolomit	44,44	39,08	29,02a	23,67a
(P5) 300 g kalsit	45,60	42,87	38,64ab	27,70ab
(P6) 600 g kalsit	45,01	44,23	39,53ab	29,37ab
(P7) 900 g kalsit	44,12	44,97	40,92b	27,04ab
(P8) 1200 g kalsit	44,52	42,16	33,88ab	25,16a
BNJ 5%	tn	tn	11,89	10,07
KK (%)	4,15	10,64	11,37	12,24

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ p = 5%; hst : hari setelah tanam; tn = tidak nyata.

5. Waktu Muncul Malai

Hasil analisis ragam pada Lampiran 14 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap waktu muncul malai (Tabel 6).

Tabel 5. Rerata Waktu Muncul Malai Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Waktu Berbunga (hst)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	77,7b
(P1) 300 g dolomit	72,0ab
(P2) 600 g dolomit	72,0ab
(P3) 900 g dolomit	71,3ab
(P4) 1200 g dolomit	69,7ab
(P5) 300 g kalsit	76,3ab
(P6) 600 g kalsit	74,7ab
(P7) 900 g kalsit	65,3ab
(P8) 1200 g kalsit	60,7a
BNJ 5%	15,85
KK (%)	7,68

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ p = 5%, hst : hari setelah tanam.

Hasil pengamatan waktu muncul malai yang disajikan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, dan P7 memiliki rerata waktu muncul malai yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata waktu muncul malai yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 1200 kalsit (P8) memiliki rerata waktu muncul malai yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0). P8 memiliki rerata waktu muncul malai 17 hari lebih cepat jika dibandingkan dengan rerata panjang tanaman P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

6. Panjang Akar

Hasil analisis ragam pada Lampiran 15 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap panjang akar tanaman gandum (Tabel 7).

Tabel 6. Rerata Panjang Akar Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Panjang Akar (cm)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	21,07a
(P1) 300 g dolomit	21,51b
(P2) 600 g dolomit	49,17d
(P3) 900 g dolomit	37,91c
(P4) 1200 g dolomit	32,79bc
(P5) 300 g kalsit	40,00cd
(P6) 600 g kalsit	43,28cd
(P7) 900 g kalsit	36,17c
(P8) 1200 g kalsit	24,68ab
BNJ 5%	10,48
KK (%)	10,59

Keterangan: Bilangan yang didampangi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%.

Hasil pengamatan panjang akar yang disajikan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa pada perlakuan P1 dan P8 memiliki rerata panjang akar yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P4 dan P8 memiliki rerata panjang akar yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P3, P4, P5, P6 dan P7 memiliki rerata panjang akar yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P2, P5 dan P6 memiliki rerata panjang akar yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0), 300 g dolomit (P1), 600 g dolomit (P2), 900 g dolomit (P3) memiliki rerata panjang akar yang berbeda nyata.

7. Jumlah Akar

Hasil analisis ragam pada Lampiran 15 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap jumlah akar tanaman gandum (Tabel 8).

Tabel 7. Rerata Jumlah Akar per Rumpun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Jumlah Akar
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	184,00a
(P1) 300 g dolomit	186,00a
(P2) 600 g dolomit	318,72c
(P3) 900 g dolomit	210,67ab
(P4) 1200 g dolomit	183,00a
(P5) 300 g kalsit	248,22abc
(P6) 600 g kalsit	260,89bc
(P7) 900 g kalsit	266,44bc
(P8) 1200 g kalsit	248,78bc
BNJ 5%	74,00
KK (%)	10,89

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%.

Hasil pengamatan jumlah akar malai menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3, P4 dan P5 memiliki rerata jumlah akar yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P3, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah akar yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P2, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah akar yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 600 dolomit (P2) memiliki rerata jumlah akar per rumpun yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0), 300 dolomit (P1), dan 1200 dolomit (P4). P2 memiliki rerata jumlah akar 73,21% lebih banyak jika dibandingkan dengan rerata jumlah akar perlakuan P0.

8. Berat Kering Brangkas

Hasil analisis ragam pada Lampiran 15 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap berat kering brangkas per rumpun tanaman gandum (Tabel 9). Hasil pengamatan rerata berat kering brangkas menunjukkan bahwa perlakuan P0, P1, P3, P4, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah akar yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P3, P4, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah akar yang tidak berbeda nyata. Pemberian dolomit 600 g (P2) adalah perlakuan yang memiliki rerata berat kering brangkas terbesar dan berbeda nyata dengan perlakuan

lainnya. P2 mampu meningkatkan berat kering brangkasan sebesar 105,09 % jika dibandingkan dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

Tabel 8. Rerata Berat Kering Brangkasan per Rumpun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Berat Kering Brangkasan per Rumpun (g)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	21,00a
(P1) 300 g dolomit	25,08ab
(P2) 600 g dolomit	43,07c
(P3) 900 g dolomit	31,67ab
(P4) 1200 g dolomit	21,51a
(P5) 300 g kalsit	32,29b
(P6) 600 g kalsit	29,94ab
(P7) 900 g kalsit	28,83ab
(P8) 1200 g kalsit	27,79ab
BNJ 5%	10,67
KK (%)	12,66

Keterangan: Bilangan yang didampangi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%.

