

KEUNGGULAN BIODIVERSITAS HUTAN TROPIKA INDONESIA DALAM MEREKAYASA MODEL MOLEKUL ALAMI

Oleh

Prof. Dr. Taslim Ersam, MS
Peneliti Kimiawi Tumbuhan-ITS
Jurusan Kimia, FMIPA, ITS,
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya (60 111)

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah suatu negara kepulauan yang memiliki hutan tropika terbesar kedua di dunia, kaya dengan keanekaragaman hayati dan dikenal sebagai salah satu dari 7 (tujuh) negara “*megabiodiversity*” kedua setelah Brazilia. Distribusi tumbuhan tingkat tinggi yang terdapat di hutan tropika Indonesia lebih dari 12 % (30.000) dari yang terdapat di muka bumi (250.000). Sebagai mana telah diketahui bersama, tumbuh-tumbuhan tersebut telah dimanfaatkan manusia dalam kehidupan, sejak awal peradaban seperti untuk sandang, pangan, papan, energi, dan sumber ekonomi.

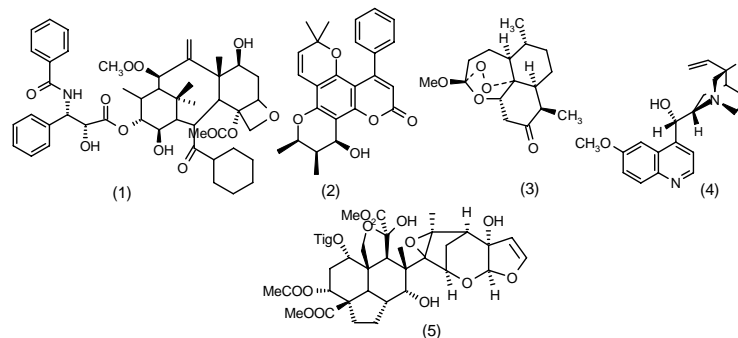
Disamping itu, yang tidak kalah menarik adalah setiap spesies tumbuhan merupakan sumber bahan kimia hayati (*chemical resources*), sehingga biodiversitas dapat dipandang sebagai suatu industri atau pabrik bahan kimiawi yang memproduksi sepanjang tahun menghasilkan bahan kimia berguna (*Chemical Prospectives*) melalui proses rekayasa bioteknologi alami (Achmad, 2001).

Data terakhir memperlihatkan penelitian kimiawi tumbuhan tingkat tinggi baru 0,4% yang sudah dilakukan. Disisi lain obat-obat modern yang diperdagangkan sampai saat ini, menunjukkan 25% diantaranya berasal dari kimiawi tumbuh-tumbuhan tropika, baik sebagai tumbuhan obat atau tumbuhan tingkat tinggi.

Penemuan senyawa taksol (1) dengan kerangka phorbol yang digunakan untuk obat kanker ovarium dan payudara, ditemukan dari *Taxus brevifolia* dan kalonolida A (2) dari golongan kumarin sebagai obat anti HIV yang ditemukan dari spesies *Calophyllum inophyllum*. Sebaliknya, juga obat-obatan yang sebelumnya sangat ampuh terhadap suatu penyakit, dapat pula mengalami resistensi (imun). Sebagai contoh, obat kina sebagai ant malaria, mengandung kuinin (3) turunan alkaloida, dihasilkan dari tumbuhan kina (*Cinchona Spp*), saat ini resistensi terhadap penyakit malaria. Pada saat yang bersamaan, para peneliti Cina menemukan senyawa yang sangat unik, yaitu

artemisinin atau qinghaosu (4) turunan siskuiterpenuid, yang ditemukan pada tumbuhan *Artemisia annua*, yang aktif terhadap parasit penyebab penyakit malaria. Catatan lain menunjukkan tumbuhan *Azadirachta indica* asal India menghasilkan azadiraktin (5) turunan triterpenoida, sebagai racun serangga (insektisida) melengkapi insektisida alami lainnya (Kimura, 1996).

Apabila proses pengobatan atau penyembuhan oleh obat, dapat dipandang sebagai suatu proses interaksi molekular antara senyawa mikromolekul dengan molekul-molekul biologis dari sumber atau penyebab penyakit. Interaksi tersebut tidak bersifat statis melainkan berkembang terus-menerus sesuai dengan kondisi dan situasional. Memperhatikan hipotesis tersebut, resistensi obat terhadap sumber penyakit-penyakit dapat terus berlangsung dan juga penyakit-penyakit baru. Hal ini adalah suatu tantangan dan sekaligus peluang bagi para peneliti kimia bahan alam pada masa-masa yang akan datang.



Pemberdayaan dan penelitian kimiawi tumbuh-tumbuhan sebagai sumber utama model molekul-molekul bioaktif baru adalah salah satu alternatif yang dapat menjawab dan memecahkan permasalahan (problems solving) dalam bidang kesehatan pada masa kini dan yang akan datang. Penelitian kimia tumbuhan yang dilakukan secara sistematis, berkelanjutan dan terpadu perlu mendapat prioritas utama guna memenuhi kebutuhan bahan-bahan bioaktif baru dalam bidang kesehatan, pertanian, bioindustri dan lain-lain.

