ARTIKEL

POTENSI KEKERABATAN BAMBU MENGGUNAKAN GEN *rbcL* BERBASIS ANALISIS *IN SILICO* SEBAGAI BAHAN PENGEMBANGAN SUMBER BELAJAR BIOLOGI SMA PADA MATERI EVOLUSI

Oleh:

IKA HANIFATUL MASRUROH

14.1.01.06.0015

Dibimbing oleh :

1. **Dr. Sulistiono, M. Si.**
2. **Dr. Agus Muji Santoso, M. Si.**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN (FKIP)

UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

2018

SURAT PERNYATAAN
ARTIKEL SKRIPSI TAHUN 2018

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Ika Hanifatul Masruroh
NPM	: 14.1.01.06.0015
Telepun/HP	: 082233028435
Alamat Surel (Email)	: ikahanifa22@gmai.com
Judul Artikel	: Potensi Kekerabatan Bambu Menggunakan Gen *rbcL* Berbasis Analisis *In silico* sebagai Bahan Pengembangan Sumber Belajar Biologi SMA pada Materi Evousi
Fakultas – Program Studi	: FKIP – Pendidikan Biologi
Nama Perguruan Tinggi	: Universitas Nusantara PGRI Kediri
Alamat Perguruan Tinggi	: Jalan K.H. Ahmad Dahlan 76 Mojoroto Kediri

Dengan ini menyatakan bahwa :

a. artikel yang saya tulis merupakan karya saya pribadi (bersama tim penulis) dan bebas plagiarisme;
b. artikel telah diteliti dan disetujui untuk diterbitkan oleh Dosen Pembimbing I dan II.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian data dengan pernyataan ini dan atau ada tuntutan dari pihak lain, saya bersedia bertanggungjawab dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Mengetahui		Kediri, 30 Juli 2018
Pembimbing I	Pembimbing II	Penulis,
Dr. Sulistiono, M. Si. NIDN. 0007076801	Dr. Agus Muji Santoso, M. Si. NIDN. 0713088605	Ika Hanifatul Masruroh NPM. 14.1.01.06.0015

POTENSI KEKERABATAN BAMBU MENGGUNAKAN GEN *rbcL* BERBASIS ANALISIS *IN SILICO* SEBAGAI BAHAN PENGEMBANGAN SUMBER BELAJAR BIOLOGI SMA PADA MATERI EVOLUSI

Ika Hanifatul Masruroh
14.1.01.06.0015
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan – Pendidikan Biologi
Ikahanifa22@gmai.com
Dr. Sulistiono, M. Si dan Dr. Agus Muji Santoso, M. Si
UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

ABSTRAK

Berdasarkan studi pendahuluan di SMA Negeri 5 Kediri ditemukan beberapa masalah pada materi evolusi, yaitu siswa dan guru belum memahami evolusi molekuler, sumber belajar yang digunakan belum mengikuti perkembangan IPTEK dan belum memuat contoh evolusi molekuler. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan mengembangkan sumber belajar yang memuat contoh evolusi molekuler tanaman. Jenis tanaman yang dapat dijadikan contoh adalah bambu. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap kekerabatan bambu berdasarkan sekuen gen *rbcL* berbasis analisis *in silico* dan potensinya sebagai bahan pengembangan sumber belajar biologi SMA pada materi evolusi. Penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai Mei 2018 di Kampus I Universitas Nusantara PGRI Kediri dan SMA Negeri 5 Kediri. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif eksploratif yang terdiri dari dua tahap penelitian. Bahan penelitian I berupa sekuen gen *rbcL* bambu yang diunduh dari laman Genbank NCBI, sedangkan bahan penelitian tahap II adalah hasil penelitian tahap I yang diujikan kelayakannya sebagai bahan pengembangan sumber belajar. Sekuen gen *rbcL* yang dikoleksi, dipreparasi menggunakan aplikasi *BioEdit* dan dikonstruksi pohon filogeni dengan aplikasi *Mega 6*. Konstruksi pohon filogeni bambu menggunakan metode statistik *UPGMA*, *Bootstrap method* 1000 kali ulangan, dengan model pohon *Maximum Composite Likelihood*. Hasil konstruksi pohon filogenetik dari 14 spesies bambu berdasarkan gen *rbcL*, terbentuk group utama dan out group. Group utama terdiri 10 spesies bambu yang membentuk 2 klaster. Klaster 1 terdiri dari *C. Spectabilis dan C. liebmannii.* Klaster 2 terdiri dari 8 spesies bambu yang berkerbatan dekat, yaitu *Bambusa bambos, B.* mutipex, *B. emiensis, Otatea. acuminata, O. galuca, Chusquea. spectabilis, C. liebmannii, Guadua chacoensis, G. angustifolia* dan *G. weberbaueri. Out group terdiri dari Phyllostachys edulis, P. nigra, Fargesia nitida* dan *F. spathacea.* Pada pohon filogenetik masing-masing spesies yang memiliki tingkat kekerabatan paling dekat dikelompokkan pada cabang yang sama. Berdasarkan homologi sekuens gen *rbcL*, spesies bambu yang memiliki genus yang sama belum tentu memiliki kekerabatan yang lebih dekat dibandingkan dengan spesies bambu dari genus yang berbeda. Berdasarkan hasil uji kelayakan yang dilakukan oleh dua pakar ahli pembelajaran biologi dan satu praktisi guru mata pelajaran biologi, hasil penelitian kekerabatan bambu menggunakan gen *rbcL* berbasis *in silico* 97 % layak digunakan sebagai bahan pengembangan sumber belajar Biologi SMA pada materi Evolusi.

KATA KUNCI : *kekerabatan, bambu, rbcL, in silico, sumber belajar, biologi.*

I. LATAR BELAKANG

Sumber belajar berperan penting dalam pemecahan masalah belajar. Sumber belajar perlu dikembangkan secara sistematik, bermutu dan fungsional untuk mendapatkan hasil yang maksimal (Abdullah, 2012). Teknologi pendidikan dicirikan dengan pemanfaatan sumber belajar seluas mungkin untuk kebutuhan belajar dan sebagai upaya untuk mendapatan hasil belajar yang maksimal (Seels dan Richey dalam Supriadi, 2015).

