

Keragaan Morfo-Fisiologi *Phaseolus* spp. yang Ditanam Pada Ketinggian Tempat yang Berbeda (*Morpho-Physiological Performance Phaseolus* spp. on Different Altitudes)

Delfi Trisnawati¹⁾, Triadiati²⁾ dan Nisa Rachmania Mubarik²⁾

¹⁾Program Studi Biologi Tumbuhan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

²⁾Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga,
Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680
E-mail: delfi.trisnawati@gmail.com

Diterima: 9 Agustus 2016; direvisi: 23 Mei 2018; disetujui: 29 Juni 2018

ABSTRAK. Permintaan masyarakat di Indonesia terhadap tanaman *legumes* meningkat setiap tahunnya, namun produksi *legumes* di Indonesia belum dapat mencukupi kebutuhan konsumen. Pertumbuhan tanaman *legume* dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti ketinggian tempat, suhu, intensitas cahaya matahari, dan kelembapan. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis dan mengevaluasi keragaan morfo-fisiologi *Phaseolus* spp. yang ditanam pada dua ketinggian tempat yang berbeda. Empat jenis *legumes* yang digunakan adalah Jackson Wonder Bean (JWB - *Phaseolus lunatus*), Christmas Bean (CHB - *P. lunatus*), Cranberry Bean (CRB - *P. vulgaris*), dan White Kidney Bean (WKB - *P. vulgaris*). Empat macam kacang tersebut ditanam pada ketinggian tempat 1.100 m dpl. (lokasi I) dan pada ketinggian 250 m dpl. (lokasi II). Peubah fisiologi dipengaruhi oleh lokasi penelitian, sedangkan peubah morfologi dipengaruhi oleh interaksi antara ketinggian tempat dan jenis kacang. Perbedaan kondisi lingkungan memengaruhi habitus JWB (*P. vulgaris*). CHB (*P. lunatus*) menghasilkan jumlah polong tertinggi pada ketinggian tempat 1.100 m dpl., yaitu 25,7 polong diikuti dengan BB 100 biji, yaitu 158,3 g. Implikasi penelitian ini adalah pembudidayaan tanaman *legumes* atau kacang minor pada dua lokasi yang berbeda berdasarkan ketinggian tempat untuk mendapatkan kondisi lingkungan yang sesuai agar pertumbuhan dan produksinya optimal.

Kata kunci: *Phaseolus lunatus*; *Phaseolus vulgaris*; Bintil akar; Konduktansi stomata; Laju fotosintesis

ABSTRACT. The demand of legumes in Indonesia is increasing every year. The growth performance of legumes is influenced by environmental factors such as altitude land, temperature, light intensity, and air humidity. The aims of this study were to analyze and evaluate the morpho-physiological performance of legumes (*Phaseolus* spp.) grown in two different altitudes. Four genotypes of bean used in this study were Jackson Wonder Bean (JWB - *P. lunatus*), Christmas Bean (CHB - *P. lunatus*), Cranberry Bean (CRB - *P. vulgaris*), and White Kidney Bean (WKB - *P. vulgaris*). The four species of beans were grown at 1,100 m asl. (location I) and 250 m asl. (location II). The physiological parameters were influenced by location, meanwhile the morphological parameter was affected by the interaction between the altitude and type of beans. The differences on environmental condition in both field affected the habits of WKB (*P. vulgaris*). The CHB (*P. lunatus*) bean produced the highest number of pods at altitude of 1,100 m asl followed by wet weight of 100 seeds is 25.7 and 158.3. The implication of this research is the cultivation of beans minor at two different locations based on the altitude to get the appropriate environmental conditions to be optimal growth and production.

Keywords: *Phaseolus lunatus*; *Phaseolus vulgaris*; Nodule; Photosynthetic rate; Stomatal conductance

Tanaman hortikultura memiliki prospek pengembangan yang baik karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan potensi pasar yang terbuka lebar, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Pengelolaan dan pengembangan hortikultura memiliki ketentuan umum yang tercantum pada Undang-Undang No. 13 Tahun 2010 tentang hortikultura. Ketentuan tersebut menyatakan bahwa tanaman hortikultura sebagai kekayaan hayati yang merupakan salah satu kekayaan sumber daya alam Indonesia yang sangat penting sebagai sumber pangan yang bergizi, bahan obat nabati, dan estetika yang bermanfaat dan berperan besar dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat sehingga tanaman hortikultura perlu dikelola dan dikembangkan secara efisien dan berkelanjutan (Liu & Madiono 2013).

Tanaman legumes termasuk tanaman hortikultura yang umumnya dibudidayakan secara intensif di dataran tinggi. Tanaman ini memiliki sumber protein nabati dan mempunyai kandungan gizi yang tinggi serta indeks glikemik (IG) yang rendah (Dwivedi et al. 2015). Tanaman *Legumes* juga dapat membantu menyuburkan tanah melalui kemampuannya dalam bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* untuk memenuhi kebutuhan nitrogennya. Simbiosis antara bakteri *Rhizobium* dan tanaman legumes merupakan simbiosis mutualisme, *Rhizobium* menyediakan nitrogen bagi tanaman *legumes*, sedangkan tanaman *legumes* akan memberikan ATP dan karbon bagi perkembangan *Rhizobium* (Dwivedi et al. 2015).

Permintaan masyarakat di Indonesia terhadap *legumes* meningkat setiap tahunnya. Walaupun

produksi *legumes* di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, tetapi kebutuhan konsumen masih belum dapat tercukupi (Soegianto, Sugiharto & Purnamaningsih 2013). Untuk memenuhi kebutuhan konsumen, perlu adanya usaha pembudidayaan tanaman *legumes* dengan memanfaatkan sumberdaya lokal yang ada, guna mengembangkan kacang yang produktif.