Disamping itu, yang tidak kalah menariknya adalah hutan tropika Indonesia memiliki keanekaragaman hayati dapat dipandang sebagai pabrik atau Industri bahan-bahan kimia hayati, yang *renewable* berproduksi sepanjang tahun. Keanekaragaman hayati Indonesia adalah salah satu aset nasional dengan nilai ekonomis yang tinggi, yang merupakan *ecological specific* dengan *comparative advantage*. Sebagai contoh, satu spesies tumbuhan pada awalnya mempunyai nilai sebesar US\$ 100, setelah diproses

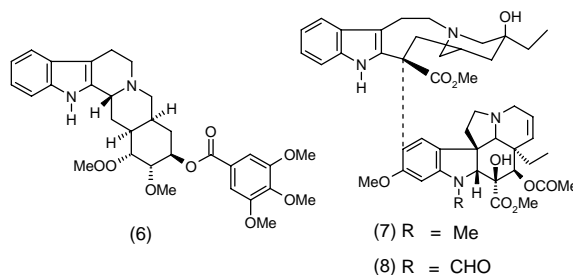
menjadi ekstrak kasar nilai ini dapat ditingkatkan sampai 10 kalilipat (US\$ 1000). Apabila dilakukan proses lebih lanjut sampai senyawa murni dan memiliki aktivitas tertentu, nilainya menjadi berlipat ganda, menjadi US\$. 10^9 (Achmad,1999; Backer, 1995).

Selanjutnya, para peneliti kimia bahan alam perlu pula proaktif dalam menjawab tantangan tersebut di atas, melalui penelitian pencarian dan penemuan bahan-bahan kimiawi baru dari tumbuh-tumbuhan hutan tropika Indonesia yang bernilai tinggi. Sehingga seleksi tumbuh-tumbuhan sebagai obyek atau bahan penelitian perlu dilakukan dengan tepat dan terpadu, agar tidak terjadi duplikasi antara satu peneliti dengan peneliti yang lain serta tepat sasaran dengan biaya yang pantas. Percepatan pencapaian tujuan tersebut akan dapat dilakukan melalui pendekatan metodologi yang sudah lazim digunakan oleh para peneliti kimia bahan alam, antara lain secara etnobotani dan filogenetik seperti berikut ini

1.1. Pendekatan etnobotani

Etnobotani sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari kelompok masyarakat dalam hubungannya dengan tumbuhan yang mereka gunakan telah banyak berperan dalam pengembangan obat-obatan. Penggunaan data tentang tumbuhan obat tradisional yang berasal dari hasil penyelidikan etnobotani merupakan salah satu cara yang efektif dalam menemukan bahan-bahan kimia baru dan berguna dalam pengobatan. Hal ini terlihat dari beberapa contoh berikut.

Penduduk asli Incas telah lama mengenal sifat-sifat antimalaria dari kulit tumbuhan cinchona, dari mana senyawa murni kuinin (4) telah ditemukan dan kemudian diperdagangkan sebagai obat malaria. Begitu pula penduduk India telah lama mengenal sifat hipotensif dari tumbuhan obat *Rauwolfia serpentina* dari mana senyawa murni reserpin (6) telah ditemukan dan diperdagangkan sebagai obat anti hipertensi. Selanjutnya, sifat antitumor dari tumbuhan obat *Catharanthus roseus* ditemukan sewaktu menyelidiki tumbuhan ini untuk sifat antidiabetik. Dua senyawa alkaloid, yakni vinkristin (7) dan vinblastin (8), yang telah digunakan masing-masing sebagai obat leukemia dan penyakit Hodgkin, ditemukan dari tumbuhan ini bersama-sama dengan 75 senyawa alkaloid lainnya.



Pada tahun 1980 nilai alkaloid ini dalam perdagangan internasional mencapai 100 juta US dolar. Pada saat ini terdapat sekitar 120 senyawa kimia alami yang berasal dari tumbuh-tumbuhan tinggi yang telah digunakan dalam pengobatan moderen, 75% di antaranya mempunyai kegunaan yang sama atau kegunaan yang berkaitan, seperti penggunaan tumbuhan dari mana senyawa-senyawa tersebut ditemukan. Perlu ditambahkan bahwa kurang dari 10% dari 120 bahan obat alami ini yang telah berhasil disintesis secara komersial dan mampu bersaing dengan yang dikumpulkan dari tumbuhan, berikut ini pada (Tabel 1) adalah beberapa spesies tumbuhan obat Indonesia dari famili Moraceae.

Tabel 1. Beberapa Tumbuhan Obat Indonesia pada Famili Moraceae

No	Spesies	Nama Daerah	Pengobatan
1	<i>Morus alba</i>	Murbei	Gonorrhoe Menambah air susu
2	<i>Artocarpus comunis</i>	Sukun	Penyakit kulit
3	<i>A. elastica</i>	Tarok, Teureup	KB; Tuberculosis Disentri
4	<i>A. integra</i>	Nangka	Demam; Sakit perut
5	<i>A. lakoocha</i>	Keledang beruk	Adstringent
6	<i>Antiaris toxicaria</i>	Ipoh, upas	Racun (antiarine)
7	<i>Ficus hispida</i>	Leluwing	Kutil, Murus
8	<i>F. ribes</i>	Walen, Kopeng	Malaria
9	<i>F. septica</i>	Awar-awar Ki ciyat	Antiracun; Agar muntah Penyakit kulit
10	<i>F. variegata</i>	Kondang	Antiracun Murus darah

I.2. Pendekatan filogenetik

Pendekatan filogenetik dapat pula digunakan untuk menemukan bahan-bahan kimiawi tumbuhan, didasarkan pada hubungan kekerabatan dari tumbuhan yang telah

diselidiki afinitas kimiawi dan bioaktifitasnya, seperti senyawa alkaloid, glikosida, steroid, dan flavonoid. Misalnya, vinkristin (9) dan vinblastin (10) hanya terdapat dalam jumlah sangat kecil dalam tumbuhan *Catharanthus roseus*. Penyelidikan terhadap kerabat tumbuhan yang terdapat pada taxa ini akan dapat mengungkapkan adanya alkaloid yang sama atau alkaloida vinca jenis lain dalam jumlah yang lebih banyak. Begitu pula dengan senyawa taksol yang bermanfaat sebagai obat penyakit kanker ovarium dan payudara adalah senyawa murni yang ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit dari tumbuhan *Taxus brevifolia*. Pencarian senyawa tersebut atau yang sejenis dengan sifat-sifat yang sama akan dapat ditemukan pada tumbuhan lain dalam taksa yang sama. Oleh sebab itu, dekumentasi dan publikasi hasil penelitian dengan baik dapat mempercepat pengembangan pengetahuan kemotaksonomi tumbuhan, seperti pada (Tabel 2)

