

Aplikasi dan Persamaan Bentuk Graf pada Bidang Taksonomi dan Evolusi

Muhammad Anwari Leksono - NIM: 13508037

Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganeca 10 Bandung
E-mail : if18037@students.if.itb.ac.id

Abstract –Makalah ini membahas aplikasi graf pada beberapa bidang yang berada dalam ilmu Biologi. Pembahasan aplikasi pada graf dikhususkan pada penggunaan graf pada Ilmu Taksonomi dan Evolusi. Makalah ini juga membahas beberapa hal mengenai evolusi dan taksonomi serta manfaat dari penggunaan graf pada kedua ilmu tersebut.

Kata Kunci : graf, pohon taksonomi, pohon evolusi.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan graf pada kehidupan sehari-hari sangat luas dan beragam baik dalam bidang informatika maupun pada bidang lain. Penggunaan graf pada bidang ilmu Hayat atau Biologi sudah sangat umum dan mudah ditemukan dalam buku manapun.

Penggunaan graf pada Biologi biasanya terjadi pada penggambaran hubungan antara satu spesies dan spesies lainnya atau menyatakan hubungan antara satu waktu dengan waktu lainnya. Pada cabang Biologi yang mempelajari lingkungan / ekosistem atau biasa disebut Ekologi graf digunakan untuk untuk menggambarkan rantai makanan atau dapat pula disebut dengan jaring-jaring makanan. Graf tersebut menggambarkan hubungan makan-memakan antara satu individu dengan yang lainnya.

Pada bidang Biologi mikro atau bisa disebut dengan Mikrobiologi graf digunakan untuk menggambarkan antara satu waktu dengan waktu lainnya yang terjadi pada satu makhluk hidup. Contoh yang sederhana adalah gambar siklus pembelahan sel tunggal. Gambar tersebut merupakan graf yang menunjukkan perubahan yang terjadi pada individu tersebut dalam waktu tertentu. Pada bidang Taksonomi atau ilmu pengelompokan spesies graf digunakan untuk menjelaskan hubungan kekerabatan antara satu spesies tertentu dengan spesies yang lain. Pada bidang Evolusi graf digunakan untuk memperlihatkan perubahan yang terjadi pada makhluk hidup tertentu pada kurun waktu tertentu yang berskala ribuan hingga jutaan tahun.

Pada makalah ini penjelasan mengenai penggunaan graf pada bidang Biologi hanya dikhususkan pada bagian Evolusi dan Taksonomi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya penggunaan graf serta tingginya keuntungan digunakannya graf pada kedua bidang tersebut.

2. PEMBAHASAN

2.1. TEORI GRAF DAN POHON

2.1.1 GRAF

Graf adalah kumpulan dari simpul-simpul yang dihubungkan oleh garis-garis yang disebut dengan sisi. Graf secara matematis dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$G = \{V, E\},$$

dengan keterangan sebagai berikut :

V : vertex atau simpul

E : edge atau sisi

G : graf

Dengan demikian graf dapat disebut sebagai himpunan dari kumpulan simpul-simpul atau *vertex* dan sisi-sisi atau *edge* yang menghubungkan simpul-simpul tersebut satu sama lain.

Graf dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan ada atau tidaknya sisi ganda atau sisi kalang, berdasarkan jumlah simpul, atau berdasarkan orientasi arah pada sisi. Jenis-jenis graf adalah sebagai berikut :

1. Graf Sederhana

Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung gelang dan semua sisinya adalah tunggal.

2. Graf Tak-Sederhana

Graf dikatakan tidak sederhana jika mengandung gelang atau ada sisi yang tidak tunggal.

3. Graf Berhingga

Graf berhingga adalah graf yang mengandung sejumlah buah simpul yang berhingga.

4. Graf Tak-Berhingga

Graf tak-berhingga adalah graf yang memiliki tak-hingga buah simpul.

5. Graf Berarah

Graf dikatakan berarah jika mengandung sisi yang memiliki arah tertentu.

6 . Graf Tak-Berarah

Graf dikatakan tak-berarah jika tidak ada sisi pada graf tersebut yang memiliki arah. Bentuk/ contoh graf jenis ini mirip dengan Graf Berarah hanya saja arah yang terdapat pada Graf Berarah dihilangkan.

