



Artelastokromen suatu diprenilpiranoflavon dan β -resorsilaldehid dari kayu batang *Artocarpus lanceifolius*[#]

Didin Mujahidin,* Sjamsul Arifin Achmad,*^f Yana Maolana Syah,* Norio Aimi,[§]
Euis Holisotan Hakim,* Mariko Kitajima,[§] Lukman Makmur,*
Hiromitsu Takayama,[§] dan Rusjdi Tamin[¶]

*Kelompok Penelitian Kimia Organik Bahan Alam, Jurusan Kimia,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganeca 10, Bandung 40132.

[§]Faculty of Pharmaceutical Sciences, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan.

[¶]Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163

Masuk: Juni 2000; revisi masuk: Agustus 2000; diterima: Oktober 2000

Sari

Dua senyawa, yaitu artelastokromen (1), suatu diprenil piranoflavon, dan β -resorsilaldehid (2) telah ditemukan untuk pertama kalinya pada kayu batang tumbuhan *Artocarpus lanceifolius* Roxb. (Moraceae), suatu tumbuhan langka yang endemik untuk Indonesia dan dikenal dengan nama *Keledang*. Struktur molekul kedua senyawa tersebut telah ditetapkan berdasarkan data fisika dan spektroskopi (MS, ¹H dan ¹³C NMR). Baik artelastokromen (1) maupun β -resorsilaldehid (2) tidak terlalu toksik terhadap nauplii udang *Artemia salina* Leach., masing-masing dengan LC₅₀ 298,2 dan 79,7 μ g/mL.

Kata kunci: Artelastokromen; *Artemia salina* Leach; *Artocarpus lanceifolius* Roxb.; piranoflavon; Keledang; β -resorsilaldehid.

Abstract

Artelastochromene a diprenylpyranoflavone and β -resorcylaldehyde from the wood trunk of *Artocarpus lanceifolius*

Two phenolic constituents, namely artelastochromene (1), a diprenyl pyranoflavone, and β -resorcylaldehyde (2) had been isolated from the wood trunk of *Artocarpus lanceifolius* Roxb. (Moraceae), an endemic species of Indonesia, locally known as *Keledang*. The structures of both compounds were elucidated based on physical and spectroscopic data (MS, ¹H and ¹³C NMR). Both artelastochromene (1) and β -resorcylaldehyde (2) showed very slight toxic effect against shrimp nauplii *Artemia salina* Leach., LC₅₀ 298,2 and 79,7 μ g/mL, respectively.

Keywords: Artelastochromene, *Artemia salina* Leach; *Artocarpus lanceifolius* Roxb.; Keledang; pyranoflavone; β -resorcylaldehyde

1 Pendahuluan

Kemampuan tumbuhan genus *Artocarpus* (Moraceae) untuk menghasilkan hanya jenis senyawa flavonoid tertentu memungkinkan kita menjawab sejumlah pertanyaan penting yang berhubungan dengan proses rekayasa molekul *in vivo* atau biogenesis, hubungan kekerabatan tumbuhan atau filogenesis, fungsi, serta aplikasi senyawa-senyawa tersebut. Oleh karena itu, selama beberapa tahun terakhir ini banyak perhatian telah kami curahkan untuk mempelajari sekumpulan senyawa yang secara biogenesis berkaitan dengan flavonoid terisoprenilasi.¹⁻⁴ Senyawa jenis ini merupakan ciri khas tumbuhan yang termasuk famili Moraceae.

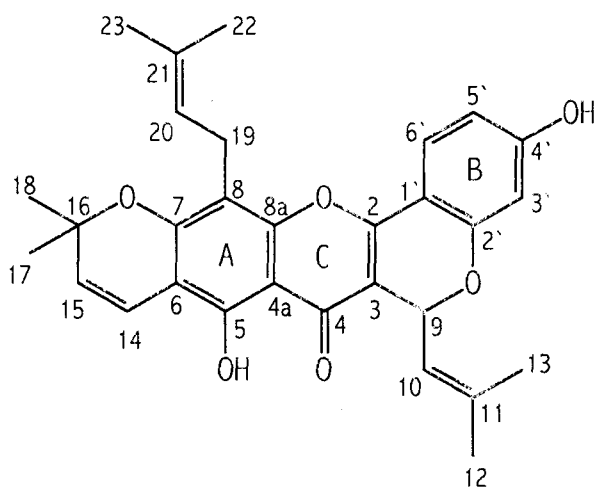
Arsitektur molekul yang beranekaragam dan kompleks telah mendorong kami melakukan penyelidikan kimiawi senyawa jenis ini yang berasal dari spesies *Artocarpus*. Perlu digarisbawahi bahwa sejumlah senyawa ini memperlihatkan aktivitas biologi yang menarik, seperti efek hipotensif, inhibitor terhadap 5-lipoksigenase arakidonat, dan bersifat anti-tumor.^{2,3}