Berdasarkan hasil studi pendahuluan di SMAN 5 Kediri, ditemukan beberapa masalah pada materi evolusi. Siswa belum memahami bahwa pendekatan evolusi dapat dilakukan secara molekuler, guru belum memahami secara mendalam mengenai konsep evolusi molekuler, Selain itu, konten sumber belajar yang digunakan siswa belum mengikuti perkembangan IPTEK, contoh-contoh evolusi yang dimuat hanya menunjukkan evolusi yang terjadi pada morfologi saja dan belum memberikan contoh evolusi molekuler.

Teori evolusi terus mengalami perkembangan seiring dengan pekembangan IPTEK. Pada masa moderen ini kajian evolusi lebih banyak menggunakan pendekatan molekuler, oleh karena itu perlu ditingkatkan pemahaman dan pendalaman terhadap pendekatan evolusi molekuler. Evolusi berbasis urutan nukleotida merupakan salah satu bagian evolusi molekuler yang berkaitan dengan terjadinya mutasi, insersi, delesi, dan inversi (Karmana, 2009).

Menurut Imtihana dkk (2014) pengembangan sumber belajar dari hasil riset dapat memberikan informasi hasil penelitian terbaru dan fakta autentik dari data-data hasil penelitian. Nuha (2016) berhasil mengembangkan sumber belajar berbasis penelitian untuk mata kuliah evolusi dengan memanfaatkan data hasil penelitian evolusi dan molekuler. Menurut Primandiri dan Santoso (2015) perkembangan *database* genomik dapat dimanfaatkan sebagai contoh rill (berbasis riset) untuk memberikan konsep yang benar.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi keterbatasan pengetahuan siswa dan guru SMAN 5 Kediri pada materi evolusi molekuler adalah dengan mengembangkan sumber belajar yang memuat contoh evolusi molekuler pada tanaman. Jenis tanaman yang dapat dijadikan contoh adalah bambu. Menurut Charomaini (2014) bambu merupakan tanaman yang mudah sekali

dijumpai dan dikenal masyarakat Indonesia.

Dewasa ini bambu telah dipromosikan sebagai tanaman konservasi dan tanaman yang dapat dijadikan solusi permasalahan lingkungan. Kakteristik perakarannya mampu menjaga sistem hidrologis yang menjaga ekosistem tanah dan air. Tanaman ini memiliki potensi untuk mencegah tanah longsor karena akarnya saling terkait dan mengikat antar rumpunnya, sehingga memiliki kekeuatan yang sangat besar (Balittri, 2011). Hal yang perlu diperhatikan dalam konservasi dan pemanfaatan tanaman secara berkelanjutan adalah pemahaman yang baik mengenai keragaman genetik dan distribusinya. Keragaman genetik membantu penentuan spesies yang harus dikonservasi serta meningkatkan pemahaman pemanfaatan taksonomi dan asal mula evolusi suatu spesies (Rao and Hodking dalam Anissa 2017).

Mengingat manfaat bambu yang sangat besar bagi kehidupan manusia, perlu pengelolaan dan penelitian lebih mendalam pada tanaman ini. Pada penelitian ini akan dianalisis kekerabatan tanaman bambu dengan meggunakan sekuns gen *rbcL* berbasis *in silico*. Pendekatan melalui markah molekular telah digunakan secara luas untuk analisis kekerabatan tumbuhan. Karakter molekuler lebih efektif dan memberikan data yang lebih akurat terhadap karakter-karakter yang ada (Julisaniah, 2008). Analisis kekerabatan tumbuhan dapat menggunakan karakter molekular berupa sekuan DNA yang dapat mengatasi kelemahan data morfologi yang diketahui memiliki keterbatasan dan cenderung dipengaruhi lingkungan. Sekuen DNA tumbuhan dapat diambil dari inti, kloroplas dan mitokondria (Suparman, 2012).

Consortium Barcode of Life (2009) merekomendasikan gen *rbcL* untuk barcode tumbuhan dan analisis kekerabatan tumbuhan. Laju mutasi dan evolusi sekuens gen *rbcL* sangat lambat dari gen-gen kloroplas lainnya. Gen *rbcL* digunakan identifikasi spesies tumbuhan, filogenetik dan kekerabatan tumbuhan (Suparman 2012). Gen *rbcL* merupakan gen yang terdapat pada DNA kloroplas (Suparman, 2013). Penelitian kekerabatan tumbuhan dengan menggunkan gen *rbcL* pernah dilakukan, diantaranya adalah penelitian Korall dan Kenrick (2002) yang menggunakan gen *rbcL* untuk mengungkap kekerabatan Selaginellaceae. Richardson (2002) mengkombinasikan gen *rbcL* dengan

trnL-F untuk penelitian kekerabatan Rhamanaceae.

National Center for Biotechnology Information (NCBI) menyimpan database sekuens DNA dan protein. NCBI menampung dan menyimpan data sekuens DNA dari seluruh jenis mahkluk hidup yang sudah diteliti. Seluruh informasi dan database tersebut dapat diakses semua orang (Pradipta, 2012). Berdasarkan hal tersebut, NCBI dapat dimanfatkan untuk memperoleh data sekuens *rbcL* bambu dalam melakukan analisis kekerabatan bambu secara *In silico*.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, pada penelitian ini akan dilakukan analisis kekerabatan tanaman bambu menggunakan gen *rbcL* berbasis *in silico.* Hasil analisis kekerabatan tanaman bambu akan diujikan kelayakannya untuk dijadikan bahan pengembangan sumber belajar biologi SMA.