Simbiosis tanaman *legumes* dengan *Rhizobium* merupakan sistem yang efisien dalam menambat nitrogen dari udara sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk, khususnya pupuk nitrogen (Jensen *et al.* 2012). Tanaman *legumes* mampu beradaptasi pada ketinggian tempat yang rendah (<1.000 m dpl.) hingga pada ketinggian tempat yang tinggi (>1.000 m dpl.), tetapi tidak mampu beradaptasi pada lingkungan yang ekstrem, seperti curah hujan yang rendah, suhu tinggi, dan pH tanah yang rendah (Beebe 2011). Namun demikian, setiap jenis kacang memiliki respon yang berbeda dalam menghadapi kondisi lingkungan.

Kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembapan udara, dan suhu merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman kacang khususnya untuk karakteristik morfologi dan fisiologinya (Broughton 2003). Madhu & Hatfield (2015) menyatakan bahwa intensitas cahaya yang tinggi dapat merangsang pembukaan stomata dan meningkatkan konsentrasi CO₂ interseluler di daun sehingga dapat meningkatkan laju fotosintesis. Namun, jika intensitas cahaya matahari melebihi batas optimal maka mengakibatkan kelembapan udara rendah, dan transpirasi tinggi sehingga dapat menurunkan laju fotosintesis. Transpirasi pada tanaman sangat erat hubungannya dengan penyerapan unsur hara dari dalam tanah. Apabila transpirasi cepat, penyerapan unsur hara juga akan cepat (Hopkins & Huner 2008). Selain itu, suhu tinggi juga dapat menurunkan laju fotosintesis karena berkurangnya protein terlarut (RuBP) sehingga mengakibatkan Rubisco dalam mengikat CO₂ dan (RuBP) rendah (Hasanuzzaman *et al.* 2013).

Tanaman *legumes* lokal atau disebut juga dengan kacang minor telah banyak dikembangkan oleh petani di Indonesia. Potensi kacang minor ini belum sepenuhnya dieksplorasi dalam upaya mewujudkan pertanian berkelanjutan dan untuk memenuhi pasokan sayuran sepanjang tahun (Adiyoga, Ameriana & Soetiarso 2008). Petani seringkali tidak mempunyai pilihan selain menggunakan kultivar yang ditawarkan oleh lembaga pertanian. Padahal keberadaan kacang minor ini mulai terancam karena digantikan oleh berbagai spesies hasil budidaya. Kondisi tersebut mendorong perlunya usaha peningkatan produktivitas kacang-kacangan melalui budidaya pertanian dengan mengoptimalkan sumberdaya lokal yang ada.

Kacang tujuh daun atau *Jackson Wonder Bean* (JWB - *Phaseolus lunatus*), kacang paga *Christmas Bean* (CHB - *Phaseolus lunatus*), kacang merah atau *Cranberry Bean* (CRB - *Phaseolus vulgaris*), dan kacang putih atau *White Kidney Bean* (WKB - *Phaseolus vulgaris*) telah dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat Indonesia, termasuk oleh masyarakat di Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Polong muda (*pole beans*) empat macam kacang tersebut dimanfaatkan sebagai sayur, gulai, dan tambahan rendang. Selain itu air daun kacang tujuh daun JWB (*P. lunatus*) berkhasiat untuk menyembuhkan berbagai macam penyakit seperti reumatik, demam, masuk angin dan memperkuat imunitas. Walaupun telah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat, namun tanaman kacang-kacangan ini belum dibudidayakan secara luas oleh petani setempat karena ketidakpastian produksi. Selain itu belum banyak informasi yang diketahui terkait kondisi lingkungan yang sesuai dengan pertumbuhan kacang-kacangan tersebut. Berdasarkan masalah di atas maka perlu dilakukan penelitian seleksi kacang minor terhadap lingkungan tertentu untuk mendapatkan kondisi lingkungan yang sesuai dengan jenis kacang minor yang diamati dengan menganalisis morfo-fisiologinya.

Penelitian bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi keragaan morfo-fisiologi kacang-kacangan (*Phaseolus spp.*) minor yang ditanam pada dua ketinggian tempat yang berbeda. Untuk mengarahkan jalannya penelitian maka diajukan hipotesis bahwa ketinggian tempat yang berbeda memengaruhi morfo-fisiologi tanaman kacang minor.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2014 - Juni 2015. Berdasarkan perbedaan bentuk dan warna biji, jenis kacang minor yang diteliti dibagi menjadi empat macam, yaitu: (1) kacang tujuh daun atau JWB (*P. lunatus*) bentuk biji bundar dengan warna berbintik cokelat, (2) kacang paga atau CHB (*P. lunatus*) bentuk biji seperti ginjal dengan warna merah berbintik hijau, (3) kacang merah atau CRB (*P. vulgaris*) bentuk biji lonjong dengan warna merah, dan (4) kacang putih atau WKB (*P. vulgaris*) bentuk biji lonjong dengan warna putih (Gambar 1) yang diperoleh dari Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Empat macam kacang ditanam pada lokasi I (Pasir Sarongge, Cianjur, 1.100 m dpl.) dan lokasi II (Sindang Barang, Bogor, 250 m dpl.).

Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan berdasarkan rancangan petak terbagi (*split plot*), dengan lokasi penanaman sebagai petak utama (*main plot*), terdiri atas lokasi I di dataran tinggi (1.100 m dpl.) dan lokasi II di dataran rendah (250 m dpl.). Empat macam kacang sebagai anak petak (*subplot*). Masing-masing anak petak diulang sebanyak tiga ulangan sehingga terdapat delapan kombinasi perlakuan dengan total unit percobaan sebanyak 24 petak percobaan. Jumlah tanaman pada setiap petak percobaan berjumlah 20 tanaman.