4.4.2 Komponen Hasil

1. Jumlah Malai per Rumpun

Hasil analisis ragam pada Lampiran 16 menunjukkan rerata jumlah malai per rumpun tanaman gandum pada umur 84 dan 98 hst berbeda nyata dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit (Tabel 10). Hasil pengamatan rerata jumlah malai per rumpun pada umur 84 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1 dan P2 memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P2, P3 dan P5 memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P3, P5 dan P6 memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P4, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang tidak berbeda nyata. Sedangkan perlakuan pemberian 900 g dolomit (P3) dan 300 g kalsit (P5) memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0), 300 g dolomit (P1) dan 1200 kalsit (P8).

Hasil pengamatan rerata jumlah malai per rumpun pada umur 98 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P1, P3, P4, P5, P6 dan P8 memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P2, P3, P4, P6 dan P7 memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 300 g dolomit (P1) dan 300 kalsit (P5) memiliki rerata

jumlah malai per rumpun yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0). Perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2) memiliki rerata jumlah malai per rumpun yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0). P2 memiliki rerata jumlah malai per rumpun sebesar 78,12 % lebih banyak jika dibandingkan dengan rerata panjang tanaman P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

Tabel 9. Rerata Jumlah Malai per Rumpun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit.

Perlakuan	Jumlah Malai per Rumpun	
	84 hst	98 hst
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	7,00a	15,50a
(P1) 300 g dolomit	8,00a	20,28b
(P2) 600 g dolomit	10,60ab	27,61d
(P3) 900 g dolomit	13,44bc	24,00bcd
(P4) 1200 g dolomit	17,47de	23,33bcd
(P5) 300 g kalsit	11,67bc	21,11b
(P6) 600 g kalsit	15,00cde	23,22bd
(P7) 900 g kalsit	17,78de	26,72cd
(P8) 1200 g kalsit	19,00e	22,56bc
BNJ 5%	3,69	4,23
KK (%)	9,52	6,41

Keterangan: Bilangan yang didampingi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ $p = 5\%$; hst : hari setelah tanam.

2. Jumlah Biji per Malai

Hasil analisis ragam pada Lampiran 16 menunjukkan rerata jumlah spikelet per malai pada umur 84 dan 98 hst berbeda nyata dengan pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit (Tabel 11). Hasil pengamatan rerata jumlah spikelet per malai pada umur 84 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan P0 dan P3 memiliki rerata jumlah spikelet per malai yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P3, P5 dan P7 memiliki rerata jumlah spikelet per malai yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P4, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah spikelet per malai yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 1200 g dolomit (P4), 600 g kalsit (P6) dan 1200 g kalsit (P8) memiliki rerata jumlah spikelet per malai yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0) dan 600 g dolomit (P2). perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2) memiliki rerata jumlah spikelet per malai yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0).

Hasil pengamatan rerata jumlah biji per malai pada umur 98 hst menunjukkan bahwa pada perlakuan pemberian 1200 g dolomit (P8) memiliki rerata jumlah biji per malai terbesar jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

Perlakuan P8 mampu meningkatkan jumlah biji per malai sebesar 53,85% jika dibandingkan dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0).

Tabel 10. Rerata Jumlah Biji per Malai Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Jumlah Biji per Malai	
	84 hst	98 hst
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	14,99a	19,76a
(P1) 300 g dolomit	25,93cd	22,93b
(P2) 600 g dolomit	28,68d	23,32b
(P3) 900 g dolomit	16,73ab	24,00b
(P4) 1200 g dolomit	22,81c	26,53c
(P5) 300 g kalsit	21,42bc	20,12a
(P6) 600 g kalsit	22,46c	20,10a
(P7) 900 g kalsit	21,68bc	23,94b
(P8) 1200 g kalsit	21,97c	30,40d
bnj 5%	4,93	2,00
kk (%)	7,77	2,93

Keterangan: Bilangan yang didampangi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%; hst : hari setelah tanam.

3. Panjang Malai per Rumpun

Hasil analisis ragam pada Lampiran 16 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap panjang malai per rumpun (Tabel 12).

Tabel 11. Rerata Panjang Malai per Rumpun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Panjang Malai per Rumpun (cm)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	9,70a
(P1) 300 g dolomit	10,50ab
(P2) 600 g dolomit	11,17b
(P3) 900 g dolomit	10,03ab
(P4) 1200 g dolomit	10,51ab
(P5) 300 g kalsit	10,55ab
(P6) 600 g kalsit	10,83ab
(P7) 900 g kalsit	10,47ab
(P8) 1200 g kalsit	10,75ab
BNJ 5%	1,34
KK (%)	4,38

Keterangan: Bilangan yang didampangi oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ p = 5%.

Hasil pengamatan panjang malai per rumpun menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3, P4, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata panjang malai per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 dan P8 memiliki rerata panjang malai per rumpun yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan pemberian 600 g dolomit (P2) memiliki rerata panjang malai per rumpun yang berbeda nyata dengan perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (P0).

4. Jumlah Biji per Rumpun

Hasil analisis ragam pada Lampiran 16 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap jumlah biji per rumpun (Tabel 13).

Tabel 12. Rerata Jumlah Biji per Rumpun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit pada Tanaman Gandum.