7. Graf Berbobot

Graf dikatakan sebagai graf berbobot jika semua sisinya memiliki harga atau nilai tertentu.

2.1.2 POHON

Pohon adalah graf berarah yang tidak memiliki sirkuit atau *loop*. Yang dimaksud sebagai *loop* adalah lintasan yang terdapat pada graf yang bermula dan berakhir pada simpul yang sama. Sehingga jika suatu graf berarah namun memiliki satu saja simpul maka itu bukanlah pohon.

Secara matematis pohon dapat dinotasikan seperti berikut :

$$T = \{V, E\},$$

dengan keterangan sebagai berikut :

T : tree

V : simpul atau vertex

E : sisi atau edge

Dengan demikian pohon dapat juga diartikan sama seperti graf yaitu himpunan dari sisi-sisi dan simpul. Namun untuk menjadi pohon, suatu graf harus berarah dan tidak mengandung gelang.

2.2. TAKSONOMI

Taksonomi adalah cabang dari ilmu Biologi yang khusus mempelajari cara-cara untuk mengelompokkan makhluk hidup berdasarkan ciri-ciri fisik mereka. Taksonomi pertama kali dikenalkan oleh seorang ahli botani yang berasal dari Swedia bernama Carl von Linné atau lebih dikenal dengan nama Carolus Linnaeus. Ilmuwan ini yang pertama kali melakukan pengelompokan terhadap organisme (makhluk hidup) dan beliau juga yang mengenalkan sistem penamaan universal yang dipakai untuk memberi nama suatu makhluk hidup tertentu dengan cara *binominal nomenclature* atau dikenal dengan sistem *penamaan dua-nama*. Sistem *binominal nomenclature* ini menggunakan nama *genus* dan *spesies* sebagai nama makhluk hidup dan bahasa yang digunakan adalah bahasa Latin.

Tujuan dari mengelompokkan makhluk hidup adalah memudahkan pelajar untuk mempelajari mereka masing-masing dengan detil. Jika suatu makhluk telah diketahui kelompoknya maka informasi fisis mengenai makhluk tersebut akan lebih mudah untuk diketahui sehingga pengamatan bisa lebih sederhana.

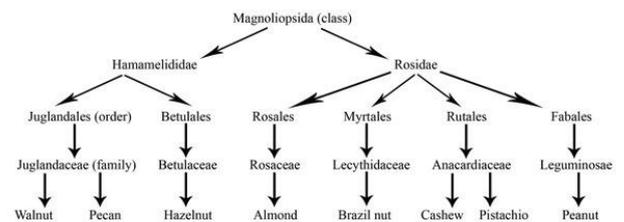
2.3. EVOLUSI

Evolusi adalah cabang dari ilmu Biologi yang khusus untuk mengamati dan mempelajari segala perubahan yang terjadi pada suatu spesies tertentu dalam kurun waktu yang sangat lama. Kurun waktu yang digunakan bisa mencapai skala ribuan bahkan jutaan tahun. Dari sini kita bisa melihat bahwa tiap-tiap subjek yang dipelajari dalam evolusi selalu terkait dengan waktu sehingga kita boleh menduga bahwa graf yang bisa terdapat dalam bidang ini adalah graf berbobot dengan satuan waktu.

3. HASIL DAN ANALISA

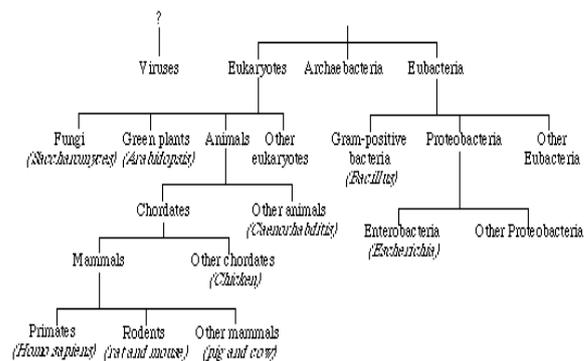
3.1. GRAF PADA TAKSONOMI

Pada Taksonomi graf digunakan untuk menunjukkan hubungan kekerabatan antara individu satu dengan lainnya. Graf ini secara umum digunakan untuk mengelompokkan makhluk hidup dengan ciri-ciri yang sama. Bentuk graf yang dipakai pada umumnya adalah pohon yang diberi nama *pohon filogeni*. Dalam biologi, *filogeni* atau *filogenesis* adalah kajian mengenai hubungan di antara kelompok-kelompok organisme yang dikaitkan dengan proses evolusi yang dianggap mendasarinya. Bentuk graf/pohon yang sering digunakan adalah bentuk pohon. Berikut adalah contoh untuk graf/pohon taksonomi :