Persiapan Lahan dan Pemeliharaan Tanaman

Lahan yang akan ditanami dibersihkan terlebih dahulu, kemudian dibuat petak percobaan berukuran 2 m x 3 m, selanjutnya diberikan pupuk kandang berupa kotoran kambing dengan dosis 15 ton/ha (Hadi *et al.* 2015). Sebanyak tiga benih per lubang ditanam dengan jarak 40 cm x 50 cm. Pada umur 3 minggu, tanaman diberi pupuk NPK dengan dosis Urea 75 kg/ ha, SP-36 100 kg/ ha, dan KCl 100 kg/ ha (Kurniadi, Yetti & Hasna Anom 2013). Tanaman disiram sebanyak dua kali sehari, yaitu pagi dan sore, kecuali apabila hujan. Penyiangan tanaman dilakukan setiap bulan. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan pada saat penyemaian biji dengan menaburkan Furadan dan penyemprotan pestisida Decis dilakukan ketika ada serangan hama.

Pengukuran Iklim Mikro di Dua Lokasi Penelitian

Pengukuran iklim mikro menggunakan alat 4 in 1 lutron LM-8000, dilakukan tiga kali pengukuran, yaitu pagi, siang, dan malam hari.

Analisis Kualitas Tanah

Analisis tanah dilakukan sebelum penanaman. Analisis kualitas tanah yang diamati, yaitu tekstur tanah, pH tanah, dan kandungan bahan organik.

Peubah Fisiologi

Pengukuran laju fotosintesis

Peubah fisiologi tanaman berupa konduktansi stomata ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), konsentrasi CO_2 interسلuler ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), laju transpirasi ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), dan laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) diukur menggunakan alat LI-COR 6400XT pada PAR 1.000 mmol m^{-2} . Pengukuran dilakukan mulai pukul 10.00-12.00, dilakukan dua kali pengukuran, yaitu pada fase vegetatif (30 hari setelah tanam/HST) dan fase generatif (90 HST) pada lima tanaman contoh per petak percobaan.

Serapan N Daun

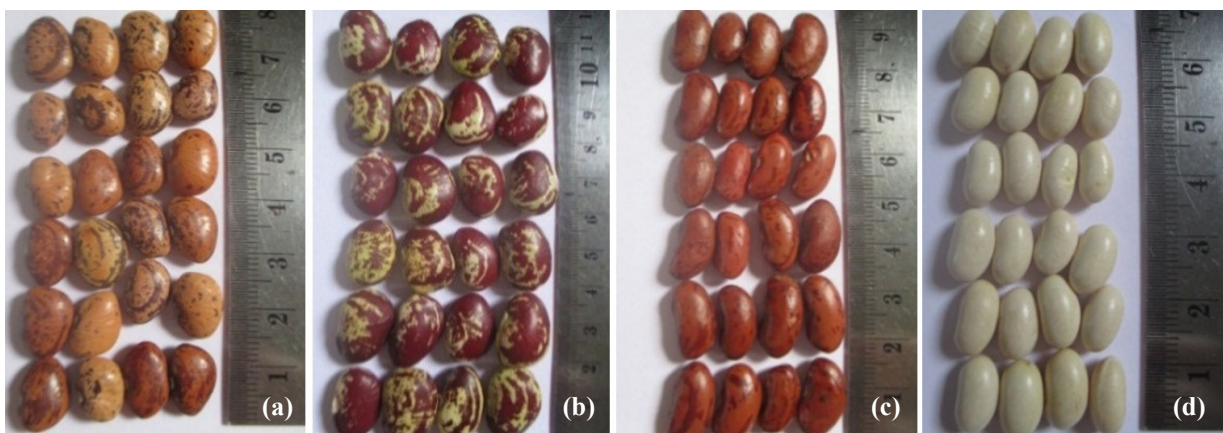
Serapan N daun diamati pada fase vegetatif (30 HST) dengan mengambil daun tanaman pada setiap petak percobaan dan diukur kandungan N total menggunakan metode Kjeldahl (Magomya *et al.* 2014), kemudian dikalikan dengan bobot kering daun/tanaman untuk mendapatkan serapan N daun pada tanaman.

Peubah Morfologi

Peubah morfologi yang diamati adalah tinggi tanaman, lebar, dan panjang daun diukur pada fase vegetatif akhir. Jumlah bintil akar/tanaman, jumlah daun/tanaman, jumlah polong/tanaman, biomassa akar, batang, dan berat 100 biji diukur pada saat panen. Jumlah sampel yang diamati sebanyak lima tanaman per petak percobaan.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan sidik ragam pada taraf uji $\alpha = 5 \%$. Jika terdapat pengaruh antara perlakuan maka dilanjutkan dengan uji Duncan (DMRT) pada level $\alpha = 5 \%$ menggunakan aplikasi *statistical analysis system* (SAS).



Gambar 1. Benih kacang yang digunakan dalam penelitian. (a) JWB (*P. lunatus*), (b) CHB (*P. lunatus*), (c) CRB (*P. vulgaris*) dan (d) WKB (*P. vulgaris*) [Bean seeds used in this study. (a) JWB (*P. lunatus*), (b) CHB (*P. lunatus*), (c) CRB (*P. vulgaris*) and (d) WKB (*P. vulgaris*)]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Pengamatan yang dilakukan di dua lokasi penelitian meliputi peubah lingkungan dan analisis kualitas tanah. Peubah lingkungan yang diukur adalah suhu, intensitas cahaya, kelembapan udara, dan kecepatan angin (Tabel 1). Lokasi I (1.100 m dpl.) memiliki suhu dan kelembapan udara yang lebih rendah dibandingkan lokasi II (250 m dpl.). Sebaliknya, intensitas cahaya dan kecepatan angin di lokasi I lebih tinggi dibandingkan lokasi II (Tabel 1).