Guna mempelajari senyawa flavonoid terisoprenilasi seperti dimaksud di atas, sejumlah tumbuhan *Artocarpus* yang terdapat di Indonesia telah kami selidiki.⁵⁻¹² Dalam rangka program ini, penelitian terhadap tumbuhan *A. lanceifolius* Roxb. telah dilanjutkan, dan senyawa yang dihasilkan oleh spesies ini diisolasi dari bahan tumbuhan melalui beberapa tahap fraksinasi, diikuti oleh pemilihan

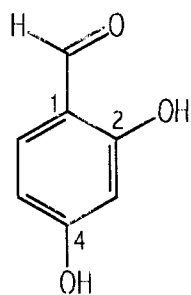
[#] Bagian ke-21 dari seri "Ilmu Kimia Tumbuhan Moraceae Indonesia". Untuk Bagian ke-20 lihat pustaka (13).

^f Korespondensi dialamatkan kepada yang bersangkutan: Tel. 022- 250 2103; Fax. 022 - 250 4154; E-mail sjamsul@into.net.id

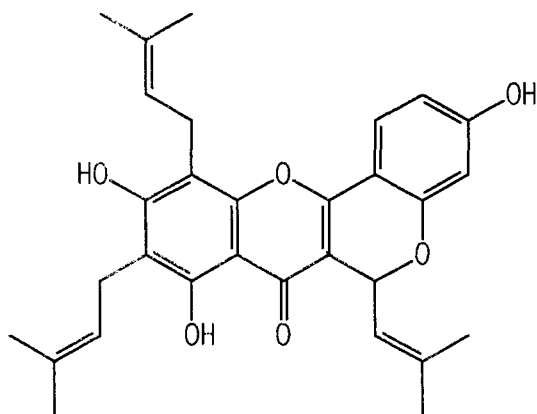
fraksi yang potensial berdasarkan analisis kromatografi lapis tipis dan kromatografi partisi. Dari penelitian ini berhasil ditemukan senyawa diprenil piranoflavon, yakni artelastokromen (1) dan β -resorsilaldehid (2) bersama-sama dengan artelastin (3) yang menjadi pokok pembahasan dalam tulisan ini. Adapun penemuan artelastin (3) dari tumbuhan ini telah dilaporkan pula sebelumnya.¹⁰ Kedua senyawa 1 dan 2 tidak terlalu toksik terhadap nauplii udang *Artemia salina*, seperti ditunjukkan oleh siklocampedol, artoindonesianin A, dan artoindonesianin B, tiga senyawa baru yang telah kami



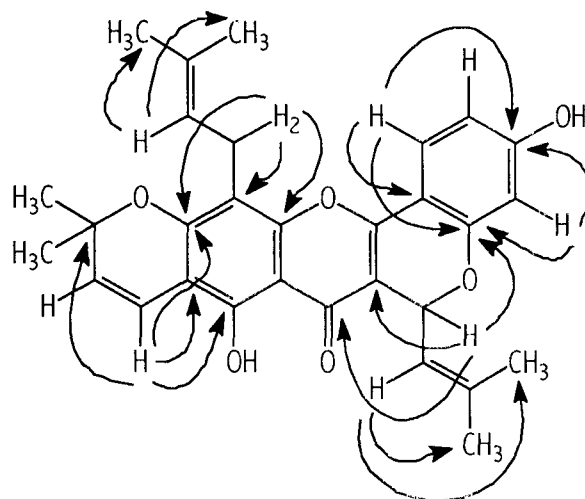
1



2



3



Gambar 1 Beberapa korelasi HMBC yang utama senyawa 1

temukan pada tumbuhan cempepadak, *A. champeden*.^{5,9} Struktur senyawa 1 dan 2 telah ditetapkan berdasarkan analisis spektrum UV, IR, MS, dan NMR, termasuk spektroskopi 1D dan 2D NMR (^1H - ^1H COSY, HMQC, HMBC).