Tabel 2. Beberapa Bahan Obat yang Berasal dari Tumbuhan Hutan Tropika

No	Nama Bahan Kimia	Sumber Tumbuhan	Katagori Terapi
1	Ajmalisin	<i>Rauwolfia serpentina</i> L. Benth ex Kurz (Apocynaceae)	Cirkulatory stimulant
2	Andrografolid	<i>Andrographis paniculata</i> Nees (Acanthaceae)	Antibakteri
3	Arekolin	<i>Areca Catechu</i> L. (Palmae)	Antelmintik
4	Asiatikosid	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urban (Umbelliferae)	Vulnerary
5	Atropin	<i>Duboisia myoporoides</i> R.Br. (Solanaceae)	Anticholinergic
6	Bromelain	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merrill (Bromeliaceae)	Antiinflammatory; proteolytic
7	Kamfer	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Nees & Eberm. (Lauraceae)	Rubefacient
8	Kimopapain	<i>Carica papaya</i> L. (caricaceae)	Protolitik; mukolitik
9	Kokain	<i>Erythroxylum coca</i> Lam. (Erythroxylaceae)	Anestetik lokal
10	Kurkumin	<i>Curcuma Longa</i> L. (Zingiberaceae)	Koleretik
11	Deserpidin	<i>Rauwolfia tetraphylla</i> L. (Apocynaceae)	Antihipertensif; penenang
12	L-dopa	<i>Mucuna deeringia</i> (Bort.) Merrill (Leguminosae)	Antiparkinson
13	Emetin	<i>Cephaelis ipecacuanha</i> (Brot) A. Richard (Rubiaceae)	Amebisida; emetik
14	Glaukarubin	<i>Simarouba glauca</i> DC. (Simaroubaceae)	Amebisida
15	Glaziovin	<i>Ocotea glaziovii</i> Mez (Lauraceae)	Antidepressant
16	Gosipol	<i>Gossypium species</i> (Malvaceae)	Kontraseptif pria
17	Hiosiamin	<i>Duboisia myoporoides</i> R.Br. (Solanaceae)	Antikolinergik
18	Kawain	<i>Piper methysticum</i> Forst.f. (Piperaceae)	Penenang
19	Monokrotalin	<i>Crotalaria spectabilis</i> Roth (Leguminosae)	Antitumor
20	Neoandrografolid	<i>Androgrsphis paniculata</i> Nees (Acanthaceae)	Disentri
21	Nikotin	<i>Nicotiana tobacum</i> L. (Solanaceae)	Insektisida
22	Kuabain	<i>Strophanthus gratus</i> (Hook) Baill.	Kardiotonik

		Apocynaceae	
23	Papain	<i>Carica papaya</i> L. (Caricaceae)	Proteolitik;mukolitik
24	Fisostigmin	<i>Physostigma venenosum</i> Balf. (Leguminosae)	Antikolinesterase
25	Pikrotoksin	<i>Anamirta cocculus</i> (L.) Wright & Arn.	Aanaleptik
26	Pilokarpin	<i>Pilocarpus jaborandi</i> Holmes (Rutaceae)	Parasimpatomimetik
27	Kuinidin	<i>Cinchona ledgeriana</i> Moens ex Trimen (Rubiaceae)	Antiaritmik
28	Kuinin	<i>Cinchona ledgeriana</i> Moens ex Trimen (Rubiaceae)	Antimalaria;antipiretik
29	Asam kuiskualat	<i>Quisqualis indica</i> L. (Combretaceae)	Antelmintik
30	Resinamin	<i>Rauwolfia serpentina</i> (L.) Benth.Ex Kurtz (Apocynaceae)	Antihipertensif ;penenang
31	Reserpin	<i>Rauwolfia serpentine</i> (L.) Benth.Ex Kurtz (Apocynaceae)	Antihipertensif; penenang
32	Rorifon	<i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern (Cruciferae)	Antitusif
33	Rotenon	<i>Lonchocarpus nicou</i> (Aubl.)DC. (Leguminosae)	Pisisida
34	Skopolamin	<i>Datura metel</i> L.(Solanaceae)	Sedatif
35	Steviosida	<i>Stevia rebaudiana</i> Hamsley Compositae)	Pemanis
36	Strilnin	<i>Strychnos nux-vomica</i> L. (Loganiaceae)	Perangsang sistem Syaraf pusat (CNS)
37	Teobromin	<i>Theobroma cacao</i> L. (Sterculiaceae)	Diuretik; Vasolidator
38	Tubokurarin	<i>Chondrodendron tomentosum</i> R. & P. (menispermaceae)	Pelemas otot kerangkq
39	Vasicin (peganin)	<i>Adhatoda vasica</i> Nees (Acanthaceae)	Oktitocik
40	Vinblastin	<i>Catharanthus Roseus</i> (L.)G. Don (Apocynaceae)	Antitumor
41	Vinkristin	<i>Catharanthus Roseus</i> (L.)G. Don (Apocynaceae)	Antitumor
42	Yohimbin	<i>Pausinystalia yohimba</i> (K. Schum.) Pierre ex Beille (Rubiaceae)	Adrenergic blocker; afrodisiak

Selanjutnya, agar penelitian dapat menghasilkan capaian yang optimal maka peneliti dapat menetapkan pilihan obyek penelitian dengan memperhatikan beberapa kriteria, seperti berikut ini;

1. Famili tumbuhan tropika yang terbesar, dengan jumlah genus dan spesies yang banyak, hal ini dapat menjamin tersedianya obyek penelitian, sehingga dapat dilakukan dalam jangka waktu yang lama.
2. Penyebarannya merata agar supaya mudah mendapatkan bahan, yang lebih penting belum banyak diselidiki, agar memberi peluang besar mendapatkan senyawa-senyawa dan bioaktifitas berbeda dan baru
3. Tumbuhan tersebut sebagai sumber senyawa-senyawa tertentu yang uniq dan kompleks, yang dapat menghasilkan beranekaragam senyawa, misalnya dari turunan santon atau flavonoid yang memiliki gugus isoprenil.