Analisis kualitas tanah yang diamati yaitu tekstur tanah, pH tanah, kandungan bahan organik, dan nilai tukar kation (Tabel 2). menurut Hardjowigeno (2010) bahwa berdasarkan kriteria penilaian sifat kimia tanah, pH tanah di lokasi I termasuk rendah, sedangkan di lokasi II sangat rendah. N organik di lokasi I tergolong sedang, sedangkan di lokasi II rendah.

Laju Fotosintesis

Peubah fisiologi yang diamati pada tanaman kacang yang ditanam dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Ketinggian tempat lokasi penelitian memengaruhi peubah fisiologi pada fase vegetatif yang meliputi konduktansi stomata, konsentrasi CO₂ interseluler, laju transpirasi, dan laju fotosintesis (P<0,05). Disisi lain peubah fisiologi saat fase generatif yang meliputi, konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ interseluler tidak dipengaruhi oleh ketinggian tempat (P>0,05). Laju fotosintesis pada lokasi I (1.100 m dpl.) lebih tinggi (P<0,05) dibandingkan dengan lokasi II (250 m dpl.) (Tabel 3).

Konduktansi stomata yang rendah pada fase vegetatif maupun generatif (Tabel 3) disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang tinggi di lokasi I (Tabel 1) sehingga diduga meningkatkan transpirasi dan suhu daun. Bielenberg *et al.* (2003) menyatakan bahwa konduktansi stomata menurun akibat suhu daun yang tinggi dan mengarah pada tingginya laju transpirasi.

Tabel 1. Iklim mikro di dua lokasi penelitian (Oktober 2014 - Juni 2015) (*The micro climate in two different study sites from October 2014-June 2015*)

Lokasi (Location)	Suhu (Temperature), °C	Intensitas cahaya (Light intensity)	Kelembapan udara (Humidity), %	Kec. angin (Wind speed), km/jam
I (1.100 m dpl.)	27,9-30,6 (28,7)	2.736-17.487 (9.658)	53,7-72,2 (64,6)	0,3-2,9 (2,5)
II (250 m dpl.)	28-33,4 (30,8)	5.222-11.124 (8.577)	61,4-74,5 (67,9)	0,8-3,6 (1,6)

Keterangan (Remarks): Angka di dalam kurung menunjukkan nilai rata-rata (*The number in parantheses shows the average value*)

Tabel 2. Analisis tanah pada dua lokasi penelitian (*Soil analysis at two different study sites*)

Lokasi (Location)	Tekstur pH (pH Texture), %			Ekstrak 1:5 (%)				KTK (NH ₄ -Acetat 1N, pH 7), cmol/kg					
	Pasir	Debu	Liat	H ₂ O	KCl	C organik	N	Ca	Mg	K	Na	S	KTK
I (1.100 m dpl.)	53	24	23	5,8	5,2	3,6	0,4	14	1,6	1,9	0,4	18	18
II (250 m dpl.)	30	27	43	5	4	1,6	0,2	5	1,5	0,4	0,1	7	15

Tabel 3. Peubah fisiologi kacang-kacangan yang ditanam pada lokasi yang berbeda di ukur pada fase vegetatif dan generatif pada PAR 1.000 mmol m⁻² (*Physiological parameters of beans grown in two different altitude which were measured on vegetative and generative phase at PAR 1,000 mmol m⁻²*)

Pengukuran fase (Phase measurement)	Lokasi penelitian (Research sites)	Konduktansi stomata (Stomatal conductance) $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Konsentrasi CO ₂ interseluler (Intersellular CO ₂ concentration) $\mu\text{mol CO}_2\text{ mol}^{-1}$	Laju transpirasi (Transpiration rate) $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Laju fotosintesis (Photosynthesis rate) $\mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Vegetatif (Vegetative)	I (1.100 m dpl.)	-0,01 b	2.443,33 a	-0,38 b	16,46 a
	II (250 m dpl.)	0,37 a	177,72 b	0,81 a	3,94 b
Generatif (Generative)	I (1.100 m dpl.)	-0,01 a	2.973,52 a	-0,21 b	14,93 a
	II (250 m dpl.)	-0,75 a	767,65 b	-6,54 a	8,34 b

Keterangan (Remarks): Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama pada fase pertumbuhan yang berbeda menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji $\alpha = 5\%$ (uji selang berganda Duncan) [(*The numbers followed by the same letters in the same column at different growth phases showed no significantly difference at the test level $\alpha = 5\%$ (Duncan's multiple interval test)*)]

Laju fotosintesis tanaman kacang sangat dipengaruhi oleh enzim Rubisco (*ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase-oxygenase*) yang mengikat CO₂, sehingga dapat bereaksi dengan RuBP (*ribulose 1,5-bisphosphate*) membentuk fosfoglisarat (senyawa dengan 3 atom karbon) (Ainsworth & Rogers 2007). Rubisco mengkatalis reaksi karboksilasi maupun oksigenase (Mildaerizanti & Yudono 2012). Sisi aktif Rubisco akan mengikat CO₂ sebelum berikatan dengan senyawa 5 karbon, yaitu RuBP (Parry et al. 2012). Konsentrasi CO₂ interseluler yang tinggi di lokasi I (Tabel 3) kemungkinan menyebabkan pengikatan Rubisco terhadap CO₂ juga tinggi sehingga reaksi karboksilasi meningkat, dengan demikian laju fotosintesis juga meningkat (He et al. 2014).

Kandungan N tanah yang lebih rendah di lokasi II dibanding lokasi I (Tabel 2) juga memengaruhi laju fotosintesis. Kekurangan N memengaruhi pembentukan protein di antaranya RuBP berkurang sehingga jika konsentrasi RuBP rendah maka kemampuan tanaman dalam memfiksasi CO₂ juga rendah dan dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis (Prasad, Allen & Boote 2005).

