

PENGEMBANGAN BAHAN AJAR MATERI FOTOSINTESIS PADA MATA KULIAH EKOFISIOLOGI TUMBUHAN BERBASIS RISET

Sri Wulandari dan Firdaus, L.N.
Dosen Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Riau

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian eksperimental (*ex-situ*) tentang fotosintesis dan kandungan klorofil tanaman karet pada tanah bekas tambang bauksit dengan aplikasi bahan organik di Laboratorium Alam Pendidikan Biologi Universitas Riau dari Januari-Juni 2013. Tujuan penelitian ini adalah untuk: (1) Mencari jenis dan rasio campuran bahan organik dengan tanah bekas tambang bauksit yang terbaik bagi fotosintesis dan kandungan klorofil tanaman karet klon PB 260. (2) Memperkaya bahan ajar ekofisiologi tumbuhan berbasis riset eksperimental. Bahan organik yang digunakan adalah kotoran ayam dan kotoran sapi. Tanaman uji adalah tanaman karet klon PB 260. Percobaan menggunakan faktor tunggal dengan 3 perlakuan rasio (w/w) yaitu kontrol, (1:1), (1:2) disusun dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Parameter yang diukur yaitu laju fotosintesis, kandungan klorofil *a*, *b*, dan total. Analisis data dengan ANAVA satu jalur dan uji lanjut dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada tingkat 5%. Hasil penelitian menunjukkan pemberian bahan organik dapat meningkatkan laju fotosintesis, kandungan klorofil, serta pH tanah. Campuran antara bahan organik kotoran sapi dengan tanah bekas tambang bauksit lebih baik daripada bahan organik kotoran ayam sebagai media tumbuh tanaman karet klon PB 260 dengan rasio campuran 1:2 Selanjutnya hasil penelitian ini dikembangkan menjadi sebuah modul ekofisiologi tumbuhan pada topik fotosintesis dan kandungan klorofil tanaman dan divalidasi oleh dosen ahli. Hasil validasi menunjukkan bahwa modul yang dihasilkan sudah valid.

Kata-kata kunci: *Bahan ajar, kandungan klorofil, karet, laju fotosintesis, tanah bekas tambang bauksit*

Pendahuluan

Mata kuliah ekofisiologi tumbuhan merupakan sains eksperimental yang berupaya mendeskripsikan mekanisme-mekanisme fisiologis tentang pengendalian atas pertumbuhan, reproduksi, kelangsungan hidup, kemelimpahan, dan sebaran geografis tumbuhan yang dipengaruhi oleh hasil interaksi antara tumbuhan dengan lingkungan fisika, kimia, dan biotik (Firdaus dan Wulandari, 2013). Dalam mata kuliah ini mahasiswa dituntut untuk lebih banyak menelaah konsep dasar maupun hasil-hasil kajian eksperimental, serta menganalisis berbagai persoalan dibidang Ekofisiologi Tumbuhan baik lokal maupun global. Sebagian besar referensi yang digunakan dalam bahasa asing (Inggris), hal ini disebabkan kasus-kasus yang tersedia umumnya berupa hasil-hasil penelitian global. Hasil-hasil penelitian ekofisiologi tumbuhan berdasarkan fenomena lokal



masih relatif kurang tersedia sehingga kadang mahasiswa kesulitan dalam memahami konsep materi. Dalam perspektif ini, ketersediaan bahan ajar berdasarkan hasil penelitian fenomena lokal sangat penting artinya untuk memperkaya bahan ajar ekofisiologi tumbuhan di perguruan tinggi.

Banyak sekali konsep Ekofisiologi Tumbuhan lokal yang potensial untuk memperkaya bahan ajar Ekofisiologi Tumbuhan, salah satunya mengenai respon tumbuhan terhadap faktor lingkungan. Akhir-akhir ini permasalahan yang menjadi perhatian yaitu adanya kerusakan lingkungan sebagai akibat dari banyaknya pembukaan lahan-lahan penambangan bauksit. Akibatnya kondisi fisika, kimia dan biologis tanah menjadi buruk, sehingga banyak tanah bekas tambang bauksit menjadi lahan kosong yang gersang dan tandus karena sulit untuk ditumbuhi oleh tanaman.