Gambar 3.1.1 : Pohon Filogeni untuk Kacang-Kacangan

Bentuk graf pada gambar 3.1.1 di atas adalah pohon karena memiliki arah dan tidak membentuk sirkuit. Simpul pada pohon menyatakan kelompok-kelompok makhluk hidup, akar dari pohon menyatakan *class* sedangkan dibawahnya terdapat *ordo*, *familia*, dan *genus*. Makin ke bawah tingkat kemiripan antara anggota didalamnya semakin tinggi sehingga pada akhir dari pohon ini terdapat daun yang menyatakan satu spesies dengan ciri yang berbeda dari yang lainnya.



Gambar 3.1.2 : Pohon Filogeni untuk Mikroba

Bentuk graf di atas adalah tidak dapat dikatakan sebagai pohon walaupun berbentuk seperti pohon karena graf di atas tidak memiliki arah. Pembacaan graf seperti ini bisa saja sama dengan cara membaca graf pohon.

Simpul tak bernama yang merupakan *induk* dari *Eukaryotes*, *Archaeobacteria*, dan *Eubacteria* adalah

ayah dari semua bakteri yang ada. Turunan dari *Eubacteria* dan *Eukaryotes* menuju kepada nama-nama lain yang karakter sel tunggalnya mirip dengan bagian atas mereka. Karena itu graf ini dikatakan sebagai *pohon filogeni*.

Kedua gambar tersebut merupakan graf namun hanya salah satu saja dari mereka yang merupakan pohon. Pohon memiliki komponen *akar*, *cabang*, dan *daun*. Untuk mengetahui simpul mana saja yang merupakan *cabang*, *daun*, atau *akar* maka diperkukan petunjuk dan petunjuk itu adalah arah pada graf. Kita bisa membaca kedua gambar seperti pohon karena keduanya berbentuk seperti pohon. Namun jika seandainya posisi kedua gambar tersebut kita putar sebesar *n* derajat ke kiri atau ke kanan maka Gambar 3.1.2 akan menjadi sulit untuk ditentukan simpul yang menjadi *induk* dari simpul-simpul lain.

Lain halnya dengan Gambar 3.1.1 yang memiliki arah pada bentuknya. Perputaran atau perpindahan posisi simpul tidak akan membuat pembacaan menjadi salah karena hubungan *induk* dengan *turunannya* telah jelas dengan adanya panah-panah tersebut.

Kedekatan hubungan kekerabatan atau kemiripan sifat dapat dilihat dari keterhubungan antar simpulnya. Sebagai contoh kita dapat amati pada Gambar 3.1.2 mengenai Filogeni Mikroba. Jika dua simpul yang menyatakan kelompok atau individu terhubung langsung maka kemiripan antara keduanya sangat dekat namun jika tidak terhubung langsung kemiripan mereka lebih jauh daripada mereka yang terhubung langsung. Kita bisa melihat pada simpul *fungi* (*Saccharomyces*) yang terhubung langsung pada simpul *Eukaryotes* dan tak-terhubung langsung dengan simpul *Archaeobacteria*. Kemiripan antara *fungi* dan *Eukaryotes* lebih banyak dari pada kemiripan *fungi* dengan *Archaeobacteria*. Hal ini bisa dilihat dengan tabel berikut :

	<i>fungi</i>	<i>Eukaryotes</i>
Membran Sel Ganda	O	O
Membran Inti Ganda	O	O
Mitokondria	O	O
Respirasi	Anaerob	Aerob/Anaerob

Tabel 3.1.1 Tabel Kemiripan Sel *Fungi* dan *Eukaryotes*

Sedangkan kemiripan antara *fungi* dengan *Archaeobacteria* dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