Serapan N Daun

Serapan N daun pada lokasi I (1.100 m dpl.) lebih tinggi (P<0,05) dibandingkan dengan lokasi II (250 m dpl.) (Tabel 4).

Konsentrasi CO₂ interseluler yang tinggi di lokasi I mengarah pada peningkatan laju fotosintesis (Tabel 3) (Irigoyen et al. 2014). Laju fotosintesis yang tinggi di lokasi I (Tabel 3) berhubungan erat dengan serapan N daun yang tinggi pada tanaman kacang-kacangan (Tabel 4). Hal ini sesuai dengan pernyataan Amir et al. (2015) bahwa serapan N daun yang tinggi dapat meningkatkan laju fotosintesis, selain itu N digunakan oleh tanaman untuk pembentukan klorofil yang berperan dalam fotosintesis. Serapan N daun juga dipengaruhi oleh ketersediaan N di dalam tanah. Kandungan N tanah pada lokasi I lebih tinggi dibandingkan lokasi II (Tabel

Tabel 4. Serapan N daun kacang-kacangan yang ditanam pada dua lokasi yang berbeda (*N uptake of bean leaves grown in two different altitude*)

Lokasi penelitian (<i>Research sites</i>)	Serapan N daun (<i>Uptake</i>)
I (1.100 m dpl.)	3,61 a
II (250 m dpl.)	0,27 a

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji $\alpha = 5\%$ (uji selang berganda Duncan) [(*The numbers followed by the same letters in the same column no significantly difference at the test level $\alpha = 5\%$ (Duncan's multiple interval test)*)]

2) sehingga kemungkinan memengaruhi serapan N pada lokasi I yang tinggi daripada lokasi II. Dwivedi et al. (2015) menyatakan bahwa variasi kandungan N daun dipengaruhi oleh ketersediaan N tanah.

Selain itu, pH tanah juga berpengaruh terhadap serapan N daun, lokasi II memiliki pH tanah lebih rendah dibandingkan lokasi I (Tabel 2). pH tanah memengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman, pada pH tanah yang rendah ketersediaan hara juga rendah (Hardjowigeno 2010). Disamping itu, pH tanah dapat memengaruhi perkembangan bakteri pengikat N yang dapat berkembang dengan baik pada pH lebih dari 5,5 (Hardjowigeno 2010). Hal ini juga sesuai dengan pernyataan (Silahooy 2012) bahwa pH tanah yang rendah (<5,5) dapat menghambat infeksi bakteri *Rhizobium* pada rambut akar. Peran *Rhizobium* sebagai pengikat N dapat memengaruhi serapan N (Amir, Indradewa & Putra 2015).

Peubah Morfologi

Jumlah bintil akar

Jumlah bintil akar dipengaruhi oleh jenis kacang. Jumlah bintil akar jenis JWB (*P. lunatus*) berbeda nyata dengan tiga jenis lainnya (P<0,05). Rerata jumlah bintil akar dari tertinggi hingga terendah secara berturut-turut adalah JWB (*P. lunatus*) 147 bintil, CHB (*P. lunatus*) 47 bintil, CRB (*P. vulgaris*) 34 bintil, dan WKB (*P. vulgaris*) 33 bintil (Tabel 5).

Jumlah bintil akar tidak dipengaruhi oleh lokasi, tetapi dipengaruhi oleh jenis tanaman kacang. Setiap jenis tanaman kacang memiliki tingkat kompatibilitas yang berbeda terhadap *Rhizobium*. Purwantari (2008) melaporkan bahwa asosiasi *Rhizobium* dengan tanaman kacang sangat bervariasi tergantung dari faktor biotik dan kompatibilitas antara bakteri dan tanaman inang, adanya mikroba lain yang ada dalam tanah dan lingkungan yang mendukung. Selain itu tingkat kemasaman tanah dan kekeringan merupakan salah satu faktor yang dapat menghambat pembentukan bintil akar. pH tanah yang rendah (<5,5) menyebabkan berkurangnya jumlah bintil akar yang terbentuk (Hardjowigeno 2010).

Tabel 5. Jumlah bintil pada jenis kacang berbeda (*The number of nodules on different species of legumes*)

Jenis kacang (<i>Kind of legumes</i>)	Jumlah bintil akar (<i>Number of nodules</i>)
JWB (<i>P. lunatus</i>)	147 a
CHB (<i>P. lunatus</i>)	47 b
CRB (<i>P. vulgaris</i>)	34 b
WKB (<i>P. vulgaris</i>)	33 b

Keterangan (*Remarks*): Lihat Tabel 4 (*See Table 4*)

Kompatibilitas bakteri *Rhizobium* dengan JWB (*P. lunatus*) ditandai dari jumlah bintil akar yang lebih tinggi dibanding dengan kacang lainnya (Tabel 5). Hal ini diduga JWB (*P. lunatus*) lebih mampu beradaptasi pada lingkungan pH rendah dan lingkungan yang kering, akibatnya kompatibilitas JWB (*P. lunatus*) dengan *Rhizobium* menjadi tinggi dan terjalin hubungan simbiosis yang baik dalam pembentukan bintil akar.

Morfologi Polong dan Daun

Interaksi antara ketinggian tempat dan jenis kacang-kacangan memengaruhi tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah polong, lebar daun, dan panjang daun ($P < 0,05$). Jumlah daun, jumlah polong, dan lebar daun CHB (*P. lunatus*) juga berbeda nyata ($P < 0,05$) di dua lokasi penelitian. Panjang daun WKB (*P. vulgaris*) berbeda nyata ($P < 0,05$) pada kedua lokasi penelitian (Tabel 6).