Menurut Tjahyana dan Ferry (2011), tanaman karet merupakan salah satu alternatif utama untuk mengatasi tidak produktifnya lahan tandus bekas tambang. Tanaman karet mempunyai adaptasi yang tinggi pada lahan-lahan marginal, selain itu tanaman karet mampu memperbaiki sifat tanah melalui pekayaan hara dengan karakter fisiologi pengguguran daunnya.

Tanah bauksit sebagai salah satu lahan marginal memiliki sifat tanah yang asam dan miskin kandungan hara. Hal ini menjadikan tanah bauksit sulit untuk ditumbuhi oleh tanaman. Peningkatan kandungan hara tanah dapat dilakukan dengan menambahkan bahan organik seperti pupuk kandang dan diharapkan dapat ditumbuhi oleh tanaman, terutama tanaman komersial. Respon yang dapat diteliti berupa laju fotosintesis dan kandungan klorofil sebagai suatu respon yang sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Penurunan laju fotosintesis *Hevea brasiliensis* Mull. Arg akibat perlakuan cekaman air pada tanah ferarsol tanpa aplikasi bahan organik pernah dilaporkan oleh Mokhatar *et al.* (2011). Peneliti lain (Siregar, 2011) yang juga dengan perlakuan cekaman air melaporkan terjadinya penurunan kandungan klorofil *Hevea brasiliensis* Mull. Arg.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Alam Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau Pekanbaru, mulai bulan Juni-November 2013. Bahan tanah bekas tambang bauksit diambil dari lahan bekas penambangan bauksit di Pulau Singkep. Bibit tanaman karet klon PB 260 bersertifikat diperoleh dari Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Medan. Pupuk kandang kotoran Ayam diperoleh dari distributor kotoran ayam, Sei Pinang, Kampar. Pupuk kandang kotoran Sapi diperoleh dari UPT Dinas Peternakan PTPN V, Sei Galuh, Kampar.

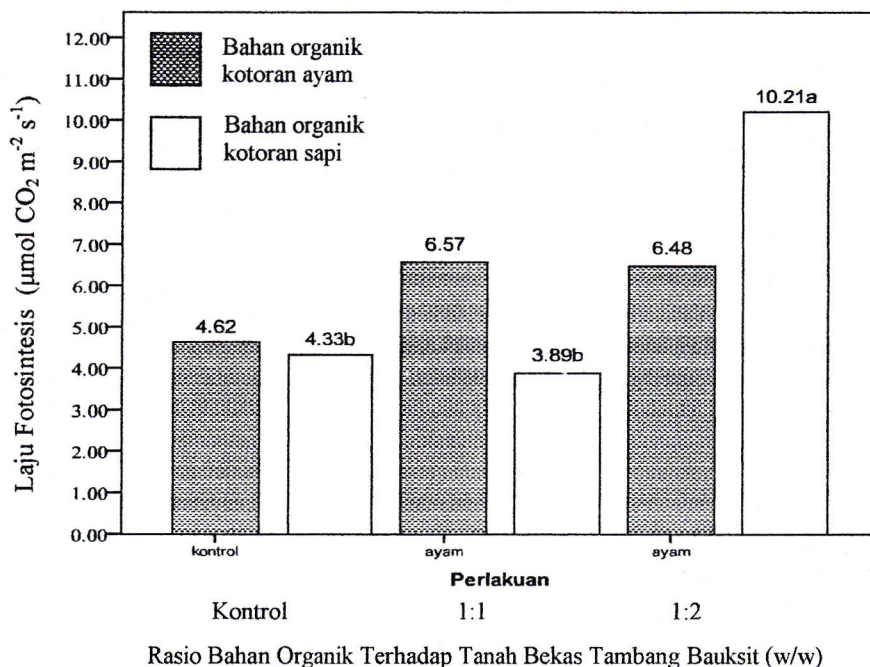
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkul, terpal, sekop, polybag dengan ukuran 10 cm x 20 cm yang dapat menampung tanah sebanyak 5 kg, saringan stainless steel dengan ukuran mata saring 4 mm, neraca elektronik, *Portable Photosynthesis System Model 6400 XT* untuk mengukur laju fotosintesis (Mokhatar *et al.*, 2011), mortar, aseton 80%, kertas saring Whatman No.2, cuvet, spektrofotometer untuk mengukur kandungan klorofil (Junk, 1971). Derajat Keasaman pH (H₂O dan KCl) tanah diukur menurut metode Blackmore *et al.* (1987).