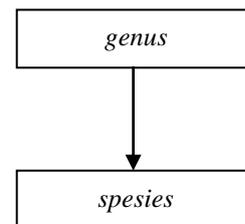
	<i>fungi</i>	<i>Archaeobacteria</i>
Membran Sel Ganda	O	X
Membran Inti Ganda	O	X
Mitokondria	O	X
Respirasi	Anaerob	Anaerob/Aerob

Tabel 3.1.2 Tabel Kemiripan Sel *Fungi* dan *Archaeobacteria*

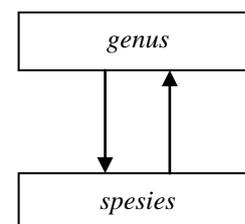
Kedua tabel di atas memperlihatkan bahwa kuat hubungan antara dua kelompok/individu maka kemiripan mereka akan semakin tinggi dan jika hubungan simpul mereka lemah (tak terhubung langsung) maka kemiripan mereka tidak sekuat mereka yang terhubung langsung.

Dalam memandang graf/ pohon Taksonomi jika keperluan untuk memandang hanya difokuskan pada pencarian kemiripan maka posisi *induk* dan *cabang* menjadi tidak penting karena yang dilihat untuk mencari informasi itu adalah keterhubungan dua objek yang akan dilihat kemiripannya sehingga *arah* yang terdapat pada graf ini menjadi hal sampingan saja. Namun jika ingin melihat tingkatan Taksonomi atau kelompok teratas maka komponen *arah* pada graf menjadi sangat penting untuk menentukan simpul yang menjadi *akar* atau memiliki tingkat Taksonomi tertinggi dalam graf dan tingkat yang lebih tinggi dari objek yang diamati.

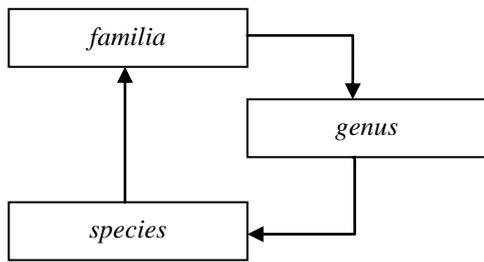
Dalam penggunaan graf pada Taksonomi tidak pernah dijumpai *gelang* atau *loop* pada graf tersebut. Arah yang terdapat pada graf pastilah graf dengan satu arah dan tidak ada arah yang mengarah ke simpul semula. Ilustrasi dapat diperjelas dengan gambar berikut :



Gambar 3.1.3 Hubungan Antar-Simpul Satu Arah



Gambar 3.1.4 Hubungan Antar-Simpul Dua-Arah

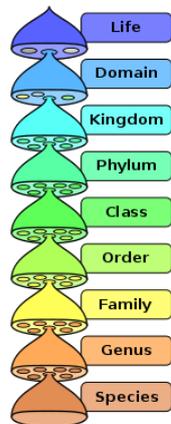


Gambar 3.1.5 Hubungan Antar-Simpul Membentuk Loop

Pohon atau graf taksonomi menunjukkan tingkatan kemiripan makhluk hidup sehingga akan selalu ada tingkatan atas dan tingkatan bawahnya secara searah dan bukan dua arah atau lebih. Hal ini ditunjukkan dengan Gambar 3.1.3 yang memperlihatkan hubungan antara tingkat taksonomi *genus* dengan tingkat yang berada dibawahnya, *species*. Gambar ini juga menyatakan dengan tegas bahwa *genus* berada di tingkat yang lebih tinggi daripada *species*.

Pada Gambar 3.1.4 terlihat bahwa terjadi hubungan bolak-balik antara keduanya. Hal ini membingungkan karena jika ada dua tingkat atau lebih yang digambar dengan hubungan bolak-balik maka itu akan diartikan memiliki kesetaraan padahal dalam Taksonomi *genus* merupakan tingkat taksonomi yang lebih tinggi dari pada *species*. Hal yang sama juga berlaku pada Gambar 3.1.5 yang memperlihatkan adanya loop yang terjadi antara simpul *genus*, *familia*, dan *species*.