4. Tumbuhan tersebut juga berguna dimasyarakat, seperti obat tradisional, zat warna batik dan makanan, racun, bahan bangunan, kosmetika, dan lain-lain.
5. Berkolaborasi dengan kelompok penelitian yang sudah mapan baik dalam maupun luar negeri.

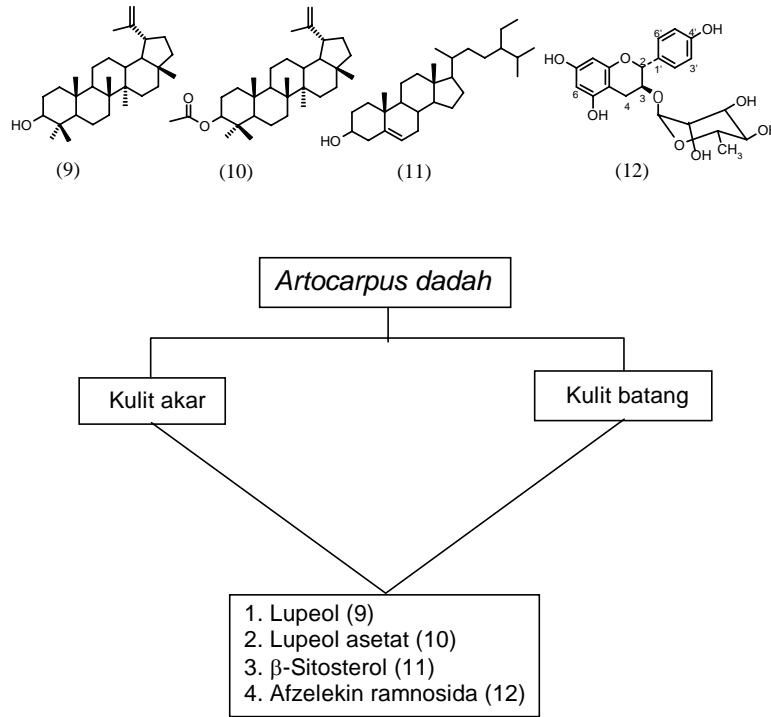
II. KEUNGGULAN KIMIAWI TUMBUHAN INDONESIA

Penelitian kimiawi tumbuhan tropika Indonesia telah banyak dilaporkan oleh sejumlah peneliti baik dari dalam ataupun dari mancanegara, yang memperlihatkan keanekaragaman molekul dari berbagai-macam senyawa dengan keanekaragam manfaat, baik sebagai bahan dasar obat, kosmetika, zat warna, insektisida, dan suplemen. Tumbuhan dari famili Moraceae merupakan sumber utama senyawa flavonoida, aril-benzofuran, stilben tersubstitusi gugus isoprenil dan oksigenasi (Achmad 1999; Nomura 1998; 1994; 1988; Venkataraman 1972). Famili Clusiaceae (Guttifera) dikenal sebagai sumber senyawa santon, kumarin, benzofenon dan biflavonoid yang tersubstitusi gugus isoprenil oksigenasi (Perez 1997; 2000).

Berikut ini, akan diperlihatkan beberapa keunggulan kimiawi tumbuhan tropika Indonesia, menggunakan tiga spesies tumbuhan dari genus *Artocarpus* (Moraceae), yang terdapat di hutan tropika Sumatera Barat, sebagai studi khusus, yaitu *A. bracteata* dan *A. dadah* adalah tumbuhan yang belum pernah diteliti, *A. altilis* asal Sri Lanka dan Taiwan sudah dilaporkan, sedangkan asal Indonesia belum pernah diteliti. Taksa ini dikenal sebagai sumber utama senyawa fenolat turunan flavonoida, aril-benzofuran, stilbenoid dan santon turunan flavonoida, terdiri dari 40 genus dan tidak kurang dari 3000 spesies, dari sejumlah senyawa yang dihasilkan mempunyai aktivitas biologi, sebagai promotor antitumor, antibakteri, antifungal, antiinflamatori, antikanker dan lain-lain. Keragaman kimiawi yang dihasilkan oleh ketiga spesies tersebut, seperti berikut ini;

A. dadah, dari spesies ini telah ditemukan dua kelompok utama yang lazim, yaitu kelompok non-fenolat terdiri dari tiga turunan triterpenoid, yakni lupeol (9), lupeol aasetat (10) dan β -sitosterol (11) dan dari kelompok fenolat yang termasuk turunan turunan flavan-3-ol, yaitu afzelekin-3-O- α -L-ramnosida (12). Afinitas kimiawi tumbuhan yang dilaporkan dari *A. dadah* termasuk kelompok langka dari tumbuhan

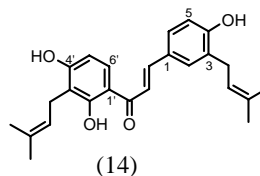
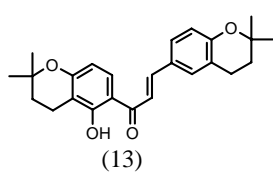
genus *Artocarpus* (Moraceae) yang dikenal sebagai sumber utama senyawa flavon *di-* atau *tri-*oksigenasi dan terisoprenilasi pada posisi C-3, sebaran senyawa seperti pada Gambar 2.1