Metode eksperimen yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap. Perlakuan terdiri dari dosis bahan organik pupuk kandang Ayam atau Sapi dengan tanah bekas tambang bauksit, masing-masing perlakuan dilakukan empat ulangan. Penelitian dilakukan terpisah antara bahan organik pupuk kandang Ayam atau Sapi. Rasio bahan organik kotoran ayam terhadap tanah bauksit dengan 3 perlakuan, yaitu tanah bekas tambang bauksit tanpa dicampur pupuk kandang (kontrol), campuran pupuk kandang dan tanah bekas tambang bauksit dengan rasio 1:1, dan campuran pupuk kandang dan tanah bauksit dengan rasio 1:2. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik dengan Analisis Varians. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka akan diuji lanjut dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% untuk melihat perbedaan antar perlakuan.

Hasil penelitian dikembangkan menjadi suatu bahan ajar berupa modul ekofisiologi tumbuhan pada materi fotosintesis. Pengembangan bahan ajar dilakukan menggunakan model pengembangan ADDIE (Dick dan Carey, 2005) dan divalidasi oleh validator dari ahli materi dan ahli pendidikan.

Hasil dan Pembahasan

1. Laju Fotosintesis Tanaman Karet klon PB 260 pada Variasi Campuran Bahan Organik Kotoran Ayam atau Sapi dengan Tanah Bekas Tambang Bauksit



Gambar 1. Pengaruh rasio bahan organik kotoran ayam atau sapi dan tanah bekas tambang bauksit terhadap laju fotosintesis *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. klon PB 260. (Angka diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% DMRT)

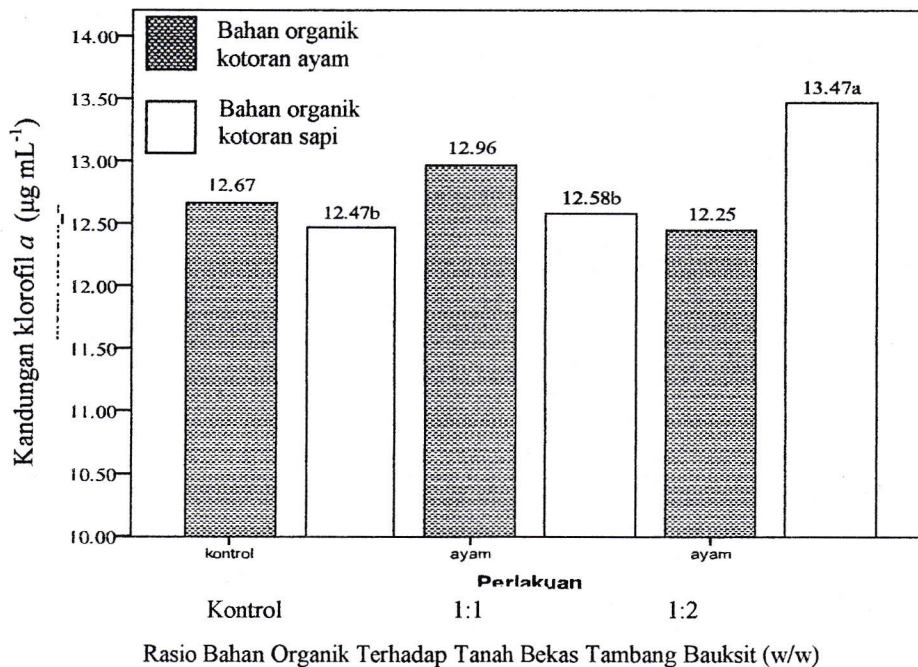
Laju fotosintesis pada perlakuan bahan organik kotoran ayam tidak berpengaruh dan paling tinggi adalah pada rasio 1:1 yaitu $6,57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan paling rendah pada kontrol yaitu $4,64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Pada perlakuan bahan organik kotoran sapi, laju fotosintesis berpengaruh dan paling tinggi terdapat pada

tanaman dengan rasio 1:2 sebesar $10,21 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, dan paling rendah pada rasio 1:1, yaitu $3,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Gambar 1).