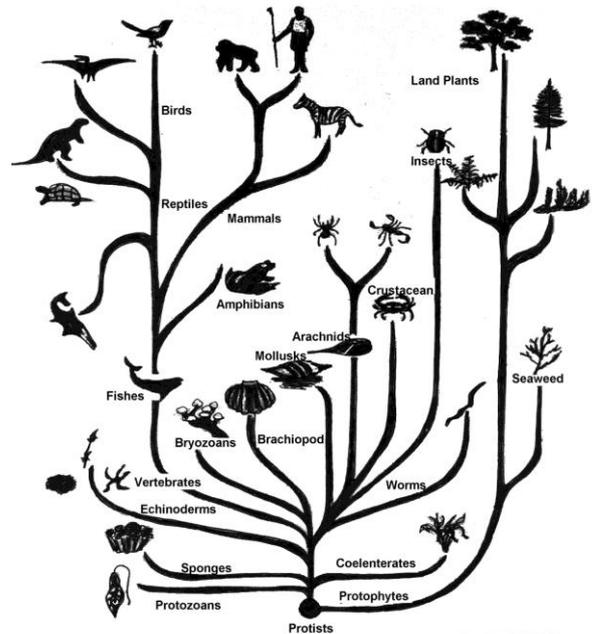
Pada Gambar 3.1.5 terlihat bahwa *genus* merupakan turunan dari *familia* dan *species* merupakan turunan dari *genus*. Namun pada gambar itu juga diperlihatkan bahwa *familia* merupakan turunan dari *species*. Hal ini jelas tidak benar karena tak mungkin tingkat taksonomi bawah lebih tinggi dari pada yang di atas. Secara umum urutan tingkatan Taksonomi dapat diperlihatkan dengan diagram seperti berikut :



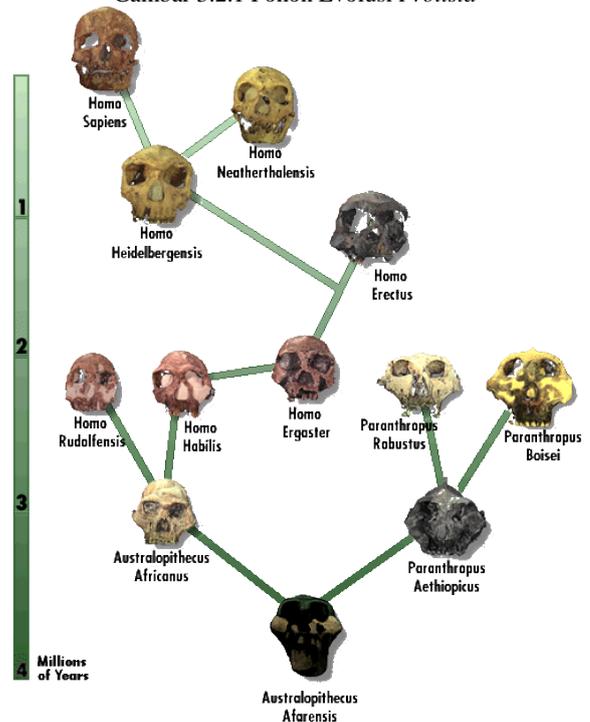
Gambar 3.1.6 Diagram Klasifikasi Makhluk Hidup

3.2. GRAF PADA EVOLUSI

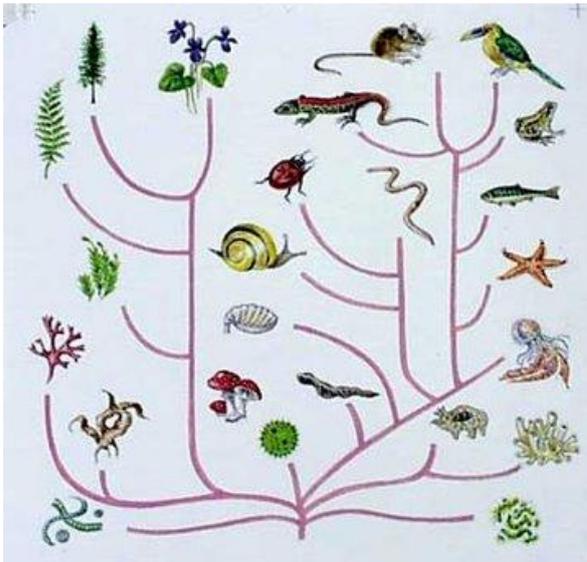
Penggunaan graf dalam Evolusi terdapat pada penulisan tahap perubahan fisik makhluk hidup dalam waktu tertentu. Pada penerapan graf untuk bidang evolusi jenis graf yang dipakai adalah selalu pohon. Hal ini disebabkan oleh adanya unsur waktu yang terdapat dalam pembuatan graf ini. Selain itu graf yang terdapat pada evolusi juga merupakan graf berarah-satu. Contoh-contoh penggunaan graf pohon pada evolusi dapat dilihat dengan gambar-gambar berikut :