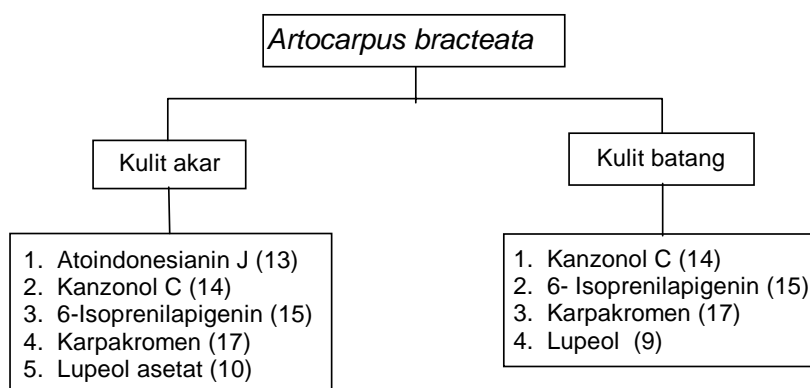
Gambar 2.1. Distribusi senyawa dalam tumbuhan *A. dadah*

Senyawa fenolat turunan flavan-3-ol, afzelekin-3-O- α -L-ramnosida (12), memiliki pola *mono*-oksigenasi pada posisi C-4' pada cincin B dari kerangka dasar flavan-3-ol tanpa gugus isoprenil. Walaupun demikian, afinitas kimiawi tumbuhan *A. dadah* memiliki kesamaan dengan tiga spesies lain dari genus yang sama, yaitu *A. nitidus*, *A. reticulatus*, *A. glaucus* (Achmad, 1998; Agustina, 1999; Yuliani, 1997).

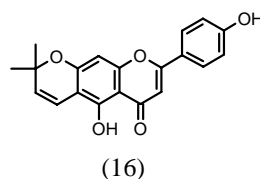
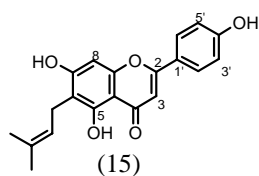
Artocarpus bracteata dilaporkan mengandung empat senyawa turunan fenolat, yang terdiri dari dua senyawa turunan calkon diisoprenilasi, satu diantaranya adalah senyawa baru dengan kerangka dasar calkon yang tersubstitusi oleh *tri*-oksigenasi dan *di*-isoprenilasi yang sudah mengalami siklisasi oksidatif membentuk *di*-kromen, yaitu artoindonesianin J (13) (Ersam 2002) dan satu lagi senyawa yang sudah dikenal, kanzonol C (14) (Ersam 1999a).



Disamping itu, ditemukan pula dua senyawa flavon *mono*-oksigenasi dan terisoprenilasi, yaitu 6-isoprenilapigenin (15) dan karpakromen (16), kedua senyawa ini merupakan penemuan baru (pertama kali) pada famili Moraceae, bersama dua senyawa terpenoida, yaitu lupeol (9) dan lupeol asetat (10) (Ersam 2001), sebaran senyawa pada *A. bracteata* seperti pada Gambar 2.2.

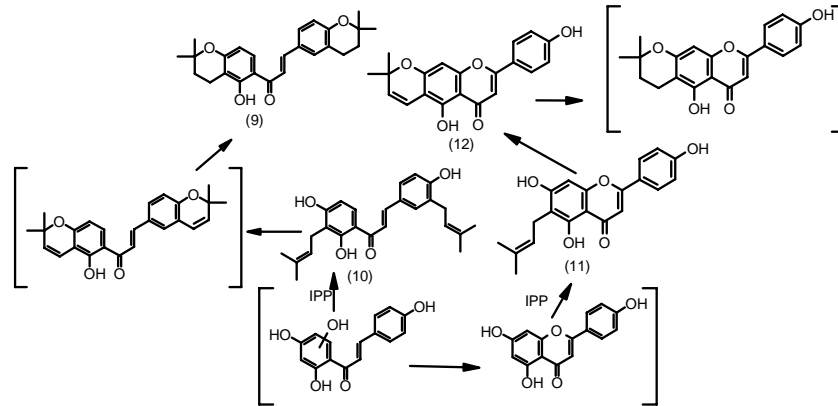


Gambar 2.2. Distribusi senyawa dalam tumbuhan *A. bracteata*



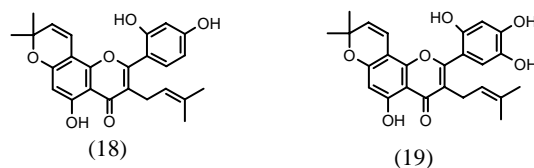
Keempat senyawa flavonoid yang ditemukan pada *A. bracteata* mempunyai pola yang sangat khas, yaitu *mono*-oksigenasi pada cincin B dan terisoprenilasi pada cincin A atau cincin A dan B pada posisi C-3' dan C-3 dari kerangka dasar calkon, sedangkan untuk senyawa dengan kerangka dasar flavon tersubsitusi pada posisi C-6. Senyawa-senyawa dengan pola tersebut di atas telah dilaporkan pada spesies-spesies dari genus *Paratocarpus* (Hano 1995a; 1995b) dan *Dorstenia* (Abegaz 1998). Walaupun kedua kelompok senyawa tersebut mempunyai kerangka dasar yang berbeda, tetapi

mempunyai pola substitusi yang sama, hal ini dapat dinyatakan senyawa-senyawa tersebut terbentuk melalui jalur biogenesis yang sama, seperti terdapat pada Gambar 2.3 (Abegaz, 1998; Nomura, 1995a; 1995b).