Laju fotosintesis ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu kandungan klorofil, ketersediaan air dan CO_2 , serta intensitas cahaya (Cechin dan Fumis, 2004). Klorofil berperan sebagai penangkap foton energi cahaya yang akan digunakan untuk membentuk energi kimia berupa ATP dan NADPH melalui reaksi terang yang terjadi di bagian tilakoid kloroplas. Klorofil *a* dan *b* merupakan kompleks pemanen cahaya paling utama yang disebut fotosistem dan dibantu oleh pigmen karotenoid. Pigmen ini berperan dalam fotoproteksi, yaitu pencegahan kerusakan klorofil oleh intensitas cahaya yang terlalu tinggi. Jika kandungan klorofil *a* dan *b* rendah, maka laju fotosintesis akan menurun.

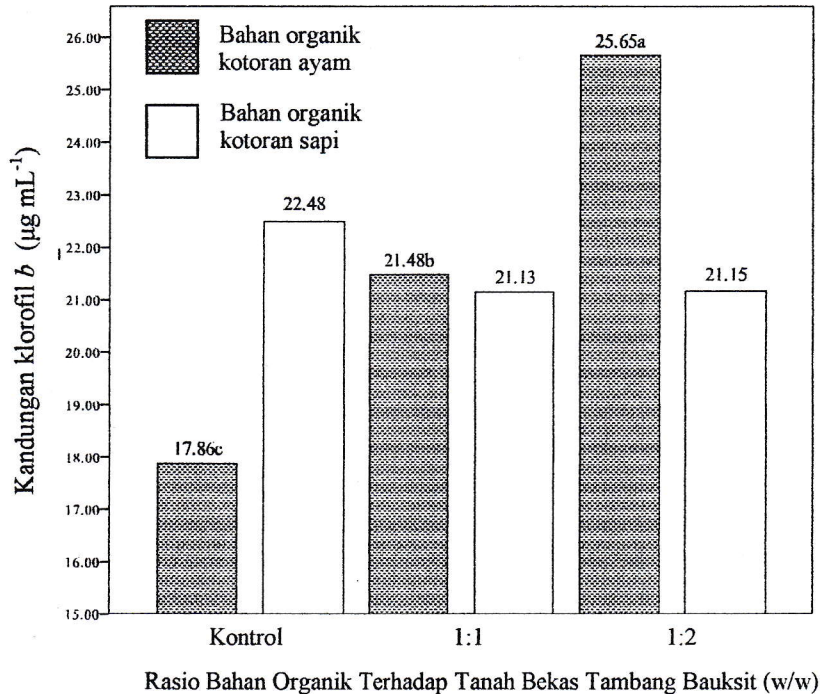
2. Kandungan klorofil a, b, dan total Karet klon PB 260 pada Variasi Campuran Bahan Organik Kotoran Ayam atau Sapi dengan Tanah Bekas Tambang Bauksit

Kandungan klorofil *a* *H. brasiliensis* pada perlakuan bahan organik kotoran ayam tidak berpengaruh dan paling tinggi pada rasio 1:1, yaitu $12,97 \mu\text{g mL}^{-1}$, dan paling rendah pada rasio 1:2 sebesar $12,45 \mu\text{g mL}^{-1}$. Pada perlakuan bahan organik kotoran sapi, kandungan klorofil *a* berpengaruh dan paling tinggi pada rasio 1:2, yaitu $13,47 \mu\text{g mL}^{-1}$ dan paling rendah pada tanaman kontrol sebesar $12,47 \mu\text{g mL}^{-1}$. Rasio 1:1 tidak menunjukkan beda nyata terhadap tanaman kontrol melalui uji DMRT (Gambar 2).



Gambar 2. Pengaruh rasio bahan organik kotoran ayam atau sapi dan tanah bekas tambang bauksit terhadap kandungan klorofil *a* *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. klon PB 260 (Angka-angka diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% DMRT)

Kandungan klorofil *b* pada perlakuan bahan organik kotoran ayam paling tinggi pada rasio 1:2, yaitu $25,65 \mu\text{g mL}^{-1}$, dan paling rendah pada kontrol sebesar $17,87 \mu\text{g mL}^{-1}$. Nilai tersebut berbeda nyata melalui uji DMRT. Sedangkan pada perlakuan bahan organik kotoran sapi, kandungan klorofil *b* tidak berpengaruh dan paling tinggi pada tanaman kontrol, yaitu $22,49 \mu\text{g mL}^{-1}$, dan paling rendah pada rasio 1:1, yaitu $21,14 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Gambar 3).