II. METODE

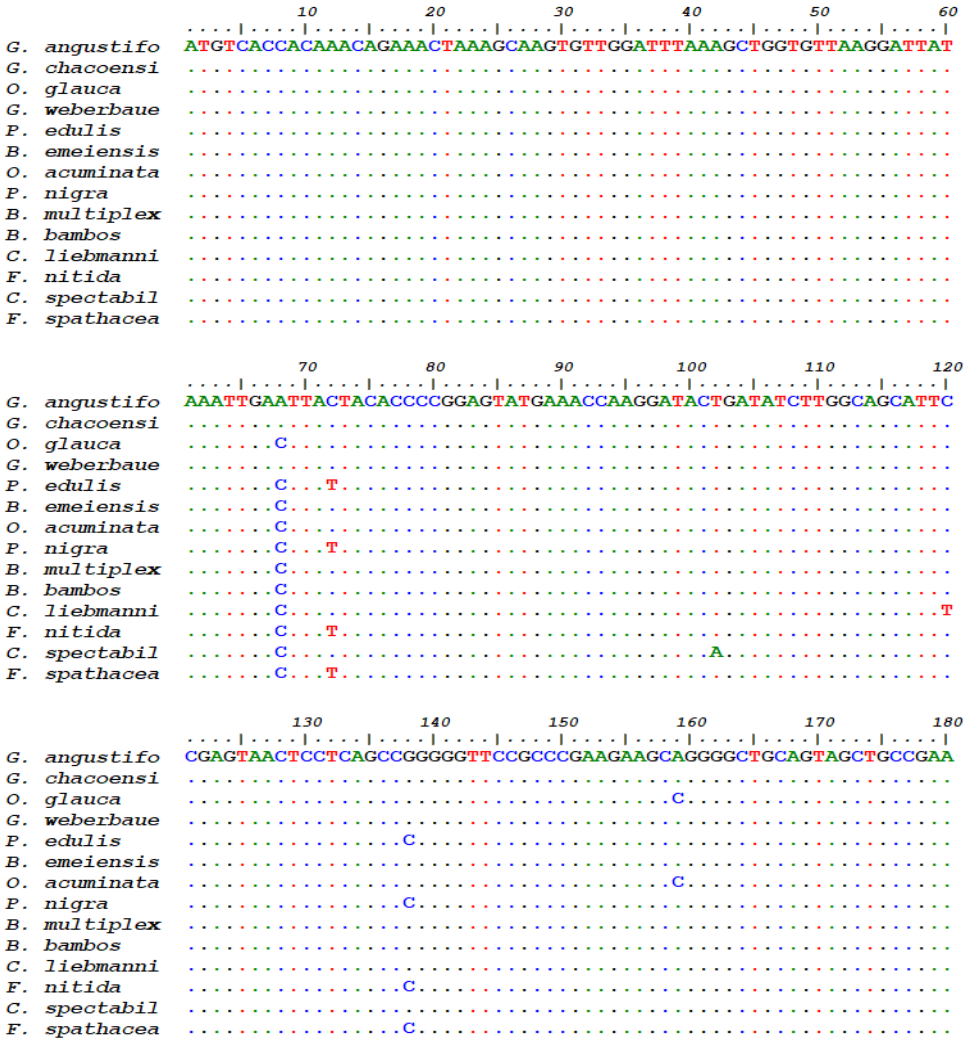
Penelitian ini merupakan penelitian diskriptif eksploratif, dilakukan pada bulan Maret sampai Mei 2018 di Kampus I Universitas Nusantara PGRI Kediri. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *hardware* berupa perangkat keras laptop Acer Aspire V5 dengan RAM (*Random Acses Memory*) 2 *gygabite* dengan perangkat komputer meliputi CPU, monitor, *keyborad*, dan *mouse* yang terhubung dengan koneksi internet melalui sinyal *wi-fi*. Serta *software* berupa *Microsoft Office Windows 7*, aplikasi Notepad, aplikasi DNA *BioEdit* versi 7.2.5 dan aplikasi *MEGA6* versi 6.06. Pada penelitian ini juga menggunakan lembar observasi, panduan wawancara dan lembar uji kelayakan bahan pengembangan sumber belajar. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekuens gen *rbcL* kloroplas bambu yang diunduh dari laman *Genbank* NCBI https://www.ncbi.nlm.nih.gov.

Digunakan sekuens gen *rbcL* dari 14 spesies bambu, yaitu *Phyllostachys edulis, P. nigra, Fargesia nitida, F. spathacea, Bambusa bambos, B.* mutipex, *B. emiensis, Otatea acuminata, O. galuca, Chusquea spectabilis, C. liebmannii, Guadua chacoensis, G. angustifolia* dan *G. weberbaueri yang dikoleksi dari laman genbank NCBI.* Sekuen gen *rbcL* yang telah diunduh disejajarkan dengan aplikasi Notepad, kemudian dipreparasi menggunakan aplikasi *BioEdit* dan dikonstruksi pohon filogeni dengan aplikasi *Mega 6.* Konstruksi pohon filogeni bambu menggunakan metode statistik *UPGMA,*