Tinggi tanaman WKB (*P. vulgaris*) di lokasi II lebih tinggi dibandingkan lokasi I. Hal ini diduga karena WKB (*P. vulgaris*) membutuhkan intensitas cahaya matahari lebih tinggi untuk pertumbuhannya. Pada umumnya kacang ini memiliki habitus merumpun, namun pada lokasi II tumbuh memanjat (Gambar 2). Intensitas cahaya yang rendah (8.577 lux) di lokasi II (Tabel 1) masih belum mencukupi bagi pertumbuhan tanaman WKB (*P. vulgaris*) sehingga diduga menyebabkan efek etiolasi dan dapat meningkatkan tinggi tanaman (Tabel 6). Etiolasi terjadi karena hormon auksin yang berperan di dalam proses pembelahan dan pemanjangan sel tidak terurai oleh sinar matahari sehingga tanaman akan tumbuh lebih

panjang dari biasanya (Gatut & Sundari 2011). Efek etiolasi pada tanaman WKB (*P. vulgaris*) menunjukkan ciri daun lebih panjang dan sempit (Tabel 6), daun berwarna hijau muda, batang tumbuh lebih panjang, tetapi tidak kokoh (Gambar 2b). Etiolasi menyebabkan produksi dan distribusi auksin yang tinggi sehingga merangsang pemanjangan sel yang mendorong meningkatnya tinggi tanaman.

Jumlah daun dan jumlah polong CHB (*P. lunatus*) pada lokasi I lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi II (Tabel 6). Hal ini karena kondisi lingkungan pada lokasi I sesuai bagi pertumbuhan CHB (*P. lunatus*). Dengan jumlah daun yang cukup, tanaman dapat melakukan fotosintesis lebih baik sehingga dapat meningkatkan jumlah polong (Sarmita, Hastuti & Haryanti 2011). Lebar daun CRB (*P. vulgaris*) lebih rendah di lokasi II dibandingkan lokasi I (Tabel 5). Hal ini diduga karena tanaman kacang ini sensitif terhadap suhu tinggi dan kelembapan udara di lokasi II (Tabel 1). Hasil yang sama juga dilaporkan oleh (Omae, Kumar & Shono 2012) bahwa jenis *P. vulgaris* sensitif terhadap suhu selama tahap pertumbuhan.

Bobot Basah dan Bobot Kering Akar, Batang, dan Biji

Peubah biomassa akar, batang, dan biji dipengaruhi oleh interaksi antara lokasi penelitian dengan jenis kacang-kacangan ($P < 0,05$). Biomassa akar dan batang jenis JWB (*P. lunatus*) dan CHB (*P. lunatus*) berbeda nyata di dua lokasi penelitian ($P < 0,05$) (Tabel 6). Bobot Basah 100 biji jenis CHB (*P. lunatus*) dan WKB (*P.*

Tabel 6. Tinggi tanaman, Jumlah daun, jumlah polong, lebar, dan panjang daun empat jenis tanaman kacang-kacangan yang ditanam pada dua lokasi yang berbeda (*Plant height, leaves number, pods number, leaves width, and length of four species of legumes at two different altitude*)

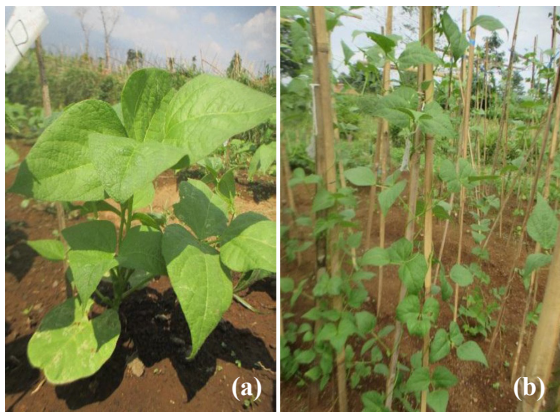
Lokasi penelitian (<i>Research sites</i>)	Peubah (<i>Variable</i>)	Jenis kacang (<i>Kinds of legumes</i>)			
		JWB (<i>P. lunatus</i>)	CHB (<i>P. lunatus</i>)	CRB (<i>P. vulgaris</i>)	WKB (<i>P. vulgaris</i>)
I (1.100 m dpl.)	Tinggi tanaman (cm)	219,5 b	253,1 ab	30,1 c	24,3 c
	Jumlah polong	23,8 ab	25,7 a	16,9 bc	11,1 c
	Jumlah daun	62,2 bc	158,7 a	10,6 d	10,5 d
	Lebar daun (cm)	3,9 e	8 a	7,3 abc	6,7 bcd
	Panjang daun (cm)	8,9 cd	12,4 a	9,2 bcd	7,9 d
II (250 m dpl.)	Tinggi tanaman (cm)	294,9 a	244,5 ab	29,5 c	279 ab
	Jumlah polong	16 bc	10,3 c	21,7 ab	18 abc
	Jumlah daun	33,3 cd	75,1 b	8,3 d	33,7 cd
	Lebar daun (cm)	3,8 e	6,6 cd	6 d	7,9 ab
	Panjang daun (cm)	7,9 d	10,9 ab	8,9 cd	9,9 bc

Keterangan (*Remarks*):Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama pada lokasi penelitian yang berbeda menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji $\alpha = 5\%$ (uji selang berganda Duncan). Angka yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji $\alpha = 5\%$ (uji selang berganda Duncan) [*The numbers followed by the same letter in the same column at different research locations show no significantly difference at the test level $\alpha = 5\%$ (Duncan's multiple interval test). The same number on the same row shows no significantly difference at the level $\alpha = 5\%$ test (Duncan's multiple interval test)]*

Tabel 7. Bobot basah (BB) dan bobot kering (BK) akar, tajuk dan 100 biji kacang kacangan pada lokasi yang berbeda (*Wet and dry weight of roots, shoots, and 100 seeds at different altitude*)