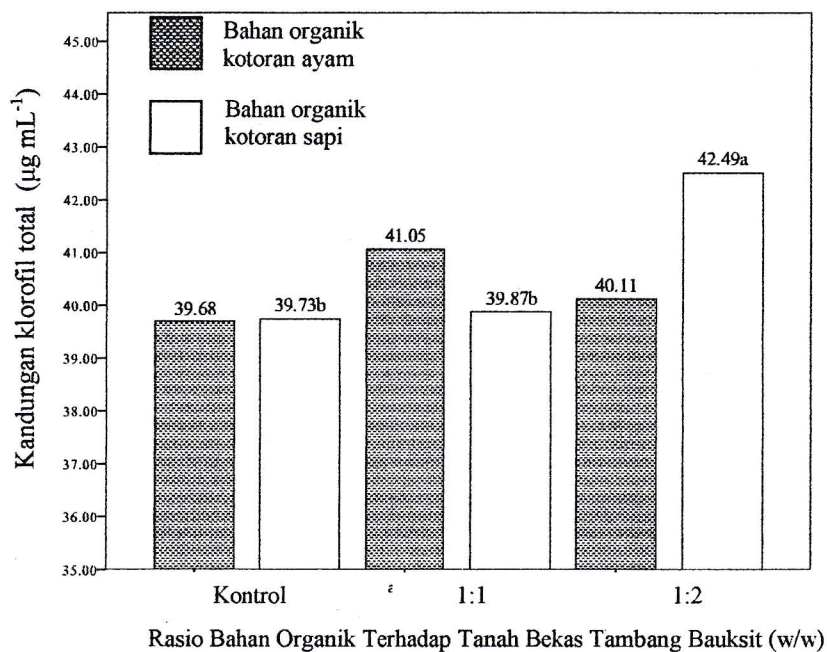


Gambar 3. Pengaruh rasio bahan organik kotoran ayam atau sapi dan tanah bekas tambang bauksit terhadap kandungan klorofil *b* *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. klon PB 260 (Angka-angka diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% DMRT)

Kandungan klorofil total pada perlakuan bahan organik kotoran ayam tidak berpengaruh dan paling tinggi pada rasio 1:1 yaitu $41,06 \mu\text{g mL}^{-1}$, dan paling rendah pada kontrol sebesar $39,69 \mu\text{g mL}^{-1}$. Pada perlakuan bahan organik kotoran sapi, kandungan klorofil total berpengaruh dan paling tinggi pada rasio 1:2, yaitu $42,50 \mu\text{g mL}^{-1}$, dan paling rendah pada kontrol, yaitu $39,74 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Gambar 4).

Kandungan klorofil total pada perlakuan bahan organik ayam tidak berbeda nyata untuk semua perlakuan. Hal ini disebabkan karena ketersediaan nitrogen pada kontrol tidak berbeda nyata dengan rasio 1:1 dan 1:2, sehingga kandungan klorofil total tidak mengalami beda nyata. Sedangkan pada perlakuan bahan organik sapi, kandungan klorofil total paling tinggi terdapat pada rasio 1:2 dan berbeda nyata dengan kontrol dan 1:1. Tingginya kandungan klorofil total pada rasio 1:2 dibandingkan dengan 1:1 disebabkan oleh kadar nitrogen yang berlebih pada rasio 1:1, sehingga kadar nitrogen berada pada kadar maksimal dan menyebabkan penurunan biosintesis klorofil. Sedangkan pada kontrol, kadar nitrogen berada pada kadar yang minimal, sehingga biosintesis klorofil juga rendah.

Selain dipengaruhi oleh unsur N, biosintesis klorofil juga dipengaruhi oleh ketersediaan Mg. Namun menurut Zhao, *et al.* (2005), dalam biosintesis klorofil, yang menjadi faktor pembatas adalah kehadiran nitrogen, karena selain berperan dalam pembentukan kerangka cincin tetrapirrol klorofil, nitrogen juga diperlukan sebagai unsur penyusun protein yang berfungsi sebagai enzim dalam berbagai proses metabolisme, termasuk biosintesis klorofil. Oleh karena itu, jika kandungan Mg mencukupi namun kandungan N berada di bawah keadaan normal, maka laju biosintesis klorofil akan berlangsung lambat. Beaumont dan Snell (1935), menyatakan bahwa unsur Mg lebih dalam tubuh tumbuhan lebih banyak digunakan sebagai kofaktor berbagai enzim kinase, yaitu enzim yang berperan dalam pemindahan gugus fosfat dari suatu substrat ke substrat lain, misalnya enzim piruvat kinase yang berperan dalam pemindahan gugus fosfat dari fosfoenol piruvat ke ATP pada fosforilasi tingkat substrat di glikolisis.