Gambar 3.2.1 Pohon Evolusi Protista



Gambar 3.2.2 Pohon Evolusi Tengkorak Manusia



Gambar 3.2.3 Pohon Evolusi Global

Pohon evolusi merupakan graf dan jika diasosiasikan dengan graf pohon maka akan terjadi pasangan sebagai berikut :

- akar = nenek moyang awal atau *ancestor*
- daun = hasil evolusi terakhir atau *descendant* akhir
- cabang / *node* = *descendant* yang masih berevolusi

Pada Gambar 3.2.1 yang menjadi akar adalah *protista*. Hal ini terlihat bahwa *protista* memiliki turunan yang merupakan hasil dari evolusi dirinya. Hal ini dinamakan *node*. *Node* ini mungkin memiliki turunan hasil evolusi dirinya atau tidak. Jika tidak memiliki turunan maka *node* ini dapat dinamakan daun atau turunan hasil evolusi terakhir.

Pohon evolusi pada Gambar 3.2.1 secara eksplisit memang tidak terdapat gambar yang menyatakan arah namun secara implisit arah pembacaan pohon selalu berasal dari akar menuju daun.

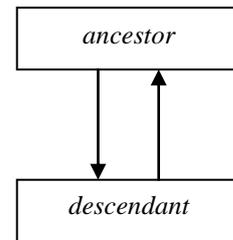
Pada Gambar 3.2.2 akar adalah gambar tulang kepala yang dinamai *Australopithecus afarensis* dan daun-daunnya adalah *Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis*, *Homo erectus*, *Homo rudolfensis*, *Paranthropus robustus*, dan *Paranthropus boisei*. Posisi akar dan daun dapat diketahui dengan mudah karena pada gambar tersebut terdapat penunjuk skala waktu yang terdapat pada sebelah kanan gambar.

Penggambaran pohon evolusi yang jelas dan lengkap adalah seperti pada Gambar 3.2.2 ini karena selain menampilkan urutan terjadinya evolusi dengan diagram pohon gambar ini juga menyertakan penunjuk skala waktu yang jelas sehingga kisaran waktu evolusi dapat diketahui dengan jelas beserta arah evolusinya.

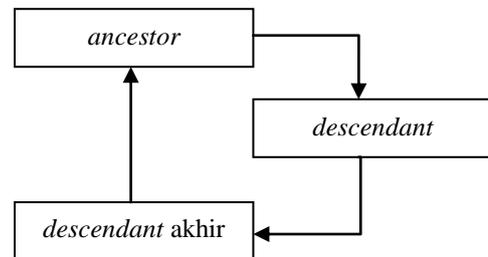
Hal ini juga berlaku pada Gambar 3.2.3 dan Gambar 3.2.1. Namun perbedaan kedua gambar tersebut dengan Gambar 3.2.2 adalah tidak ada bagian dari

gambar yang berfungsi sebagai penunjuk waktu evolusi dan juga sebagai arah jalannya evolusi.