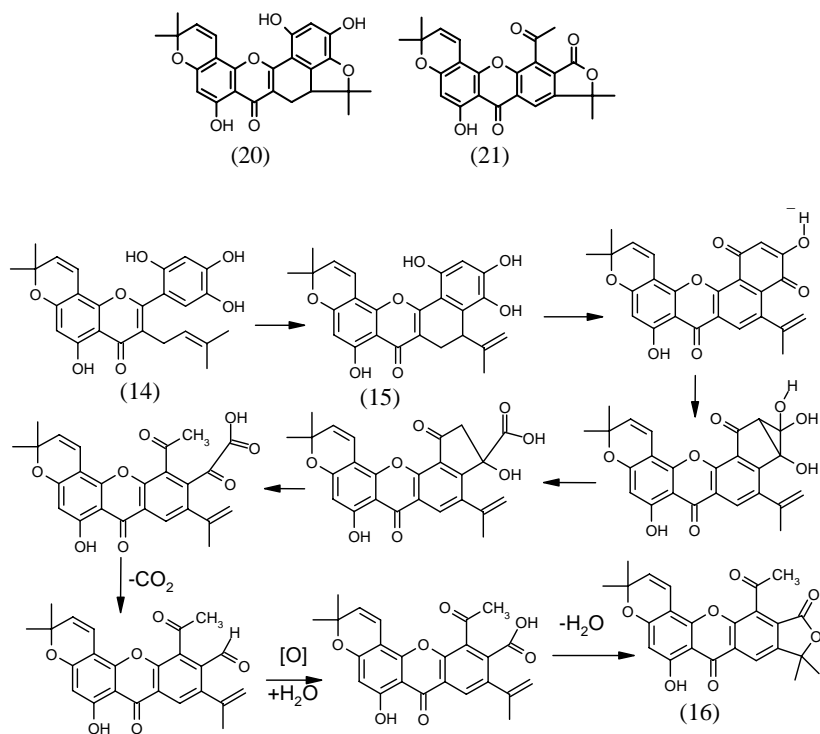


Gambar 2.3. Jalur biogenesis pembentukan flavonoida dalam genus *Dorstenia*

A. altilis adalah salah satu spesies yang telah dikenal oleh masyarakat dengan nama sukun, sebagai tanaman penghasil buah dan juga mengandung senyawa-senyawa flavonoid yang lazim dengan pola substitusi pada posisi 2',4'-dioksigenasi untuk morusin (18) dan 2',4',5'-trioksigenasi untuk artonin E (19) dan kedua senyawa tersebut tersubstitusi *di*-isoprenilasi pada C-3 dan C-8 pada kerangka dasar flavon (Ersam 2001; 2000; 1999b; 1999a)

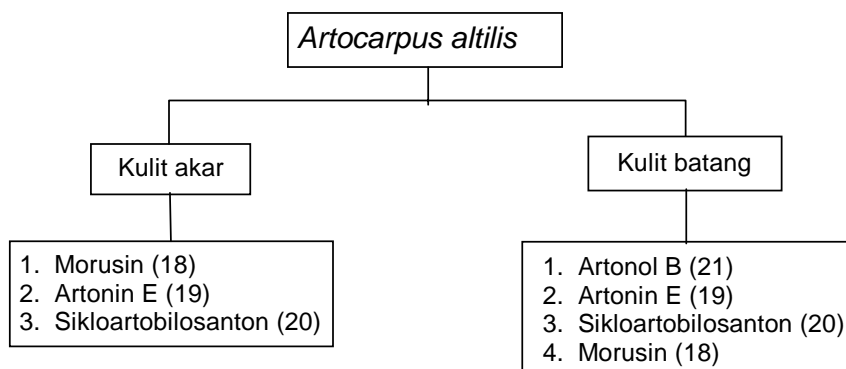


Disamping itu, ditemukan pula dua senyawa turunan artonin E (19) yang mengalami siklisasi oksidatif dari C-2'' pada gugus isoprenilasi dengan C-6' membentuk sikloartobilosanton (20) dengan kerangka dehidropiranosanton, dan selanjutnya melalui reaksi siklisasi oksidatif, dekomposisi, dekarboksilasi dan oksidasi dihasilkan senyawa dengan kerangka uniq, yaitu artonol B (21) (Aida 1996), mekanisme reaksi pembentukan senyawa tersebut disarankan, seperti pada Gambar 2.4



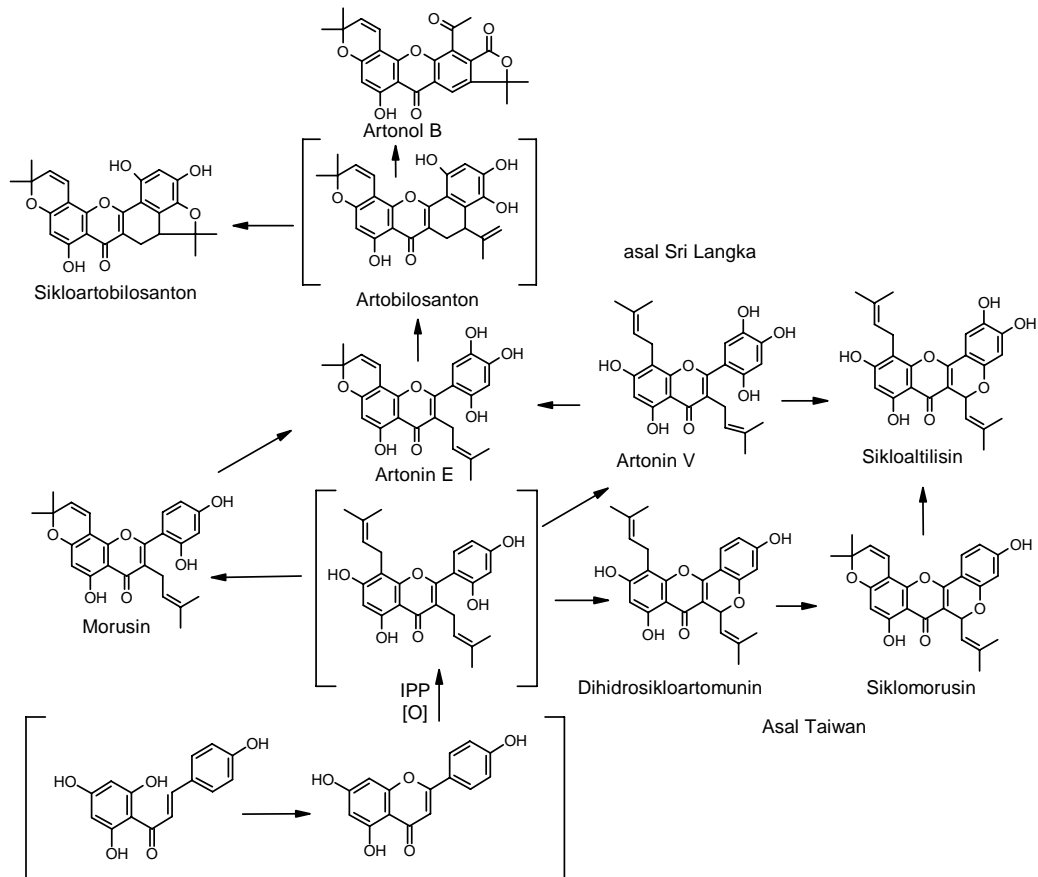
Gambar 2.4 Reaksi pembentukan artonol B (21) dari artonin E (19) melalui sikloartobilosanton (20)