Lokasi penelitian (<i>Research sites</i>)	Peubah (<i>Variable</i>)	Jenis kacang (<i>Kinds of legumes</i>)			
		JWB (<i>P. lunatus</i>)	CHB (<i>P. lunatus</i>)	CRB (<i>P. vulgaris</i>)	WKB (<i>P. vulgaris</i>)
I (1.100 m dpl.)	BB akar (g)	60,2 ab	92,0 a	6,5 c	5,8 c
	BK akar (g)	26,0 b	46,7 a	2,0 c	1,5 c
	BB batang (g)	444,9 a	546,1 a	28,4 c	20,3 c
	BK batang (g)	142,3 b	447,5 a	7,6 e	5 e
	BB 100 biji (g)	41,7 de	158,3 a	57,5 c	52,4 cd
	BK 100 biji (g)	30,2 cd	116,8 a	36,0 c	33,8 cd
II (250 m dpl.)	BB akar (g)	16,4 c	29,6 bc	3,7 c	12,7 c
	BK akar (g)	5,4 c	11,4 c	1,3 c	3,3 c
	BB batang (g)	231,4 b	231,2 b	28,4 c	90,7 c
	BK batang (g)	57,7 cd	86,8 c	6,8 e	27,8 de
	BB 100 biji (g)	32,3 ef	99,8 b	57,0 c	22,3 f
	BK 100 biji (g)	25,4 cde	78,5 b	23,2 de	17,0 e

Keterangan (*Remarks*): Lihat Tabel 6 (*See Table 6*)



Gambar 2. Habitus WKB (*P. vulgaris*) umur 5 MST (a) lokasi I (1.100 m dpl.), dan (b) lokasi II (250 m dpl.) [*WKB (*P. vulgaris*) habitus at 5 WAP (a) location (1.100 dpl.) and (b) location II (250 m asl.)*]

vulgaris) juga berbeda nyata di dua lokasi penelitian ($P < 0,05$) (Tabel 7).

Bobot basah dan bobot kering akar dan batang jenis JWB (*P. lunatus*) dan CHB (*P. lunatus*) lebih tinggi di lokasi I dibandingkan lokasi II. Hal ini disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang tinggi di lokasi I (Tabel 1) yang secara tidak langsung memengaruhi laju fotosintesis (Tabel 3). (Sopandie & Trikoesoemaningtyas 2011) menyatakan bahwa intensitas cahaya matahari yang tinggi menyebabkan peningkatan pembentukan 3-PGA sehingga akan meningkatkan laju fotosintesis. Laju fotosintesis yang tinggi akan menghasilkan energi untuk aktivitas bakteri penambat nitrogen pada nodul akar sehingga dapat meningkatkan bobot basah dan kering akar (Prasad, Allen & Boote 2005). Hasil yang sama juga dilaporkan oleh (Sarmita, Hastuti & Haryanti

2011) bahwa fotosintat akan ditranslokasikan ke seluruh jaringan tanaman sehingga dapat meningkatkan bobot basah batang dan akar legum.