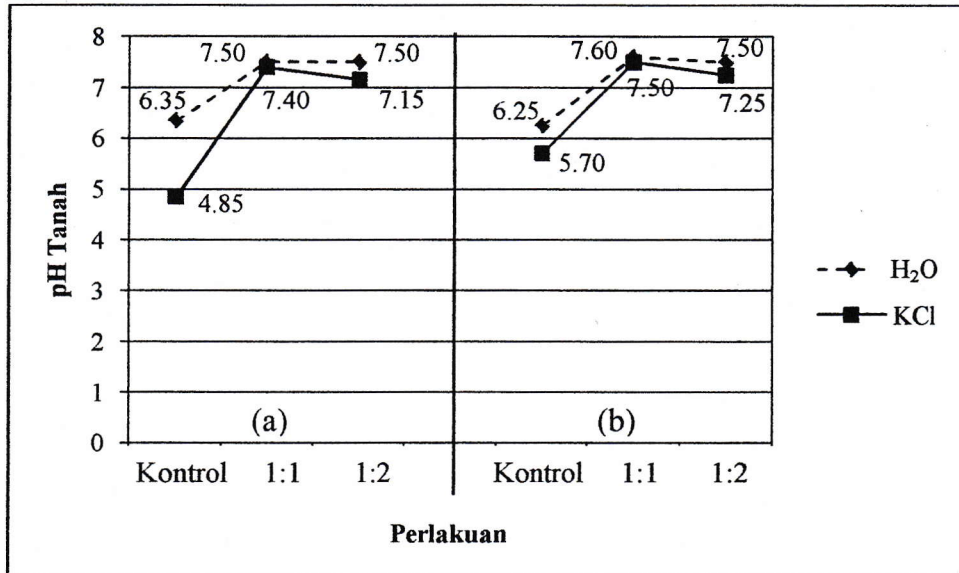


Gambar 4. Pengaruh rasio bahan organik kotoran ayam atau sapi dan tanah bekas tambang bauksit terhadap kandungan klorofil total *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. klon PB 260 (Angka-angka diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% DMRT)