Selanjutnya, sebaran senyawa-senyawa yang ditemukan pada spesies *A. altilis* terlihat seperti pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Senyawa-senyawa yang ditemukan dari ketiga spesies tersebut, memperlihatkan dua pola model molekul flavonoid, yaitu - *mono*-oksigenasi pada cincin B dan *mono*- dan atau *di*- isoprenilasi pada kerangka calkon, flavan-3-ol dan flavon, yang ditemukan

dapat terjadi akibat factor-faktor berikut, yaitu geografis, topologis, ekologis, dan bagian-bagian tumbuhan yang digunakan (Venkataraman 1974).



Gambar 2.6. Hubungan Kekerabatan Antar Molekul dari Senyawa pada *A. altilis* asal Indonesia (Ersam 2001), Taiwan, dan Sri Lanka (Hano 1994)

Struktur molekul untuk masing-masing senyawa tersebut telah dilakukan memanfaatkan data fisika dan spektroskopi UV, IR, MS, $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ satu dan dua dimensi.

III. KEMOTIPE TUMBUHAN *ARTOCARPUS*

Sembilan senyawa-senyawa flavonoid yang ditemukan dari ketiga spesies *Artocarpus bracteata*, *A. dadah*, dan *A. altilis* memperlihatkan adanya kecenderungan pola struktur yang sama dengan senyawa-senyawa flavonoid pada genus *Artocarpus*.

Dari keteraturan struktur molekul yang dilaporkan dapat dibedakan dalam dua kelompok kemotipe, yaitu kemotipe I yang dihasilkan oleh *A. dadah* dan *A. bracteata* dengan ciri flavan-3-ol dan *mono*-oksigenasi pada cincin B, dan dengan ciri calkon atau flavon *mono*-oksigenasi pada cincin B dan diisoprenilasi pada cincin A atau dan cincin A dan B. Kemotipe II yang yang ditemukan pada *A. altilis* dengan ciri flavon terisoprenilasi pada posisi C-3 dan *di*- atau *tri*-oksigenasi (2',4' atau 2',4',5'-oksigenasi) pada cincin B.

Berdasarkan afinitas kimiawi senyawa flavonoida, maka spesies tumbuhan *Artocarpus* dapat dikelompokkan dalam kemotipe I adalah *A. dadah*, *A. bracteata*, *A. (P). venenozia*, *A. reticulatus*, *A. nitidus*, dan *A. glaucus*. Sedangkan kelompok kemotipe II adalah *A. nobilis*, *A. communis*, *A. lanceifolius*, *A. scortechinii*, *A. rotundus*, *A. teysmanii*, dan *A. rigidus*.

Dengan demikian dapat pula disarankan bahwa tumbuhan *A. altilis*, *A. communis*, *A. nobilis*, *A. lanceifolius*, *A. scortechinii*, *A. rotundus*, *A. teysmanii*, dan *A. rigidus* yang mempunyai tingkat oksidasi yang tinggi dibandingkan dengan *A. dadah* dan *A. bracteata*.

IV. PENUTUP

1. Senyawa-senyawa fenolat yang ditemukan pada tumbuhan tropika Indonesia mempunyai tingkat oksidasi yang lebih maju dibandingkan tumbuhan dari tempat lain.
2. Tumbuhan tropika dapat dipandang sebagai sumber model molekul-moleku baru yang beraneka ragam
3. Afinitas kimiawi tumbuhan mempunyai hubungan kekerabatan molekul dan bersifat komplementer satu sama lain dalam satu spesies, genus dan famili
4. Penelitian tumbuhan tropika Indonesia adalah salah satu obyek penelitian yang menjanjikan untuk menjawab permasalahan dalam bidang kesehatan, pertanian dan bioindustri
5. Kolaboratif antara kelompok penelitian yang terdapat dimasing-masing institusi perlu lebih ditingkatkan agar memberikan hasil yang maksimal dan juga dengan kelompok sejenis dimancanegara