Bootstrap method 1000 kali ulangan dan model pohon *Maximum Composite likelihood*. Hasil penelitian kekerabatan bambu berbasis analisis in silico kemudikan diujikan kelayakannya sebagai bahan pengembangan sumber belajar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis kekerabatan 14 spesies bambu berbasis *in silico* berdasarkan homologi sekuen gen *rbcL*. Seluruh sekuen yang telah berhasil dikoleksi dari laman *GenBank* NCBI disejajarkan dan dilakukan preparasi. Hasil dari pensejajaran dan preparasi sekuens gen *rbcL* dari empat belas spesies bambu, didapatkan panjang sekuen yang sama yaitu 1436 bp. Hasil preparasi dan pensejajaran sekuen dapat dilihat pada Gambar 3.1.



```
                    190       200       210       220       230       240
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        TCTTCTACTGGTACATGGACAACTGTTTGGACTGATGGACTTACCAGTCTTGATCGTTAC
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           ............................................................
B. emeiensis        ............................................................
O. acuminata        ............................................................
P. nigra            ............................................................

B. multiplex        ............................................................
B. bambos           ............................................................
C. liebmanni        ............................................................
F. nitida           ............................................................
C. spectabil        ............................................................
F. spathacea        ............................................................

                    250       260       270       280       290       300
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        AAAGGACGATGCTATCACATCGAGCCCGTTGTTGGGGAGGAAAATCAATATATCGCTTAT
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           .....G.......................................T...........
B. emeiensis        ............................................................
O. acuminata        ............................................................
P. nigra            .....G.......................................T...........
B. multiplex        ............................................................
B. bambos           ............................................................
C. liebmanni        ........................T...................................
F. nitida           .....G.......................................T...........
C. spectabil        ............................................................
F. spathacea        .....G.......................................T...........

                    310       320       330       340       350       360
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        GTAGCTTATCCATTAGACCTATTTGAAGAGGGTTCTGTTACTAACATGTTTACTTCCATT
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           ............................................................
B. emeiensis        ............................................................
O. acuminata        ............................................................
P. nigra            ............................................................
B. multiplex        ............................................................
B. bambos           ............................................................
C. liebmanni        ............................................................
F. nitida           ............................................................
C. spectabil        ............................................................
F. spathacea        ............................................................

                    370       380       390       400       410       420
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        GTGGGTAACGTATTTGGTTTCAAAGCCCTACGCGCTCTACGTCTGGAGGATCTGCGAATT
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           ............................................................
B. emeiensis        ............................................................
O. acuminata        ............................................................
P. nigra            ............................................................
B. multiplex        ............................................................
B. bambos           ............................................................
C. liebmanni        ............................................................
F. nitida           ............................................................
C. spectabil        ............................................................
F. spathacea        ............................................................

                    430       440       450       460       470       480
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        CCCACTACTTATTCAAAAACTTTCCAAGGTCCGCCTCATGGTATCCAAGTTGAAAGGGAT

G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ...C........................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           ...C........................................................
B. emeiensis        ........................T...................................
O. acuminata        ...C........................................................
P. nigra            ...C........................................................
B. multiplex        ........................T...................................
B. bambos           ........................T...................................
C. liebmanni        ......G.....................................................
F. nitida           ...C........................................................
C. spectabil        ......G.....................................................
F. spathacea        ...C........................................................
```

```
                    490       500       510       520       530       540
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        AAGTTGAACAAGTACGGCCGTCCTTTTTTGGGATGTACTATTAAACCAAAATTGGGATTA
G. chacoensi        ........................................................
O. glauca           ........................................................
G. weberbaue        ........................................................
P. edulis           ........................................................
B. emeiensis        ........................................................
O. acuminata        ........................................................
P. nigra            ........................................................
B. multiplex        ........................................................
B. bambos           ........................................................
C. liebmanni        ........................C...............................
F. nitida           ........................................................
C. spectabil        ........................................................
F. spathacea        ........................................................

                    550       560       570       580       590       600
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        TCCGCAAAAAATTATGGTAGAGCGTGTTATGAGTGTCTACGCGGTGGACTTGATTTTACC
G. chacoensi        ........................................................
O. glauca           ........................................................
G. weberbaue        ........................................................
P. edulis           ...............C........................................
B. emeiensis        ........................................................
O. acuminata        ........................................................
P. nigra            ...............C........................................
B. multiplex        ......................................................T.
B. bambos           ........................................................
C. liebmanni        ........................................................
F. nitida           ...............C........................................
C. spectabil        ........................................................
F. spathacea        ...............C........................................

                    610       620       630       640       650       660
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        AAAGATGATGAAAACGTAAACTCACAACCATTTATGCGCTGGAGGGACCGTTTTGTCTTT
G. chacoensi        ........................................................
O. glauca           ........................................................
G. weberbaue        ........................................................
P. edulis           ........................................................
B. emeiensis        ........................................................
O. acuminata        ........................................................
P. nigra            ........................................................
B. multiplex        ........................................................
B. bambos           ........................................................
C. liebmanni        ........................................................
F. nitida           ........................................................
C. spectabil        ........................................................
F. spathacea        ........................................................

                    670       680       690       700       710       720
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        TGTGCCGAAGCAATTTATAAAGCACAGGCCGAAACCGGTGAAATCAAGGGGCATTACTTG
G. chacoensi        ........................................................
O. glauca           ........................................................
G. weberbaue        ........................................................
P. edulis           ....................T...................................
B. emeiensis        ...........TC.........................................
O. acuminata        ........................................................
P. nigra            ....................T...................................
B. multiplex        ...........TC.........................................
B. bambos           ...........TC.........................................
C. liebmanni        ...........T........T...........................A........
F. nitida           ....................T...................................
C. spectabil        ....................T...................................
F. spathacea        ....................T...................................
```

```
                    730       740       750       760       770       780
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        AATGCGACTGCAGGTACA-GTCGAAGAAATGATGAAGAGAGCTATATTTGCGAGAGAATT
G. chacoensi        ...................-...................................
O. glauca           ...................T.-............T.........G...............
G. weberbaue        ...................-...................................
P. edulis           ...................T.-.................................G.....
B. emeiensis        ...................T.-............T.........G..........G.....
O. acuminata        ...................T.-............T.........G...............
P. nigra            ...................T.-.................................G.....
B. multiplex        ...................T.-............T.........G..........G.....
B. bambos           ...................T.-............T.........G..........G.....
C. liebmanni        ...................T.-.................................G.....
F. nitida           ...................T.-.................................G.....
C. spectabil        .....A.............T.-.................................G.....
F. spathacea        ...................T.-.................................G.....

                    790       800       810       820       830       840
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        AGGGGCTCCTATTGTAATGCATGACTACTTAACTGGGGGATTTACCGCAAATACTAGTTT
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           .....T.....................................C.............C...
B. emeiensis        ..........................................C..T..............
O. acuminata        ............................................................
P. nigra            .....T.....................................C.............C...
B. multiplex        ..........................................C..T..............
B. bambos           ...........................................G..C..T...........
C. liebmanni        ..........................................C.................
F. nitida           .....T.....................................C.............C...
C. spectabil        .....T.....................................C..T..............
F. spathacea        .....T.....................................C.............C...

                    850       860       870       880       890       900
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        GGCTCATTATTGCCGCGACAATGGCCTACTTCTTCACATTCACCGGGCAATGCATGCAGT
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................

P. edulis           ............................................................
B. emeiensis        ............................................................
O. acuminata        ...........................................A................
P. nigra            ............................................................
B. multiplex        ............................................................
B. bambos           ............................................................
C. liebmanni        ............................................................
F. nitida           ............................................................
C. spectabil        ...........................................A................
F. spathacea        ............................................................

                    910       920       930       940       950       960
                    ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo        TATTGATAGACAGAAAAATCATGGTATGCATTTTCGTGTATTAGCTAAAGCATTGCGTAT
G. chacoensi        ............................................................
O. glauca           ............................................................
G. weberbaue        ............................................................
P. edulis           ............................................................
B. emeiensis        ............................................................
O. acuminata        ............................................................
P. nigra            ............................................................
B. multiplex        ............................................................
B. bambos           ............................................................
C. liebmanni        ............................................................
F. nitida           ............................................................
C. spectabil        ............................................................
F. spathacea        ............................................................
```

```
                    970       980       990      1000      1010      1020
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    GTCTGGGGGAGATCATGTCCACGCCGGTACAGTAGTAGGTAAGTTAGAAGGGGAACGCGA
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ................A...........................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ............................................................
B. emeiensis    ................A...........................................
O. acuminata    ................A...........................................
P. nigra        ............................................................
B. multiplex    ................A...........................................
B. bambos       ................A...........................................
C. liebmanni    ................A...........................................
F. nitida       ............................................................
C. spectabil    ................A...........................................
F. spathacea    ............................................................

                   1030      1040      1050      1060      1070      1080
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    AATGACTTTAGGTTTTGTTGATTTATTGCGCGATGATTTTATTGAAAAAGATCGTGCTCG
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ............................................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ............................................................
B. emeiensis    ............................................................
O. acuminata    ............................................................
P. nigra        ............................................................
B. multiplex    ............................................................
B. bambos       ............................................................
C. liebmanni    ............................................................
F. nitida       ............................................................
C. spectabil    ............................................................
F. spathacea    ............................................................

                   1090      1100      1110      1120      1130      1140
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    CGGTGTCTTTTTCACTCAGGACTGGGTATCCATGCCAGGTGTTATACCGGTGGCTTCAGG
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ....A.......................................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ....A.......................T...............................
B. emeiensis    ....A.......................................................
O. acuminata    ....A.......................................................
P. nigra        ....A.......................T...............................
B. multiplex    ....A.......................................................
B. bambos       ....A.......................................................
C. liebmanni    ....A.............................G.........................
F. nitida       ....A.......................T...............................
C. spectabil    ....A.......................................................
F. spathacea    ....A.......................T...............................

                   1150      1160      1170      1180      1190      1200
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    GGGTATTCATGTTTGGCATATGCCAGCTCTGACCGAAATCTTTGGAGATGATTCCGTATT
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ............................................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ............................................................
B. emeiensis    ...........................................T................
O. acuminata    ............................................................
P. nigra        ............................................................
B. multiplex    ...........................................T................
B. bambos       ...........................................T................
C. liebmanni    .........C..................................................
F. nitida       ............................................................
C. spectabil    ...........................................T................
F. spathacea    ............................................................
```

```
                    1210      1220      1230      1240      1250      1260
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    ACAATTTGGTGGAGGAACTTTAGGACATCCTTGGGGAAATGCACCTGGTGCAGCAGCTAA
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ............................................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ............................................................
B. emeiensis    ............................................................
O. acuminata    ............................................................
P. nigra        ...........................................T................
B. multiplex    ............................................................
B. bambos       ............................................................
C. liebmanni    ...........................................T................
F. nitida       ...........................................T................
C. spectabil    ...........................................T................
F. spathacea    ...........................................T................

                    1270      1280      1290      1300      1310      1320
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    TCGAGTGGCTTTAGAAGCTTGTGTACAAGCTCGTAACGAAGGACGCGATCTTGCTCGTGA
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ............................................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ...G.......................................G..............
B. emeiensis    ...G.............................T..........................
O. acuminata    ............................................................
P. nigra        ...G.......................................G..............
B. multiplex    ...G.............................T..........................
B. bambos       ...G.............................T..........................
C. liebmanni    ...G........................................................
F. nitida       ...G.......................................G..............
C. spectabil    ...G..A.....................................................
F. spathacea    ...G.......................................G..............

                    1330      1340      1350      1360      1370      1380
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
G. angustifo    AGGTAATGAAATTATCCGAGCAGCTTGCAAATGGAGTCCTGAACTAGCCGCAGCTTGTGA
G. chacoensi    ............................................................
O. glauca       ............................................................
G. weberbaue    ............................................................
P. edulis       ............................................................
B. emeiensis    ............................................................
O. acuminata    ............................................................
P. nigra        ............................................................
B. multiplex    ............................................................
B. bambos       ............................................................
C. liebmanni    ............................................................
F. nitida       ............................................................
C. spectabil    ............................................................
F. spathacea    ............................................................

                    1390      1400      1410      1420      1430
                ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|.
G. angustifo    AGTATGGAAGGCGATCAAATTCGAGTTCGAGCCGGTAGATAA-ACTAGATAAGTAG
G. chacoensi    ...........................................-............
O. glauca       ...........................................-............
G. weberbaue    ...........................................-............
P. edulis       .A.................T...................CT.-...........
B. emeiensis    ...........................................-............
O. acuminata    ...........................................-............
P. nigra        .A.................T...................CT.-...........
B. multiplex    ...........................................-............
B. bambos       ...........................................-............
C. liebmanni    .A.........................................-............
F. nitida       .A.................T...................CT.-...........
C. spectabil    .A.......A.................................-............
F. spathacea    .A.................T...................CT.-...........
```