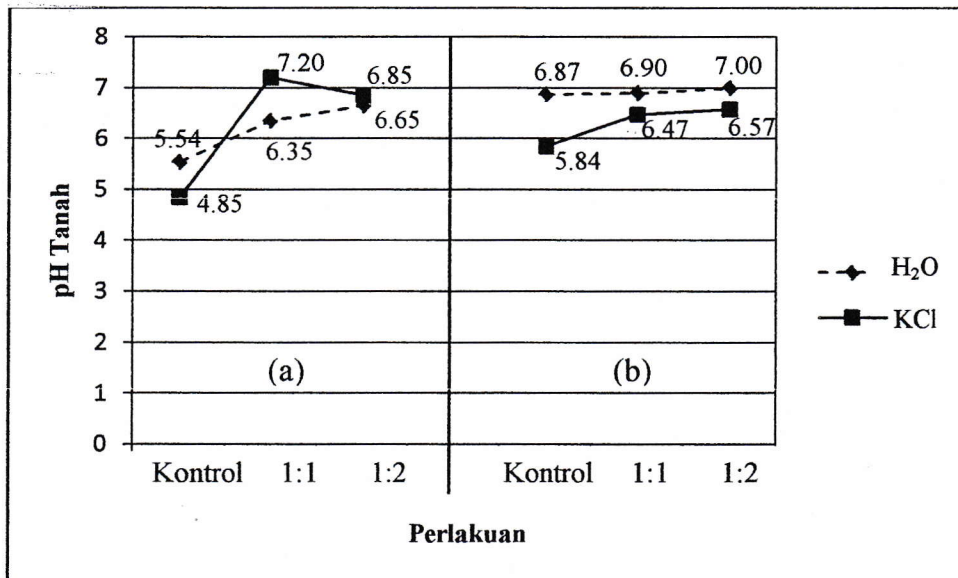
3. Derajat Keasaman (pH) tanah

Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa nilai pH dengan menggunakan pelarut KCl cenderung lebih rendah dibandingkan menggunakan pelarut H₂O. Penambahan bahan organik baik kotoran ayam maupun kotoran sapi dapat menyebabkan kenaikan pH dari asam menjadi netral. Pada bahan organik kotoran ayam, nilai pH H₂O dan KCl paling tinggi terdapat rasio 1:1, yaitu 7,6 dan 7,5. Sedangkan pada bahan organik kotoran sapi, nilai pH H₂O dan KCl paling tinggi terdapat pada rasio 1:2, yaitu 7,0 dan 6,57. Nilai pH ini berkorelasi positif dengan ketersediaan unsur hara yang ditandai dengan laju fotosintesis, kandungan klorofil dan konduktansi stomata yang paling tinggi pada rasio tersebut. Namun untuk

luas daun, bahan organik kotoran sapi memberikan luas daun paling luas pada rasio 1:1, sedangkan bahan organik kotoran ayam tetap pada rasio 1:1.



Gambar 7. Pengaruh rasio bahan organik kotoran ayam dan tanah bekas tambang bauksit terhadap perubahan pH tanah di awal (a) dan akhir penelitian (b).