Pada pohon evolusi arah yang terdapat pada gambar baik secara eksplisit maupun implisit harus satu arah. Hal ini disebabkan oleh hubungan antara *ancestor* dengan *descendant* tidaklah bolak-balik atau ganda sehingga pada penggambaran pohon evolusi tidak boleh terdapat bentuk sirkuit atau *loop*. Penjelasan untuk hal ini dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 3.2.4 Hubungan dua arah *ancestor* dengan *descendant*



Gambar 3.2.5 Loop *ancestor* dengan *descendant*

Jika terjadi hubungan *loop* atau ganda seperti pada Gambar 3.2.4 dan 3.2.5 maka kedudukan simpul sebagai *ancestor* dan *descendant* akan menjadi pertanyaan. Tentu saja ini adalah hal yang salah jika sebuah *descendant* akhir merupakan nenek moyang dari *ancestor* sedangkan *ancestor* didefinisikan sebagai awal dari evolusi dengan kata lain ia adalah bentuk awal dari *descendant* dibawahnya. Hal ini berlaku untuk dua gambar di atas.

3.3 Persamaan Graf dalam Evolusi dan Taksonomi

Bentuk graf pada Taksonomi atau Evolusi ditujukan untuk memudahkan pembaca memahami alur terjadinya peristiwa evolusi dan tahap-tahap pengelompokan pada makhluk hidup. Dengan tujuan tersebut maka secara umum komponen penyusun graf ada dua macam yaitu *tingkat atas* dan *tingkat bawah*. Pada bidang evolusi *tingkat atas* diartikan sebagai *ancestor* sedangkan pada taksonomi adalah kelompok dengan jumlah persamaan ciri-ciri lebih rendah. *Tingkat bawah* pada evolusi didefinisikan sebagai *descendant* sedangkan pada taksonomi adalah kelompok dengan jumlah persamaan lebih tinggi.

Pada graf dengan komponen-komponen di atas penggambaran tidak boleh mengandung *loop* atau hubungan ganda antara simpul dengan alasan yang telah dibahas pada bagian 3.2 dan 3.1 di atas.

Penggambaran juga harus menjadikan graf memiliki arah agar perubahan bentuk graf tidak membuat makna graf berubah.

Jika graf digambar dengan ciri-ciri di atas maka akan didapatkan hasil penggambaran adalah bentuk graf pohon sesuai dengan definisi graf pohon itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Penggunaan graf pada bidang biologi dapat memudahkan pelajar atau pembaca tulisan mengenai hal tersebut untuk membaca dan memahami tanpa harus membaca teks penjelas yang panjang. Penggunaan graf bisa menyederhanakan berbagai penjelasan rumit menjadi sederhana dengan bentuk visual.

Graf pada bidang taksonomi berguna untuk menunjukkan hubungan kekerabatan antara spesies satu dengan yang lain sehingga dapat dikatakan graf yang paling berperan di bidang ini adalah graf berarah dan tanpa sirkuit atau pohon.

Graf pada bidang Evolusi sebagian besar terkait dengan masalah waktu sehingga graf yang berperah di bidang ini adalah graf berarah dan berbobot dengan definisi bobot dalam hal ini adalah waktu. Graf ini juga tidak memiliki sirkuit sehingga dapat dikatakan sebagai pohon.

DAFTAR REFERENSI TULISAN

[1] Ir. Rinaldi Munir, MT, *Diktat kuliah IF2153 Matematika Diskrit (Edisi Keempat)*, Teknik Informatika ITB, 2003.

[2] http://id.wikipedia.org/wiki/Pengenalan_evolusi (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009 11.13 AM)

[3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Evolution> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009, 12.15 AM)

[4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biology> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009, 11.00 AM)

[5] <http://map-bms.wikipedia.org/wiki/Taksonomi> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009, 19.00 AM)

[6] <http://wapedia.mobi/id/Taksonomi> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009, 19.12 AM)

DAFTAR REFERENSI GAMBAR

[1] <http://www.greendoorproperty.com.au/ModCoreFiles/Uploaded/image/evolution%20tree.jpg> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009 11.13 AM)

[2] http://www.iupui.edu/~mstd/a103/Human%20Origins%20Chart_files/iskull.gif (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009 11.13 AM)

[3] http://www.aarrgghh.com/gladYouAsked/animalsEvolution_g.jpg (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009 11.13 AM)

[4] <http://iwandahnial.files.wordpress.com/2009/02/darwin-6.jpg> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009 11.13 AM)

[5] <http://www.thetech.org/genetics/images/news/evolutionTree.gif> (Waktu Akses : Sabtu, 19 Desember 2009 11.13 AM)