Selain itu tingkat porositas tanah di lokasi I lebih baik dibandingkan lokasi II (Tabel 2) sehingga memungkinkan bintil akar dapat berkembang dengan baik pada lokasi I. Jumlah bintil akar yang banyak pada JWB dapat meningkatkan bobot basah akar. Bruning & Rozema (2013) menyatakan bahwa semakin banyak bintil akar yang terbentuk maka semakin besar pula nitrogen yang ditambat sehingga meningkatkan nitrogen untuk sintesis protein pada tanaman. Hal ini sejalan dengan Dwivedi *et al.* (2015) bahwa terdapat korelasi positif antara jumlah bintil terhadap bobot basah akar pada tanaman kedelai dan buncis. Bobot basah dan bobot kering 100 biji WKB lebih rendah di lokasi II. Hal ini diduga karena hasil fotosintesis tidak dialokasikan untuk bobot basah dan kering biji, tetapi untuk pertumbuhan tinggi tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Keragaan morfo-fisiologi empat macam kacang, yaitu JWB (*P. lunatus*), CHB (*P. lunatus*), CRB (*P. vulgaris*), dan WKB (*P. vulgaris*) dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, kelembapan udara dan suhu. Tanaman WKB (*P. vulgaris*) pada ketinggian tempat 1.100 m dpl. merumpun. Laju fotosintesis tanaman kacang lebih tinggi pada lokasi dengan ketinggian tempat 1.100 m dpl. Tanaman kacang CHB (*P. lunatus*) menghasilkan polong tertinggi pada ketinggian tempat 1.100 m dpl., yaitu 25,7 polong diikuti dengan BB 100 biji, yaitu 158,3 g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristek Dikti atas beasiswa BPPDN 2013 yang digunakan untuk pembiayaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adiyoga, W, Ameriana, M & Soetiarso, TA 2008, 'Segmentasi pasar dan pemetaan persepsi atribut produk beberapa jenis sayuran minor (Under-utilized)', *J. Hort.*, vol. 18, no. 4, pp. 466-476.
2. Ainsworth, E & Rogers, A 2007, 'The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO₂: Mechanisms and environmental interactions', *Plant. Cell. Environ.*, vol. 30, pp. 258-270.
3. Amir, B, Indradewa, D & Putra, E 2015, 'Relationship of nodule and nitrate reductase activity with N uptake in some cultivars of soybean (*Glycine max*)', *Pros.Sem.Nas.Masy. Biodiv.Indones*, vol. 1, no. 5, pp. 1132-1135.
4. Beebe, S, Ramirez, J, Jarvis, A, Rao, IM, Mosquera, G, Bueno, JM & Blair, M 2011, *Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change, chapter 16*, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Colombia.
5. Bielenberg, DG, Miller, JD & Berg, V 2003, 'Paraheliotropism in two *Phaseolus* species: combined effects of photon flux density and pulvinus temperature, and consequences for leaf gas exchange', *Environmental and Experimental Bot.*, vol. 49, pp. 55-128.
6. Broughton, WJ, Hernandez, G, Blair M, Beebe S, Gepts P & VJ 2003, 'Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes', *Plant Soil*, vol. 252, pp. 55-128.
7. Bruning, B & Rozema, J 2013, 'Symbiotic nitrogen fixation in legumes: Perspectives for saline agriculture', *Environ. Exp. Bot.*, vol. 92, pp. 134-143.
8. Dwivedi, SL, Sahrawat, KL, Upadhyaya, HD, Mengonix, A, Galardinix, M, Bazzicalupox, M, Biondi, EG, Hungriajj, M, Kaschuk, G, Blair, MW, & Ortizxxx, R 2015, 'Advances in host plant and rhizobium genomics to enhance symbiotic nitrogen fixation in grain legumes', *Adv. Agron.*, vol. 129, no. 1-116.
9. Gatut, W & Sundari, T 2011, 'Perubahan karakter agronomi aksesori plasma nutfah kedelai di lingkungan teraungi', *J.Agron.*, vol. 39, pp. 1-6.
10. Hadi, RY, Heddy, YB & Sugito, Y 2015, 'Pengaruh jarak tanam dan dosis pupuk kotoran kambing terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman buncis (*Phaseolus vulgaris* L.)', *J. Prod Tanam.*, vol. 3, no. 4, hlm. 294-301.
11. Hasanuzzahman, M, Nahar, K, Alam, MM, Roychowdhury, R & Fujita, M 2013, 'Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants', *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 14, pp. 9643-9648.
12. Hardjowigeno, S 2010, *Ilmu Tanah*, Akademika Pressindo, Jakarta.
13. He, Y, Yu, C, Zhou, L, Chen, Y, Liu, A, Jin, J, Hong, J, Qi, Y & Jiang, D 2014, 'Rubisco decrease is involved in chloroplast protrusion and Rubisco-containing body formation in soybean (*Glycine max.*) under salt stress', *Plant. Physiol. Biochem.*, vol. 74, no. 1, pp. 118-124.
14. Hopkins, WG, & Huner, N 2008, *Introduction to Plant Physiology* fourth edi., The University of Western Ontario, London.
15. Irigoyen, JJ, Goicoechea, N, Antolína, MC, Pascuala, I, Sanchez-Díaza, M, Aguirreoleaa, J & Morales, F 2014, 'Growth, photosynthetic acclimation and yield quality in legumes under climate change simulations: An updated survey', *Plant. Sci.*, vol. 226, pp. 22-29.
16. Jensen, ES, Peoples, MB, Boddey, RM, Gresshoff, PM, Hauggaard-Nielsen, H, Alves, BJR & Morrison, M 2012, 'Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries', *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 32, pp. 329-364.
17. Kurniadi, P, Yetti, H & Anom, E 2013, *Peningkatan produksi kacang hijau (Vigna radiata L.) dengan pemberian pupuk kandang ayam dan NP*, Universitas Riau, Pekanbaru.
18. Liu, M & Madiono, E 2013, 'Pengelolaan dan Pengembangan Usaha Hortikultura pada PT. Horti Bimna International', *AGORA*, vol. 1, no. 1, pp. 1-9.
19. Madhu, M & Hatfield, JL 2015, 'Elevated carbon dioxide and soil moisture on early growth. response of soybean', *Agricultural Sciences*, vol. 6, pp. 263-278.
20. Magomya, AM, Kubmarawa, D, Ndahi, JA & Yebpella, GG 2014, 'Determination of plant proteins via the kjeldahl method and amino acid analysis : A comparative study', *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 3, no. 4, pp. 68-72.
21. Mildaerizanti, I & Yudono, P 2012, 'Pengaruh perbedaan benih asal pertanian organik dan konvensional terhadap sifat fisiologis dan hasil padi organik kultivar lokal dan unggul', *Ilmu. Pertan.*, vol. 15, no. 2, pp. 47-60.
22. Omae, H, Kumar, A & Shono, M 2012, 'Adaptation to high temperature and water deficit in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during the reproductive perio', *J. Bot.*, vol. 1, pp. 1-6.
23. Parry, M, Andralojc, P, Scales, J, Salvucci, M, Carmo-Silva, E, Alonso, H & Whitney, S 2012, 'Rubisco activity and regulation as targets for crop improvement', *Environ. Exp. Bot.*, vol. 1, pp. 1-14.
24. Prasad, PVV, Allen, LH & Boote, K 2005, 'Crop responses to elevated carbon dioxide and interaction with temperature: Grain legumes', *J. Crop. Improvement*, vol. 13, no. 1, pp. 113-115.
25. Purwantari, N 2008, 'Penambatan nitrogen secara biologis : Perspektif dan keterbatasannya', *Buletin Wartazoa*, vol. 18, no. 1, pp. 9-17.
26. Sarmita, F, Hastuti, ED & Haryanti, S 2011, 'Growth of legums in different altitude', *Bioma*, vol. 13, no. 2, pp. 67-72.
27. Silahooy 2012, 'Efek dolomit dan SP-36 terhadap bintil akar, serapan N dan hasil kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) pada tanah kambisol', *Agrologia*, vol. 1, no. 2, pp. 91-98.
28. Soegiarto, A, Sugiharto, AN & Purnamaningsih, SL 2013, *Perbaikan kualitas gizi polong tanaman buncis (Phaseolus vulgaris L.) berdaya hasil tinggi melalui persilangan tanaman buncis varietas introduksi dan varietas lokal*, Universitas Brawijaya, Malang.
29. Sopandie, D & Trikoesoemaningtyas 2011, 'Pengembangan tanaman sela di bawah tegakan tanaman tahunan', *Iptek. Tan. Pang.*, vol. 6, no. 2, pp. 168-182.