Perlakuan	Jumlah Biji per Rumpun (Bulir)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	742,0a
(P1) 300 g dolomit	765,0a
(P2) 600 g dolomit	764,5a
(P3) 900 g dolomit	828,0ab
(P4) 1200 g dolomit	1029,0c
(P5) 300 g kalsit	785,0a
(P6) 600 g kalsit	809,3ab
(P7) 900 g kalsit	981,0bc
(P8) 1200 g kalsit	1377,5c
BNJ 5%	179,13
KK (%)	6,87

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%.

Hasil pengamatan rerata jumlah biji per rumpun menunjukkan bahwa pada perlakuan P0, P1, P3, P5 dan P6 memiliki rerata jumlah biji per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P3, P6 dan P7 juga memiliki rerata jumlah biji per rumpun yang tidak berbeda nyata. Perlakuan P4, P7 dan P8 memiliki rerata jumlah biji per rumpun yang tidak berbeda nyata sedangkan perlakuan 1200g dolomit (P4) dan 1200g kalsit (P8) memiliki jumlah biji per rumpun yang berbeda nyata dengan P0, P1, P2 dan P5. P4 dan P8 memiliki rerata jumlah biji per rumpun 38,68% dan 85,64% lebih banyak jika dibandingkan dengan rerata jumlah biji per rumpun perlakuan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

5. Bobot 100 Biji

Hasil analisis ragam pada Lampiran 16 menunjukkan bahwa pemberian berbagai dosis dolomit dan kalsit menghasilkan pengaruh yang nyata terhadap bobot 100 biji (Tabel 14).

Tabel 13. Rerata Bobot 100 Biji per Rumpun Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit

Perlakuan	Bobot 100 Biji (g)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	3,43cd
(P1) 300 g dolomit	3,47cd
(P2) 600 g dolomit	4,98e
(P3) 900 g dolomit	3,28abc
(P4) 1200 g dolomit	2,51ab
(P5) 300 g kalsit	3,73cd
(P6) 600 g kalsit	3,84d
(P7) 900 g kalsit	3,04abc
(P8) 1200 g kalsit	2,02a
BNJ 5%	1,04
KK (%)	8,11

Keterangan : Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNJ 5%.

Hasil pengamatan rerata bobot 100 biji menunjukkan bahwa pemberian dolomit 600 g (P2) adalah perlakuan yang memiliki rerata bobot 100 biji tertinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. P2 mampu meningkatkan bobot 100 biji sebesar 45,2% jika dibandingkan dengan P0 (tanpa pemberian dolomit dan kalsit).

6. Kandungan Boron (B)

Berdasarkan dari hasil uji media tanam di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Lampiran 8 menunjukkan bahwa kandungan boron di daun menurun mengikuti peningkatan pH yang disebabkan oleh pemberian dosis dolomit dan kalsit yang berbeda (Tabel 15).

Tabel 14. pH Media dan Kandungan Boron di Daun Tanaman Gandum Akibat Pemberian Dolomit dan Kalsit.

Perlakuan	pH	Kandungan Boron (ppm)
(P0) tanpa dolomit dan kalsit	6,4	526
(P1) 300 g dolomit	6,8	515
(P2) 600 g dolomit	7,2	366
(P3) 900 g dolomit	7,6	320
(P4) 1200 g dolomit	8,0	298
(P5) 300 g kalsit	6,8	520
(P6) 600 g kalsit	7,2	511
(P7) 900 g kalsit	7,6	481
(P8) 1200 g kalsit	8,0	435

Sumber: Laboratoium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya (2019)

4.2 Pembahasan

Salah satu tindakan intensifikasi budidaya gandum adalah mengatur pemberian nutrisi yang cukup termasuk unsur hara mikro. Berdasarkan hasil uji laboratorium tanah awal, boron yang terkandung di dalam tanah yakni sebanyak 5,65 ppm (Lampiran 6). Menurut Soil factsheet (2015) kandungan boron lebih dari 1 ppm di dalam tanah termasuk dalam kategori sangat tinggi (toksisitas). Langkah yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman pada lahan toksisitas boron yaitu menurunkan serapan boron oleh tanaman dengan pengapuran. Serapan boron dapat dilihat dari kandungan boron tanaman. Hasil uji kandungan boron pada daun bendera (Lampiran 8) diketahui bahwa pemberian dolomit dan kalsit sebanyak 1200 g per polibag memiliki kandungan boron sebesar 298 ppm dan 435 ppm sedangkan pada perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit memiliki kandungan boron sebesar 526 ppm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian dolomit dan kalsit mampu menurunkan serapan boron oleh tanaman. Hasil analisis sejalan dengan pendapat Subandi dan Wijanarko (2013) yang menyatakan bahwa salah satu upaya untuk menurunkan toksisitas unsur mikro seperti boron adalah dengan cara melakukan pengkapuran.