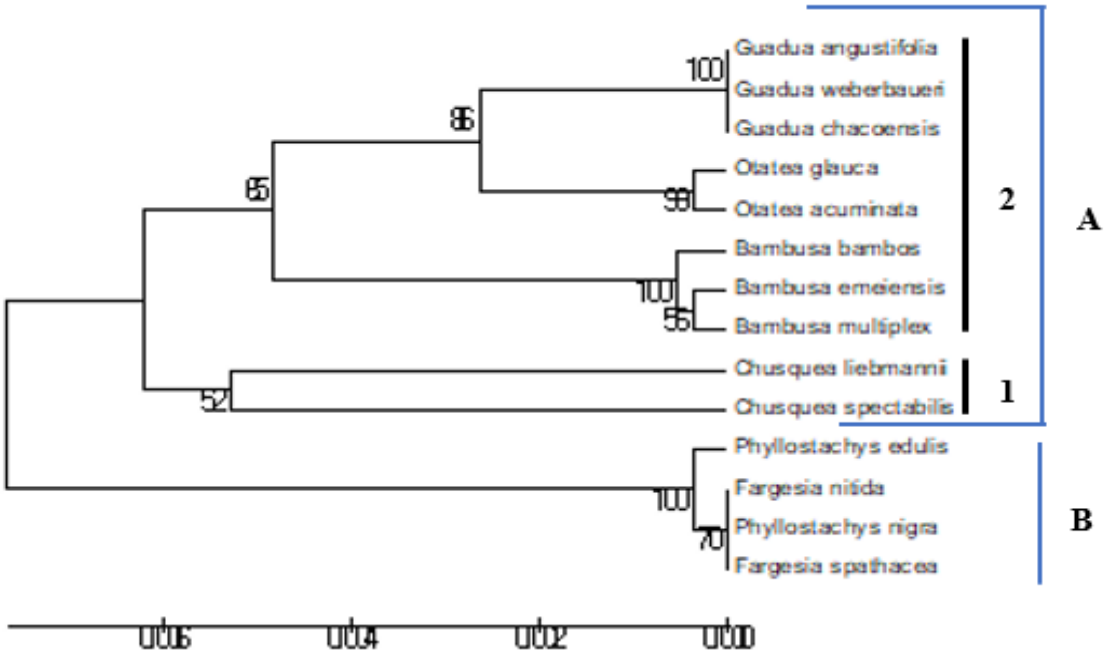
Gambar 3.1 Sekuen gen *rbcL* 14 spesies bambu