DAFTAR PUSTAKA

- Abegaz B.W., B.T. Ngajui, E.. Dongo, H. Tamboue, (1998), Prenylated chalcones and flavones from the leaves of *Dorstenia kameruniana*, *Phytochemistry*, **49** (4), 1147-1150
- Achmad S.A., E.H. Hakim, L. Makmur, D. Mujahidin, Y.M. Syah, (2000), Sejumlah senyawa kimia baru dengan kerangka berlandaskan 3-isoprenil-flavon dari tumbuh-tumbuhan Moraceae hutan tropika Indonesia dan kegunaannya, *Makalah Seminar Kimia Indonesia Wilayah Barat*, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Achmad S.A., E.H. Hakim, L. Makmur, D. Mujahidin, Y.M. Syah, (1999), Penyelidikan keanekaragaman senyawa fenol dari spesies Moraceae hutan tropika: Suatu strategi penelitian kimia bahan alam, *Prosiding Seminar Nasional Kimia Bahan Alam '99*, Depok, Kosela, S., dkk., Editor, Pusat Penelitian Sains dan Teknologi, Universitas Indonesia, 1-9
- Achmad S.A., E.H. Hakim, Juliawati, L.D., L. Makmur, S. Kusuma, Y.M. Sjah, (1995), Eksplorasi kimia tumbuhan hutan tropis Indonesia: Beberapa data mikromolekuler tumbuhan Lauraceae sebagai komplemen etnobotani, *Prosiding Seminar Etnobotani II*, Fakultas Biologi UGM, Yogyakarta, 8-12
- Aida M., Y. Yamagami, Y. Hano, T. Nomura, (1996), Formation of dihydrobenzoxanthone skeleton from 3-isoprenylated 2',4',5'-trioxigenated flavone, *Heterocycles*, **43** (12), 2561-2565
- Agustina D.M., S.A. Achmad, L. Makmur, E.L. Ghisalberti, E.H. Hakim, Y.M. Syah, (1999), Kudraflavon C dan katecin dari tumbuhan Tiwu Landu, *Prosiding Seminar Nasional Kimia Bahan Alam '99*, Depok, Kosela, S., dkk., Editor, Pusat Penelitian Sains dan Teknologi, Universitas Indonesia, 198-204
- Baker J.T., R.P. Borris, B. Carte, G.A. Cordell, G.M. Cragg, M.P. Gupta, M.M. Iwu, D.R. Madulid, V.E. Tyler, (1995), Natural product drug discovery and development: New perspectives on international collaboration, *J. Nat. Prod.*, **58** (9) 1325-1357
- Ersam T., Achmad, S.A., Ghisalberti, E. L., Hakim, E. H., Makmur, L. dan Syah, Y. M. (2002). A New Isoprenylated Chalcone, Artoindonesianin J, from the root bark of *Artocarpus bracteata*, *J. Chem. Res.*, **4**, 186-187
- Ersam T. (2001), Senyawa Kimia Mikromolekul beberapa Tumbuhan *Artocarpus* Hutan Tropika Sumatera Barat, *Disertasi*, FPs-ITB, Bandung
- Ersam T., Achmad, S.A., Ghisalberti, E.L., Hakim, E.H., Tamin, R. (2000), *Isolasi senyawa metabolit sekunder dari Artocarpus altilis*, Proc. Chem. Sem. 4th ITB-UKM, Bandung, 259-266
- Ersam T., S.A. Achmad, E.L. Ghisalberti, E.H. Hakim, R. Tamin, (1999a), Senyawa flavonoid terisoprenilasi dari *Artocarpus bracteata* Hook, *J. Mat. & Sains*, 172-177
- Ersam T., S.A. Achmad, E.L. Ghisalberti, E.H. Hakim, R. Tamin, (1999b), Dua senyawa isoprenilflavon dari kulit akar *Artocarpus altilis* (Park) Fosb, *Prosiding Seminar Nasional Kimia Bahan Alam '99*, Depok, Kosela, S., dkk., Editor, Pusat Penelitian Sains dan Teknologi, Universitas Indonesia, 97-103

- Hano Y., I. Naoyuki, H. Akio, T. Nomura, (1995a), Paratocarpins F-L, seven new isoprenoid-substituted flavonoids from *Paratocarpus venenosa* Zoll, *Heterocycle*, **41** (10), 2313-2326
- Hano Y., I. Naoyuki, H. Akio, T. Nomura. (1995b), Paratocarpins A-E, five new isoprenoid-substituted chalcones from *Paratocarpus venenosa* Zoll, *Heterocycle*, **41** (1), 191-198
- Hano Y., R. Inami, T. Nomura, (1994), A new flavone artonin V from root bark of *Artocarpus artilis*, *J. Chem. Res. (S)*, 348-349
- Kimura T. (1996), *International collation of tradisional and folk medicine*, Vol. 1, Part. 1, World Scientific, Singapura, 12-13
- Nomura T., Y. Hano, M. Aida, (1998), Isoprenoids substituted flavonoids from *Artocarpus* plants (Moraceae), *Heterocycles*, **47** (2), 1179-1204
- Nomura T., Y. Hano, (1994), Isoprenoids substituted phenolic compounds of Moraceous plants, *Nat. Prod. Rep.*, 205-218
- Nomura T. (1988), Phenolic compounds of the Mulberry Tree and related plants, *Prog. Chem. Org. Nat. Prod.*, **53** (87)
- Nomura T., T. Fukai, S. Yamada, M. Katayanagi, (1978), Studies on the constituents of the cultivated Mulberry tree. I. Three new prenylflavones from the root bark of *Morus alba*. L., *Chem. Pharm. Bull.*, **26**(5), 1394-1402
- Peres V. and Nagem, T.J., (1997), *Trioxigenated naturally occurring xanthenes*, *Phytochemistry*, **44** (2), 191-214
- Peres V., Nagem T.J., and Faustino de Oliviera F (2000), *Tetraoxigenated naturally occurring xanthenes*, *Phytochemistry*, **55**, 683-710
- Venkataraman K. (1972), Review article woods phenolic in the chemotaxonomy of the Moraceae, *Phytochemistry*, **11**, 1571-1586
- Yuliani E. (1997), *Senyawa turunan stilben dari kayu batang Artocarpus nitidus Trec.*, Tesis S-2, Program Pascasarjana ITB, Bandung, 53-67