4.2.1 Komponen Pertumbuhan

Penelitian menunjukkan bahwa pemberian kapur (dolomit dan kalsit) mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif gandum pada seluruh karakter komponen pertumbuhan dan mempercepat waktu muncul malai. Pemberian dolomit dan kalsit tidak memberikan efek secara langsung terhadap peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman namun mempengaruhi pH tanah sehingga

mempengaruhi tingkat ketersediaan dan serapan unsur hara termasuk menurunkan serapan boron (Lampiran 8). Hal ini sesuai dengan pendapat Marschner (2012) yang menyatakan bahwa penurunan serapan boron diakibatkan oleh adanya penambahan kalsium (Ca) ke dalam tanah akan mengubah asam borat menjadi tetrahedral borat anion sehingga tidak bisa diserap oleh tanaman akibat pengikatan satu ion OH⁻ dari air oleh asam borat ketika pH larutan meningkat.

Karakter panjang tanaman menunjukkan bahwa perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (kandungan boron tertinggi, Lampiran 8) memiliki panjang tanaman terpendek. Hal ini dikarenakan tanaman yang tumbuh dalam kondisi stres boron mengalami peningkatan asam amino terlarut. Peningkatan asam amino terlarut merupakan bentuk pertahanan tanaman pada lingkungan tumbuh yang tercekam. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian dari El-shazoly *et al* (2019) bahwa ada korelasi positif antara akumulasi asam amino dan karbohidrat terlarut dengan konsentrasi B di *shoot* namun berkorelasi negatif dengan biomasa. Hal ini terbukti oleh adanya peningkatan asam amino dan karbohidrat terlarut secara signifikan pada peningkatan toksisitas B di *shoot*. Sintesis protein dan karbohidrat pada tanaman gandum untuk pertumbuhan dialihkan lebih banyak untuk osmoregulasi dengan tujuan pertahanan dalam kondisi tercekam. Didukung juga oleh hasil penelitian dari Barunawati *et al* (2016) yang menunjukkan bahwa dibawah kondisi tercekam seperti cekaman kekeringan gandum akan memproduksi prolin sebagai asam amino di iringi dengan penurunan konsentrasi nitrogen dalam tanaman.

Pemberian kalsit 600 g (pH= 7,2) dapat meningkatkan panjang tanaman sebesar 11,31% dari tanpa pemberian dolomit dan kalsit. Peningkatan panjang tanaman disebabkan oleh kandungan kalsium dalam dolomit dan kalsit mampu menurunkan toksisitas boron di dalam tanaman melalui penyeimbangan kation dan anion (osmoregulator). Hal ini sesuai dengan pendapat Marschner (2012) yang menyatakan bahwa Ca di dalam vakuola dapat berkontribusi dalam penyeimbang kation-anion. Peran kalsium sebagai osmoregulator erat kaitannya dengan keterlibatan kalsium sebagai pemberi pesan kedua setelah menerima sinyal dari lingkungan maupun perkembangan tanaman. Fungsi Ca sebagai pemberi sinyal kedua berkaitan dengan konsentrasi kalsium yang rendah di dalam

sitosol dan pembentukan ikatan kalsium dengan protein. Sinyal dari lingkungan dan perkembangan dapat mengaktifkan saluran Ca^{2+} pada membran sel yang mengkatalis percepatan aliran Ca^{2+} menuju sitosol sehingga konsentrasi Ca^{2+} di sitosol meningkat. Sinyal dari lingkungan dapat berupa intensitas cahaya dan panjang hari, suhu ekstrim, kekeringan, stres osmosis, salinitas, stres aluminium, stres oksidatif, nodulasi dan serangan oleh patogen.

Karakter rerata jumlah anakan menunjukkan bahwa perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit (kandungan boron tertinggi, lampiran 8) memiliki rerata jumlah anakan terkecil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Metwally *et al* (2017) bahwa toksisitas B pada 3 mg dan 6 mg B kg^{-1} dalam tanah menyebabkan penurunan jumlah anakan 84-92 %. Sebaliknya, pemberian kalsit 600 g ($\text{pH} = 7,2$) dapat meningkatkan rerata jumlah anakan sebesar 41,68% dari tanpa pemberian dolomit dan kalsit. Hal ini dikarenakan selain mampu menurunkan efek negatif dari toksisitas boron, kalsium juga mampu memacu kembali pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui peningkatan Ca^{2+} dalam sitosol. Sebagai contoh adalah pada penelitian yang dilakukan oleh Marschner (2012) menunjukkan bahwa Ca^{2+} - *dependent protein kinases* (CDPKs) mengimplementasikan sinyal dari Ca^{2+} sitosol melalui fosforilasi untuk berbagai macam jenis protein yang memiliki peranan dalam memperbaiki proses sekresi, pemanjangan batang dan respon tanaman terhadap salinitas dan kekeringan.

Hasil penelitian menunjukkan serapan boron yang tinggi menyebabkan penurunan rerata jumlah daun (Tabel 3) dan indeks klorofil (Tabel 5). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Metwally *et al* (2017) yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi B sebesar 1 mg B Kg^{-1} menunjukkan gejala toksisitas B yang terlihat pertama kali berupa klorosis pada daun tua menuju daun muda. Klorosis pada tanaman yang mengalami toksisitas boron disebabkan stres oksidatif. Peningkatan produksi H_2O_2 (ROS) merupakan sinyal dari tanaman sebagai tanda adanya stres oksidatif (Pie *et al.*, 2000). Stres oksidatif menyebabkan penurunan kandungan klorofil yang disebabkan oleh oksidasi klorofil dan membran kloroplas sehingga menyebabkan kerusakan struktural dari thilakoid dan pertumbuhan abnormal dari jaringan parenkim. Penurunan

kandungan klorofil ini yang menyebabkan laju fotosintesis menurun (Papadakis *et al.*, 2004).