Berdasarkan hasil analisis sekuen gen *rbcL* dari empat belas bambu, terdapat perbedaan urutan basa nukleotida. Perbedaan basa nukleotida terjadi karena adanya mutasi. Pada dua spesies dari genus *Otatea* (*O. glauca* dan *O. acuminata*) terdapat perbedaan hanya pada nukleotida ke-886. Terjadi mutasi transisi pada *O. acuminata* dimana G (Guanine) menjadi A (*Adenine*). Pada peristiwa mutasi transisi terjadi pergantian suatu pasangan basa yang mengakibatkan perubahan kode genetik, akan tetapi tidak merubah asam amino sehingga tidak megakibatkan perubahan fungsi protein (Stansfield, 2006).

Pada empat belas sekuens gen *rbcL* bambu ditemukan juga mutasi transversi. Pada *Chusquea spectabilis* nukleotida ke-102 mengalami mutasi transversi. Nukleotida ke-102 *C. spectabilis* memiliki basa A (*Adenine*), sedangkan tiga belas spesies yang lain memiliki basa T (*Thymine*). Terjadinya mutasi transversi dapat mengakibatkan adanya perubahan asam amino yang terbentuk sehingga mempengaruhi ekspresi gen (Nur, 2016).

Hasil pengamatan sekuen gen *rbcL* pada empat belas spesies bambu juga ditemukan adanya peristiwa delesi. Spesies yang mengalami delesi pada nukleotida ke- 1423 adalah *B. bambos, B.* mutipex, *B. emiensis, O. acuminata, O. Galuca, C. spectabilis, C. liebmannii, G. chacoensis,G. angustifolia* dan *G. weberbaueri.* Peristiwa delesi juga terjadi pada nukleotida ke-1425. Spesies yang mengalami delesi pada sekuens gen ke-1425 adalah *Phyllostachys edulis, Phyllostachys nigra, Fargesia nitida* dan *Fargesia spathacea.* Spesies yang mengalami delesi pada nukleotida ke-1423 kehilangan basa nitrogen T sedangkan spesies yang mengalami delesi pada nukleotida ke- 1425 kehilangan basa nitrogen C.

Sekuens gen *rbcL* dari empat belas spesies bambu yang telah disejajarkan, dipreparasi, dianalisis kekerabatannya. Analisis kekerabatan berdasarkan homologi sekuen gen *rbcL*. Semakin tinggi tingkat homologinya, semakin dekat kekerabatan antar jenis karena mutasi yang terjadi semakin rendah. Hal tersebut yang menjadi dasar konstruksi pohon filogeni bambu dengan menggunakan aplikasi *Mega6*. Hasil konstruksi pohon filogenetik dari empat belas spesies bambu disajikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pohon filogeni 14 spesies bambu

Keterangan:
A: Group utama 1: Klaster I
B: Out group 2: Klaster 2

Hasil konstruksi pohon filogenetik bambu berdasarkan gen *rbcL* menunjukkan bahwa empat belas spesies bambu membentuk *out group* dan *group* utama. Out group terdiri dari *Phyllostachys edulis, Phyllostachys nigra, Fargesia nitida* dan *Fargesia spathacea.* Group utama terdiri dari sepuluh spesies yaitu *B. bambos, B.* mutipex, *B. emiensis, O. acuminata, O. glauca, C. spectabilis, C. liebmannii, G. chacoensis,G. angustifolia* dan *G. weberbaueri.*

Empat spesies bambu pada *out group* mengalami peristiwa mutasi yang paling banyak. Pada *Phyllostachys edulis, Phyllostachys nigra, Fargesia nitida* dan *Fargesia spathacea* terjadi tujuh mutasi transversi, yaitu pada nukleotida ke- 68, 138, 240, 424, 682, 837, dan 1422. Selain itu juga terjadi mutasi transisi sebanyak 12 kali pada *P. edulis*, sedangkan tiga spesies lainnya mengalami mutasi transisi sebanyak 13 kali pada urutan nukleotidanya.