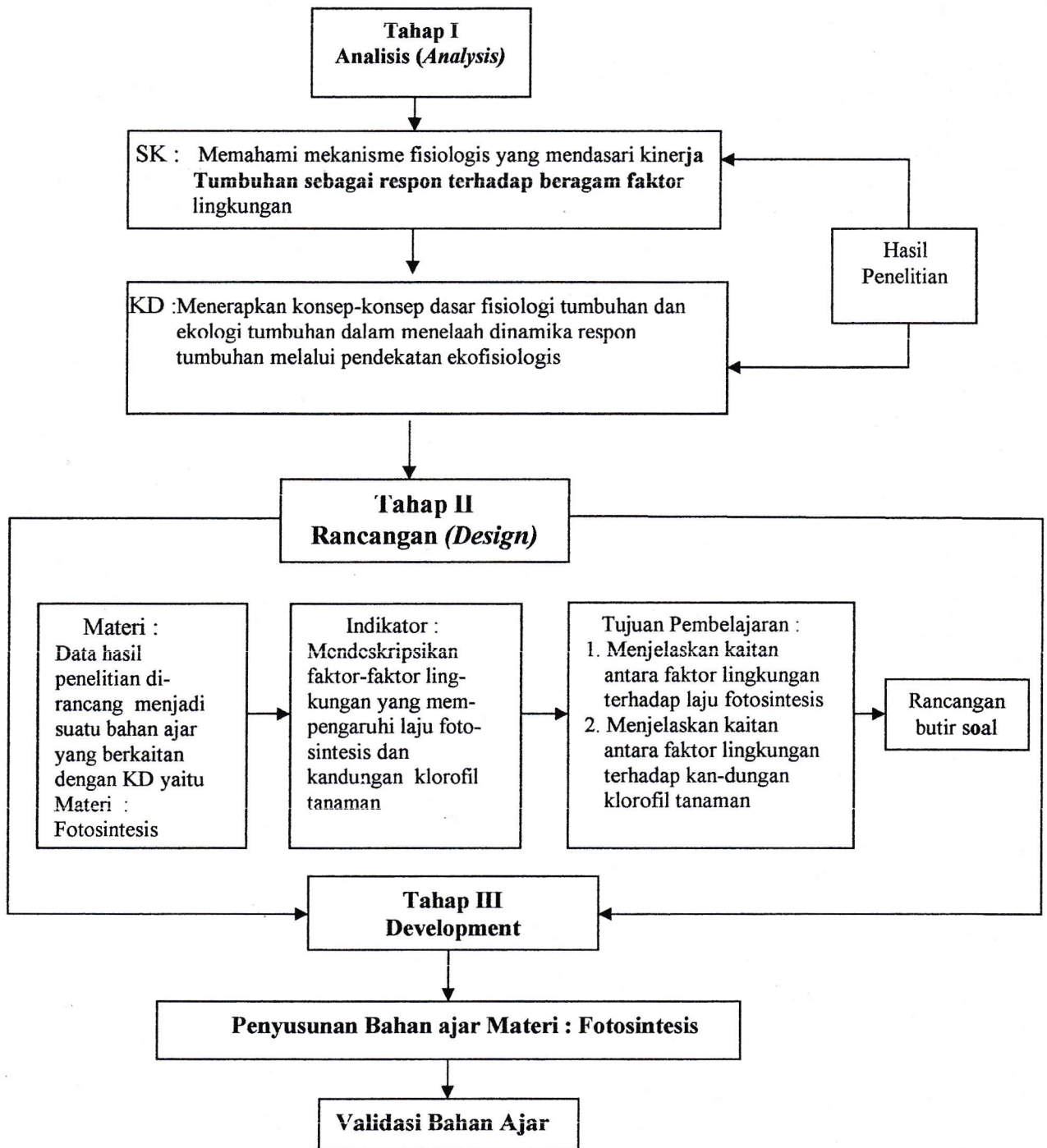


Gambar 8. Pengaruh rasio bahan organik kotoran sapi dan tanah bekas tambang bauksit terhadap perubahan pH tanah di awal (a) dan akhir penelitian (b).

4. Pengayaan Bahan Ajar Ekofisiologi Tumbuhan

Hasil penelitian “Pengaruh bahan organik kotoran ayam atau sapi dan tanah bauksit terhadap laju fotosintesis dan kandungan klorofil pada tanaman *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. klon PB 260” selanjutnya digunakan untuk pengayaan bahan ajar mata kuliah ekofisiologi tumbuhan dengan melakukan tahapan analisis

instruksional, tahapan design (perancangan) dan tahap development bahan ajar, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Tahapan Pengayaan Bahan Ajar Ekofisiologi Tumbuhan

Hasil validasi bahan ajar yang telah dikembangkan seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penilaian Bahan Ajar Ekofisiologi Tumbuhan oleh Validator

Kriteria penilaian	Rerata penilaian			Rerata
	Validator 1 (ahli materi)	Validator 2 (ahli pendidikan)	Validator 3 (ahli pendidikan)	
Tampilan	3	3.75	4	3.6
Isi	4	2.5	3.5	3.3
Kepraktisan	3	3.5	3.5	3.3
Bahasa	3	3.3	3	3.1
Kesesuaian	4	3	2.7	3.2
Rerata	3.4	3.21	3.34	3.32

Dari tabel 1 diketahui bahwa rerata ketiga validator untuk semua kriteria penilaian modul yang divalidasi adalah diatas 3 pada skala 0-4. Aspek yang paling tinggi nilainya adalah aspek tampilan dan yang paling rendah adalah aspek bahasa.

Rerata penilaian aspek tampilan dari ketiga validator adalah 3,6 dengan keterangan valid. Tampilan dalam modul dinilai cukup menarik dan dapat memudahkan pemahaman mahasiswa. Gambar-gambar yang digunakan di dalam modul merupakan gambar-gambar yang didapatkan selama penelitian. Selain itu, tampilan modul dinilai dapat memotivasi mahasiswa.

Rerata penilaian aspek isi adalah 3,3 dengan keterangan valid. Validator ahli materi menilai bahwa isi modul telah sesuai dengan Standar Kompetensi, Kompetensi Dasar, indikator dan tujuan pembelajaran serta memiliki keterkaitan antara materi dengan kondisi lingkungan sekitar. Namun dari validator ahli pendidikan, perlu disesuaikan kembali antara pertanyaan pada evaluasi dengan tujuan pembelajaran. Selain itu, tingkat kesulitan perlu ditingkatkan untuk merangsang pemikiran kreatif siswa dan tebaran ranah kognitif perlu diseimbangkan.

Rerata penilaian aspek kepraktisan adalah 3,3 dengan keterangan valid. Bahan ajar dinilai dapat membantu mahasiswa belajar secara mandiri dan memungkinkan mahasiswa terlibat secara aktif dalam menemukan konsep. Selain itu, mahasiswa dinilai mampu mengaitkan antara satu konsep dengan konsep lain melalui integrasi hasil penelitian di dalam modul sebagai materi pengayaan.

Rerata penilaian aspek bahasa adalah 3,1 dengan keterangan valid. Bahan ajar dinilai telah menggunakan kalimat yang sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia dan mudah dipahami oleh tingkat kognitif mahasiswa.

Rerata aspek kesesuaian adalah 3,2 dengan keterangan valid. Materi yang disajikan dalam bahan ajar dinilai telah sesuai dengan tujuan pembelajaran. Selain itu, penggunaan gambar dalam modul dinilai telah sesuai dengan materi yang disajikan. Namun pertanyaan pada evaluasi perlu disesuaikan dengan materi pembelajaran.