Karakter rerata jumlah daun dan indeks klorofil menunjukkan bahwa pemberian dolomit 600 g (pH= 7,2) dapat meningkatkan rerata jumlah daun dan indeks klorofil sebesar 126,61 % dan 29,43 % jika dibandingkan dengan tanpa pemberian dolomit dan kalsit. Peningkatan rerata jumlah daun dan indeks klorofil selain disebabkan oleh kalsium sebagai penyeimbangan kation dan anion (osmoregulator) juga disebabkan oleh penambahan magnesium (Mg) ke dalam tanah. Penambahan magnesium mampu meningkatkan kandungan klorofil karena Mg merupakan ion pusat dari struktur klorofil. Hal ini didukung oleh pendapat dari Marschner (2012) yang menyatakan bahwa interaksi Mg dengan protein dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu: 1) Mg berikatan secara langsung dengan protein atau enzim dan menentukan struktur atau sebagai katalitik seperti atom sentral dari molekul klorofil atau elemen penyangga untuk agregasi ribosom. 2) Mg dapat berikatan dengan substrat dari enzim sehingga dapat meningkatkan efisiensi reaksi katalitik seperti Mg-ATP fosforilasi.

Karakter waktu muncul malai menunjukkan hasil bahwa pemberian kalsit sebanyak 1200 g mengalami kemunculan malai 17 hari lebih cepat dari pada tanpa pemberian dolomit dan kalsit yaitu pada 60 hst. Waktu muncul malai yang lebih cepat disebabkan pada pemberian 1200 g dolomit memiliki kandungan boron mendekati optimum sehingga boron dapat berfungsi optimum pula. Hal ini sesuai dengan pendapat Furlani *et al* (2003) bahwa titik kritis toksisitas boron bervariasi tergantung dari varietasnya yaitu berkisar 44-318 ppm didukung oleh Marschner (2012) konsentrasi boron pada daun tanaman gandum sebesar 100-270 ppm merupakan titik kritis toksisitas. Kondisi yang optimum boron dapat memacu pembentukan organ reproduktif seperti produksi bunga, produksi polen dan viabilitas polen.

Hasil penelitian menunjukkan serapan boron yang tinggi menyebabkan pertumbuhan akar terhambat yang dapat dilihat dari karakter panjang akar (Tabel 7) dan rerata jumlah akar (Tabel 8). Pertumbuhan akar terhambat karena toksisitas boron memacu proses lignifikasi sehingga pembelahan sel terhenti. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Naz *et al* (2018) yang menunjukkan bahwa toksisitas b

menyebabkan menurunnya pertumbuhan *shoot* dan *root*. Pertumbuhan akar menurun disebabkan oleh pembelahan sel abnormal pada meristem akar. Hasil penelitian Naz *et al* (2018) didukung pula oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh El-shazoly *et al* (2019) bahwa pada akar tanaman tembakau ditemukan peningkatan suberin dan lignin dengan adanya peningkatan B yang menyebabkan pengerasan dinding sel sehingga berakibat pada pertumbuhan yang terhenti. Sebaliknya pemberian dolomit 600 g (pH= 7,2) merupakan perlakuan yang memiliki panjang akar dan rerata jumlah akar terbesar. Pemberian dolomit 600 g mampu meningkatkan panjang akar dan rerata jumlah akar sebesar 113,36% dan 73,21% dari tanpa pemberian dolomit dan kalsit. Peningkatan pertumbuhan akar disebabkan oleh menurunnya tingkat toksisitas boron sehingga boron dapat berfungsi dengan baik. Hal ini didukung oleh pendapat dari Marschner (2012) yang menyatakan bahwa boron di dalam tanaman bisa berperan sebagai kompleks enzim atau sebagai aktivator dan atom struktural dari dinding sel.

Pemberian dolomit sebesar 300 g dapat meningkatkan berat kering brangksan sebesar 105,09%. Peningkatan berat kering brangksan seiring dengan peningkatan rerata jumlah daun per rumpun, panjang tanaman, panjang akar dan rerata jumlah akar. Peningkatan berat kering brangksan dikarenakan adanya penurunan toksisitas boron sehingga menyebabkan peningkatan aktivitas enzim dan fotosintat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Turan *et al* (2018) yang menunjukkan bahwa efek positif dari boron adalah peningkatan aktivitas enzim dan suplai hasil fotosintesis sedangkan efek negatif dari boron adalah kerusakan fisiologi dan protoplasma karena fitotoksisitas.

4.2.2 Komponen Hasil

Penelitian menunjukkan bahwa pemberian kapur (dolomit dan kalsit) mampu meningkatkan pertumbuhan generatif tanaman gandum pada seluruh karakter komponen hasil. Serapan boron oleh tanaman gandum akan disimpan pada daun bendera karena sifatnya yang immobile. Saat terjadi senesen boron akan ditranslokasikan kembali melalui floem menuju organ reproduktif.