Peristiwa delesi pada nukleotida ke-1423 dan 1425 1425 merupakan salah satu faktor yang mendukung pembentukan *group* utama dan *out group* pada pohon filogeni dari empat

belas spesies bambu dalam penelitian ini. Pada uraian diatas, sepuluh spesies yang mengalami delesi pada nukleotida ke-1423 setelah dilakukan konstruksi pohon filogenetik, sepuluh spesies tersebut menempati *group* utama. Pada empat spesies (*Phyllostachys edulis, Phyllostachys nigra, Fargesia nitida* dan *Fargesia spathacea*) yang mengalami delesi pada nukleotida ke- 1425 berada pada *out group*.

Terbentuknya *group utama* dan *out group* pada hasil konstruksi pohon filogeni juga diperkuat oleh hasil *World Bamboo Congress* (2012). WBC (2012) mengelompokkan bambu menjadi 3 kelompok yaitu, Arudinariae, Bambuseae dan Olyreae. Seluruh spesies bambu yang ada pada group utama merupakan jenis bambu yang ada pada kelompok Bambuseae, sedangkan 4 spesies bambu yang ada pada out group merupakan jenis bambu yang berada pada kelompok Arudinariae.

Group utama pada pohon filogeni berdasarkan gen *rbcL* bambu membentuk dua klaster (1 dan 2). Klaster 1 terdiri dari *C. spectabilis dan C. liebmannii*. Dua spesies yang berada pada klaster satu sama-sama mengalami 3 kali mutasi transversi, akan tetapi terjadi pada urutan nukleotida yang berbeda-beda. *Chusquea spectabilis* mengalami mutasi transversi pada nukleotida ke-68, 102 dan 682, sedangkan *Chusquea liebmannii* mengalami mutasi pada nukleotida 68, 672 dan 682. Jumlah peristiwa mutasi transisi pada *C. spectabilis* empat belas kali sedangkan pada *C. liebmannii* tiga belas kali.

Klaster 2 terdiri dari dua sub klaster, yaitu sub klaster **a** dan **b**. Sub klaster **a** terdiri tiga spesies bambu dari Bambusa, sedangkan klaster **b** terdiri dari 5 spesies dari Otatea dan Guadua. Tiga spesies yang berada pada sub klaster **a** (*B. bambos, B.* mutipex, *B. emiensis)* memiliki jumlah peristiwa mutasi transversi yang sama, yaitu lima kali. Mutasi transisi pada *B. bambos, B.* mutipex terjadi sebanyak sepuluh kali, sedangkan pada *B. emiensis* terjadi sembilan kali. Selain peritiwa mutasi, spesies yang berada pada sub klaster **a** mengalami delesi pada nukleotida ke-741 dan 1423. Pada sub klaster **b** juga mengalami dua kali peristiwa delesi, yaitu pada nukleotida ke-739 dan 1423, akan tetapi seluruh spesies yang berada pada sub klaster **b** tidak mengalami mutasi pada sekuen gen *rbcL*-nya.

Terbentuknya klaster dan sub klaster pada *group* utama pohon filogeni sesuai dengan hasil *World Bamboo Congress* (2012). Seluruh spesies bambu

yang ada pada group utama merupakan jenis bambu yang ada pada kelompok Bambuseae. Menurut *WBC* (2012) Bambuseae memiliki 9 sub kelompok, yaitu Neotropical, Arthrostylidiinae, Chusqueinae, Guaduniae, Paleotropical, Bambusinae, Hickliinae, Melocanninae dan Racemobambosinae. Pada penelitian ini spesies yang berada pada klaster 1 merupakan sub kelompok Chusqueinae, sedangkan pada klaster 2 terdiri dari 2 sub kelompok *Guaduniae*, dan Bambusinae. Sub klaster **a** pada klaster 2 merupakan spesies bambu yang yang berada pada sub kelompok Bambusinae sedangkan sub klaster **b** merupakan spesies yang berada pada sub kelompok Guaduniae.

Ditemukan sesuatu yang menarik pada sub klaster **b**. Tiga spesies bambu dari Guadua berada pada satu cabang pohon filogeni yang sama. Ketiga spesies tersebut *G. chacoensis*, *G. angustifolia* dan *G. weberbaueri* memiliki hubungan kekerabatan yang dekat, tidak ada perbedaan sama sekali pada sekuens gen *rbcL*. Hal tersebut yang menjadikan ketiga spesies tersebut mengelompok pada cabang pohon filogeni yang sama. Pada pohon filogeni masing-masing spesies yang memiliki tingkat kekerabatan paling dekat dikelompokkan pada cabang yang sama (Sukri, 2014).

Berdasarkan hasil analisis kekerabatan bambu dengan pendekatan molekuler gen *rbcL* berbasis *in silico*, spesies yang berada pada genus yang sama belum tentu berkerabat dekat. Hal tersebut ditunjukkan spesies yang tergabung dalam *out group*. *Phyllostachys edulis, Phyllostachys nigra* memiliki hubungan kekerabatan yang lebih dekat dengan *Fargesia nitida* dan *Fargesia spathacea. Phyllostachys edulis* membentuk cabang sendiri, sedangkan *Phyllostachys nigra* berada pada cabang pohon filogeni yang sama *F. nitida* dan *F. spathacea.* Anatara *P. edulis* dan *P. edulis* hanya terdapat satu perbedaan pada nukleotida ke-1254, sedangkan *P. edulis* dengan *F. nitida* dan *F. spathacea* tidak memiliki perbedaan sama sekali.

Hasil penelitian kekerabatan bambu menggunakan gen rbcL berbasis analisis in silico kemudian di uji kelayakannya sebagai bahan pengembangan sumber belajar biologi SMA pada materi Evolusi. Aspek yang dinilai, diantaranya fakta dari penemuan-penemuan pada penelitian kekerabatan bambu yang dikaitkan dengan KD "4.2 Mengkomunikaskan hasil studi evolusi biologi dan 4.3 Menjelaskan

kecenderungan baru tentang teori evolusi" dari silabus KTSP SMA mata pelajaran Biologi, materi evolusi yang menjadi isu peting dalam kehidupan sehari-hari. Rekapitulasi hasil uji kelayakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rekapitulasi Penilaian Kelayakan Penelitian Tahap I

No.	Penguji	Skor Perolehan dari Aspek yang Dinilai			Nilai
		1	2	3	
1	Praktisi	3	4	4	100%
2	Ahli Materi	3	3	4	90,9%
3	Ahli Pembelajaran	3	4	4	100%
Rata-rata					97%

Berdasarkan hasil uji kelayakan oleh dua dosen ahli dan satu praktisi guru mata pelajaran Biologi, penelitian kekerabatan bambu menggunakan gen rbcL berbasis analisis *in silico* dinyatakan 97% layak digunakan sebagai bahan pengembangan sumber belajar biologi SMA pada materi Evolusi. Pengembangan sumber belajar menggunakan bahan hasil penelitian pernah dilakukan oleh Nuha dkk (2016), yang berhasil mengembangkan buku Ajar berbasis penelitian evolusi dan filogenetik molekuler untuk mata kuliah evolusi. Imtihana dkk (2014) juga berhasil mengembangan buklet berbasis penelitian.

IV. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpukan bahwa:

1. Kekerabatan 14 spesies bambu menggunakan gen *rbcL* berbasis analisis *in silico* didapatkan pohon filogenetik yang membentuk *group* utama dan *out group*. *Group* utama terdiri dari 10 spesies yang mengelompok menjadi dua klaster, sedangkan out group terdiri dari 4 spesies bambu. Spesies bambu yang berada pada *genus* yang sama belum tentu memiliki hubungan kekerabatan yang dekat.
2. Hasil penelitian kekerabatan bambu menggunakangen gen *rbcL* berbasis analisis *in silico* 97% layak digunakan sebagai bahan pengembangan sumber belajar biologi SMA pada materi evolusi.

V. DAFTAR PUSTAKA

Abdullah R. 2012. Pembelajaran Berbasis Pemanfaatan Sumber Belajar. *Jurnal Ilmiah DIDAKTIA* 7 (2):216-231.

Anissa. 2017. Keragaman Morfologi dan Genetik Bambu di Arboretum Universitas Padjajaran, Sumedang Jawa Barat. *Prosiding* Seminar Nasional Biodiversitas Indonesia 3 (3):351-360.

Balittri. 2011. Potensi Bambu Sebagai Tanaman Konservasi Daerah Aliran Sungai. http://balitri.litbang.pertanian.go.id/

index.php/berita/berita-lain?77-potensi-bambu-sebagai-tanaman-konservasi-daerah-aliran-sungai. (diakses pada 17 Januari 20018).

Consortium Barcode of Life (CBOL). 2009. A DNA Barcode for Land Plants. *PNAS*: 106 (31).

Charomaini Z.M. 2014. *Budidaya Bambu*. IPB Press: Bogor.

Imtihana, M., Martin H.B.F.P. dan Priyono, B. 2014. Pengembangan Buklet Berbasis Penelitian Sebagai Sumber Belajar Materi Pencemaran Lingkungan di SMA. *Journal of Biology Education* 3 (2): 186-192.

Julisaniah, N.I. 2008. Analisis Kekerabatan Mentimun (*Cucumis sativus* L.) Menggunakan Metode RAPD-PCR dan Isozim. *Biodiversitas* 9 (2):99-102.

Korall, P. dan Kenrick, P. 2002. *Phylogenetic Relatioships in Selaginellaceae Based on rbcL Sequences. American journal of Botany* 89 (3).

Nuha, U., Amin, A., Lestari, U. 2016. Pengembangan Buku Ajar Berbasis Penelitian Evolusi dan Filogenetik Molekuler untuk Mata Kuliah Evolusi di Universitas Jember. *Jurnal Pendidikan* 1 (9): 1791-1796.

Nur. A., Syahruddin. K. 2016. *Gandum: Peluang Pengembangan di Indonesia Aplikasi Teknologi Mutasi dalam Pembentukan Varietas Gandum Tropis*. Jakarta: Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press.

Karmana, I.W. 2009. Kajian Evolusi Berbasis Urutan Nukleotida. *Ganec Swara* 3 (3):75-81.

Pradipta, Y. 2012. Studi Molekuler untuk Menentukan Kekerabatan *Genus Zingiber* Varietas *Zerumbet*. *Skripsi*. FMIPA Institut Pertanian Bogor.

Primandiri P.R., Santoso A.M. 2015. Evaluasi Perkuliahan genetika untuk Calon Guru Biologi di Universitas Nusantara PGRI Kediri. *Prosiding Seminar Nasional XII* Pendidikan Biologi FKIP Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Richardson, J.E. 2002. A Phylogenetic Analysis of Rhamanaceae Using *rbcL* and *trnL-F* Plastid DNA Sequences. *American Journal of Botany* 87 (9): 1309-1324.

Stansfield, W.D. 2006. *Biologi Molekuler dan Sel*. Erlangga: Jakarta.

Sukri, A. 2014. Analisis Filogeni Kerbau Lokal Indonesia (Bubaus bubalis) dengan Gen *cyt b* Berbasis Biogeografi Sebagai Bahan Aja Mata Kuliah Bioinformatika. *Disertasi*. Universitas Negeri Malang.

Suparman. 2012. Markah Molekular dalam Identifikasi dan Analisis Kekerabatan Tumbuhan Serta Implikasinya bagi Mata Kuliah Genetika. *Jurnal BIOedukasi* 1 (1): 59-68.

Suparman. 2013. Desain Primer PCR *In Silico* untuk Amplifikasi Gen *rbcL* pada Genus Mangifera. *Jurnal BIOeduksi* 2(1): 163-170.

Supriadi. 2015. Pemanfaatan Sumber Belajar dalam Proses Pembelajaran. *Lantanida Juornal* 3 (2):127-139.

World Bamboo Congress. 2012. An Update Tibal and Subtribal Classification of The Bamboos (Poaceae:Bambusoideae). *World Bamboo Congress* 1 (2): 3-27.