Translokasi ini menyebabkan boron dapat berperan dalam proses pembentukan tabung polen dan pengisian biji. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Pratama *et al* (2017) menunjukkan bahwa aplikasi boron

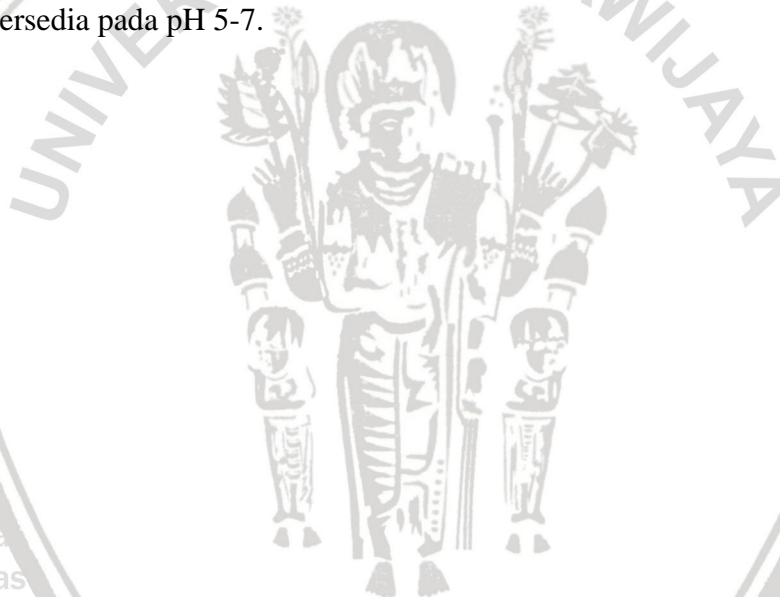
pada dataran tinggi dan medium menunjukkan pengaruh nyata terhadap pengamatan fase generatif dan hasil yang meliputi jumlah bunga per malai, jumlah spikelet per malai, jumlah biji per malai, persentase biji panen dan hasil biji per tanaman. Didukung oleh hasil penelitian Barunawati (2012) yang menunjukkan bahwa akumulasi unsur hara mikro di biji berhubungan dengan lokus *Gpc-B1* pada awal terjadinya penuaan.

Pemberian dolomit dengan dosis sebanyak 600 g mampu meningkatkan rerata pertumbuhan pada karakter panjang malai, jumlah malai per rumpun, jumlah spikelet per malai dan berat 100 biji yaitu sebesar 15,15%, 78,12%, 91,32% dan 19,53% dari tanpa penambahan dolomit dan kalsit. Penurunan toksisitas boron pada fase generatif memiliki dampak positif terhadap produksi tanaman karena pada konsentrasi yang optimum boron mampu menjalankan fungsinya dengan baik seperti dalam pembentukan organ reproduktif, produksi bunga, produksi polen, dan viabilitas polen. Hal ini sesuai dengan pendapat dari Marschner (2012) bahwa B pada tanaman dapat memacu pembentukan organ reproduktif seperti produksi bunga, produksi polen dan viabilitas polen.

Penambahan Ca dan Mg juga mampu menurunkan stres boron tanaman. Hal ini dikarenakan Ca juga mampu memperbaiki metabolisme tanaman setelah mengalami tekanan akibat toksisitas boron dengan adanya ikatan Ca^{2+} -protein maka secara tidak langsung akan mempengaruhi kemampuan tanaman dalam polarisasi sel untuk pembentukan tabung polen. Hal ini sesuai dengan pendapat Marschner (2012) bahwa peningkatan Ca^{2+} dalam sitosol dapat meregulasi proses perkembangan tanaman meliputi pembelahan sel, pemanjangan sel, polarisasi sel setelah fertilisasi dalam pembentukan tabung polen dan rambut akar, perkecambahan, dan senesen. Peningkatan pembentukan tabung polen akibat pemberian dolomit dan kalsit memungkinkan adanya peningkatan kemampuan tanaman dalam pembentukan dan pengisian biji.

Karakter jumlah biji per rumpun menunjukkan pemberian dolomit maupun kalsit sebanyak 1200 g mampu meningkatkan jumlah biji per rumpun sebesar 34,68% dan 85,64% dari perlakuan tanpa pemberian dolomit dan kalsit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah biji per rumpun tidak diikuti dengan peningkatan panjang malai. Hal ini menunjukkan bahwa adanya

perbedaan kerapatan pembentukan biji per malai. Semakin rapat biji yang terbentuk menyebabkan minimnya ruang biji untuk berkembang sehingga pengisian biji tidak berlangsung secara optimum. Selain itu pada pemberian kalsit sebanyak 1200 g (pH=8) umumnya serapan unsur makro mengalami penurunan terutama unsur fosfor (P). Penurunan serapan unsur P menyebabkan laju fotosintesis menurun sehingga fotosintat yang dihasilkan rendah. Hasil fotosintat yang rendah menyebabkan pengisian biji tidak optimal. Hal ini didukung pula dengan hasil pengamatan karakter komponen pertumbuhan yang menunjukkan bahwa pemberian 1200 g kalsit memiliki pertumbuhan tanaman yang rendah. Hal ini sesuai dengan pendapat Marschner (2012) yang menyatakan bahwa umumnya unsur hara makro lebih tersedia pada pH 6,5-8 yang berbeda adalah unsur fosfat (P) lebih tersedia pada pH 5,5-7, sedangkan unsur hara mikro seperti boron (B) lebih tersedia pada pH 5-7.



3. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disampaikan, maka diperoleh kesimpulan pemberian dosis dan jenis kapur (dolomit dan kalsit) berpengaruh terhadap serapan boron dan hasil tanaman gandum. Pemberian 600 g dolomit per polibag menghasilkan rerata jumlah daun, berat kering brangkas, dan bobot 100 biji tertinggi sedangkan pemberian 1200 g kalsit menghasilkan rerata jumlah biji per malai tertinggi.

5.2 SARAN

Pengukuran pH secara berkala selama masa budidaya perlu dilakukan untuk mengetahui ketersediaan unsur hara di dalam tanah sehingga pemupukan yang dilakukan dapat sesuai dengan kebutuhan tanaman dan lebih efisien.



DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, W.K., and J.R. Garlinge. 2000. The Wheat Book. Principles and Practice. The Grains Research and Development Corporation: Western Australia. 26-29 hal.
- Andriani, A., dan M. Isnaini. 2016. Morfologi dan Fase Pertumbuhan Gandum. Balai Penelitian Tanaman Serealia. 1-13 hal.
- Aqil, M., M. Yasin., dan A.H. Talanca. 2016. Kesesuaian Lahan dan Pengelolaan Air pada Tanaman Gandum. Balai Penelitian Tanaman Serealia. 2 hal.
- Arifiyatun, L., A. Maaz dan S.N.H. Utami. 2016. Pengaruh Dosis Pupuk Majemuk Npk + Zn terhadap Pertumbuhan, Produksi, dan Serapan Zn Padi Sawah di Inceptisol, Kebumen. *Planta Tropika J. of Agro Sci.* 4(2) : 101–106.
- Azrai, M., N.N. Andayani., dan A.H. Talanca. 2016. Asal Usul dan Taksonomi Tanaman Gandum. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. IAARD Press. 44-46.
- Balai Penelitian Tanaman Serealia. 2018. Kembangkan Gandum untuk Daerah Tropis. [Http://Www.Litbang.Pertanian.Go.Id/Berita/One/1343/](http://www.litbang.pertanian.go.id/berita/one/1343/). Diakses pada Tanggal 17 November 2018.
- Barman, M., and R.K. Rattan. 2014. Effect of Applied Lime and Boron on The Availability of Nutrients in an Acid Soil. *J. Plant Nutrition.* 37(3). 357-372.
- Barunawati, Nunun. 2012. Iron and Zinc Translocation From Senescent Leaves to Grains of Wheat (*Triticum aestivum* Cv. Akteur) in Response to Nitrogen Fertilization and Citric Acid Application. Dissertation. Martin Luther University. 76.
- Barunawati, Nunun., M.D. Maghfoer., N. Kendarini and N. Aini. 2016. Proline and Specific Root Length as Response to Drought of Wheat Lines (*Triticum aestivum* L.). *Agrivita J. of Agricultural Science.* 38(3) : 300.
- Dey, A., B.S. Dwivedi., M.C. Meena and S.P. Datta. 2013. Adsorption-Desorption of Boron in Major Soils of India. *J. of The Indian Society of Soil Science.* 61(3) : 182.
- Direktorat Budidaya Serealia. 2015. Laporan Tahunan Direktorat Budidaya Serealia. Kementrian Pertanian. 32 hal.
- Djuhariningrum, T., dan Rusmadi. 2004. Penentuan Kalsit dan Dolomit secara Kimia dalam Batu Gamping dari Madura. Pusat Pengembangan Geologi Nuklir-Batan. 334 hal.
- El-Shazoly, R.M., A.A. Metwally and A.M. Hamada. 2019. Salicylic Acid or Thiamin Increases Tolerance to Boron Toxicity Stress in Wheat. *J. of Plant Nutrition.* 42(7):702-722.
- Erythrina dan Z. Zaini. 2016. Dinamika Penelitian Gandum di Indonesia. Balai Penelitian Tanaman Serealia. 2 hal.

- Furlani, A.M.C., C.P. Carvalho., J.G.D. Freistas., and M.F. Verdia. 2003. Wheat Cultivar Tolerance to Boron Deficiency and Toxicity in Nutrient Solution. *Scientia Agricola*. 60(2) : 369.
- Hayes, J.E and R.J. Reid. 2004. Boron Tolerance in Barley is Mediated by Efflux of Boron from The Roots. *J. Plant physiology*. 136. 3379.
- Herdiani, E. 2018. Budidaya Gandum di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Lembang. [Http://Www.Bbpp-Lembang.Info/Index.Php/Arsip/Artikel/Artikel-Pertanian/1011-Budidaya-Gandum-Di-Indonesia](http://www.bbpp-lembang.info/index.php/arsip/artikel/artikel-pertanian/1011-budidaya-gandum-di-indonesia). Diakses pada 10 Februari 2018.
- Khadka, D. 2016. The Relationship Between Soil pH and Micronutrients, Western Nepal. *International J. of Agriculture Innovations and Research*. 4(5) : 3.
- Khusrizal. 2015. Kontribusi Macam Bahan Organik dan Kalsit Terhadap Perubahan Kadar Besi dan Mangan dalam Tanah serta Serapannya oleh Jagung pada Inceptisol Aceh Utara. *J. Pertanian Tropik*. 2(2) : 124- 131.
- Koohkan, H., and M. Maftoun (2014). Effect of Nitrogen on The Alleviation of Boron Toxicity in Rice (*Oryza Sativa*L.). *J. of Plant Nutrition*. 38(9): 9.
- Liu, C., W, Lu., Q. Ma and C. Ma. 2017. Effect of Silicon on the Alleviation of Boron Toxicity in Wheat Growth, Boron Accumulation, Photosynthesis Activities, and Oxidative Responses. *J. of Plant Nutrition*. 40(17): 3-6.
- Marschner, P. 2012. *Mineral Nutrition of Hight Plant*. 3rd Edition. Elsevier: Australia. 135-243 hal
- Mccauley, A., C. Jones., and K.O. Rutz. 2017. Soil pH and Organic Matter. *Monata State University: Amerika*. 2-16 hal.
- Metwally, A. M., M. Rasha., El-Shazoly and M. Afaf., Hamada. 2017. Physiological Responses to Excess Boron in Wheat Cultivars. *European J. of Biological Research*. 7(1): 1-8.
- Muyassir, Sufardi dan I. Saputra. 2012. Perubahan Sifat Fisika Inceptisol Akibat Perbedaan Jenis dan Dosis Pupuk Organik. *Lentera*. 12(1) : 1 – 8.
- Nariratih, I., M.M.B. Damanik., dan G. Sitanggang. 2013. Ketersediaan Nitrogen pada Tiga Jenis Tanah Akibat Pemberian Tiga Kapur dan Serapannya pada Tanaman Jagung. *J. Online Agroekoteknologi*. 1(3) : 480.
- Naz, Tayyaba., J. Akhtar., M. Anwar-Ul-Haq., M. Saqib., M.M. Iqbal and M. Shahid. 2018. Interaction of Salinity and Boron in Wheat Affects Physiological Attributes, Growth and Activity of Antioxidant Enzymes. *Pak. J. Agri. Sci*. 55(2):2.
- Pei, Z.M., Y. Murata, G. Benning., S. Thomine., B. Klusener., G.J. Allen., E. Grill and J.I. Schroeder. 2000. Calcium Channels Activated by Hydrogen Peroxide Mediate Abscisic Acid Signalling in Guard Cells. *Nature*. 406 (6797) : 731–4.
- Pratama, F.F., E. Nihayati dan N. Barunawati. 2017. Pengaruh Ketinggian Tempat dan Aplikasi Boron Terhadap Fertilitas Polen dan Hasil Gandum (*Triticum aestivum* L.). *J. Produksi Tanaman*. 5(2): 314.

- Pusat Data Statistik Nasional. 2016. Statistik Pertanian. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 337 hal.
- Saha, A., P.K. Mani., G.C. Hazra., and T. Mitran. 2017. Assessing Suitability of Different Extractants for Determining Available Boron in Soil. *J. of Plant Nutrition*. 40(19). 10.
- Sembiring H., Hasnul dan Diana. 2016. Kebijakan Pengembangan Gandum di Indonesia. Jakarta: IAARD. 1- 15.
- Sheng, O., G. Zou., Q. Wei., S. Peng., and X. Deng. 2010. Effects of Excess Boron on Growth, Gas Exchange, and Boron Status of Four Orange Scion–Rootstock Combinations. *J. Plant Nutrition. Soil Sci.* 173(1). 469-476.
- Silahturrohmah, Siti., M. Roviq dan N. Barunawati. 2019. Meningkatkan Hasil Tanaman Gandum (*Triticum aestivum* L.) Varietas Dewata Melalui Pemberian Bahan Organik dan ZnSO₄. *Plantropica J. of Agricultural Science*. 4(2):177-183.
- Soil Factsheet. 2015. Boron for Field Crops. Ministry of Agriculture: Columbia. 2 hal.
- Subandi dan A. Wijanarko. 2013. Pengaruh Teknik Pemberian Kapur Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai pada Lahan Kering Masam. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 32(3) : 172.
- Syukur, A. 2002. Pengaruh Penggenangan Fraksi-Fraksi Fe, Mn, Zn, dan Cu pada Entisol. *J. Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 3(1) : 18 – 23.
- Tanaka, H. 1967. Boron Adsorption by Plant Root. *Plant and Soil*. 27(2) : 2.
- Thorup-Kristensen., M.S. Cortasa, and R. Loges. 2009. Winter Wheat Roots Grow Twice as Deep as Spring Wheat Roots, is This Important for N Uptake and N Leaching Losses. *Plant Soil*. 322(1). 101-114.
- Turan, M. A., N. Taban., and S. Taban. 2009. Effect of Calcium on The Alleviation of Boron Toxicity and Localization of Boron and Calcium in Cell Wall of Wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 37(2) : 100.
- Turan, Murat Ali., S. Taban., G.B. Kayin and N. Taban. 2018. Effect of Boron Application on Calcium and Boron Concentrations in Cell Wall of Durum (*Triticum Durum*) and Bread (*Triticum Aestivum*) Wheat. *J. of Plant Nutrition*. 41(11):4.