2 Percobaan

Umum. Semua titik leleh ditentukan dengan menggunakan alat penetapan titik leleh mikro. Spektrum UV dan IR diukur masing-masing dengan spektrofotometer Varian Cary 100 Conc. dan ONE Perkin Elmer. Spektrum ^1H dan ^{13}C NMR diukur menggunakan spektrometer JEOL JNM A5000 yang bekerja pada 500,0 MHz (^1H) dan 125,65 MHz (^{13}C) menggunakan TMS sebagai standar internal. Spektrum massa tumbukan elektron (EIMS) diperoleh menggunakan spektrometer massa JEOL JMS-AM20. Kromatografi cair vakum (KCV) dilakukan menggunakan Si gel Merek 60 GF₂₅₄, kromatografi tekan dengan Si gel Merek 60 (230 - 400 mesh), dan analisis kromatografi lapis tipis (KLT) pada pelat aluminium berlapis Si gel Merek Kieselgel 60 F₂₅₄, 0,25 mm.

Pengumpulan bahan tumbuhan. Bahan kayu batang *A. lanceifolius* yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan pada bulan Agustus 1997 dari desa Bukit Tambun Tulang, Kabupaten Padang-Pariaman, Sumatera Barat. Tumbuhan ini diidentifikasi oleh Herbarium Jurusan Biologi, Universitas Andalas, Padang, dan dikonfirmasi oleh Herbarium Bogoriense, Kebon Raya Bogor, Bogor, dan spesimennya disimpan di kedua herbarium tersebut.

Ekstraksi dan isolasi Kayu batang yang telah dikeringkan dan digiling (6,5 kg), diekstraksi secara tuntas dengan metanol. Setelah pelarut diuapkan dari larutan ekstrak metanol, pada tekanan rendah, diperoleh ekstrak MeOH berupa residu berwarna kuning (179 g). Residu dilarutkan dalam campuran air-metanol, dan fraksi yang larut diekstraksi dengan benzen, menghasil-

kan ekstrak benzen (14,2 g). Seluruh ekstrak benzen (14,2 g) difraksinasi dengan kromatografi cair vakum menggunakan eluen benzen-EtOAc-MeOH, menghasilkan 33 fraksi. Penggabungan fraksi-fraksi tersebut berdasarkan analisis KLT menghasilkan lima fraksi utama. Fraksi utama ketiga, yang merupakan gabungan fraksi 17-26 (1,9 g) difraksinasi lebih lanjut dengan kromatografi kolom gravitasi menggunakan benzen sebagai eluen, menghasilkan 33 fraksi. Gabungan fraksi 9-17 (0,5 g) menghasilkan artelastin (3) yang mengendap. Finat hasil penyaringan artelastin (3) difraksinasi lebih lanjut menggunakan kromatografi sentrifugal dengan eluen campuran heksan-EtOAc (85:15), menghasilkan 15 fraksi. Selanjutnya dari gabungan fraksi 1-7 (55 mg) diperoleh endapan yang dikristalisasi berulang kali dari campuran CHCl₃-heksan, menghasilkan senyawa 1 (15 mg) yang berwarna kuning, t.l. 237-239 °C, dan homogen pada tlc menggunakan tiga eluen yang berbeda. Dengan menggunakan cara yang sama, dari gabungan fraksi utama pertama dan kedua (6,7 g) diperoleh senyawa 2 (19 mg) yang berwarna kuning, t.l. 134-135 °C, yang homogen pada tlc dengan menggunakan tiga sistem eluen yang berlainan.

Artelastokromen (1): diperoleh sebagai kristal kuning, t.l. 237-239 °C; IR (KBr) ν_{maks} 3208 (OH), 1651 (C=O keton), 1624, 1616, 1548, 1471 cm^{-1} (benzen); UV (MeOH) λ_{maks} (log ϵ) 204 (4,88), 297 (4,39), 373 (4,24) nm; (MeOH + NaOH) 208 (5,16), 278 (4,42), 411 (4,56) nm; sedangkan penambahan reagen geser AlCl₃ dan NaOAc tidak menimbulkan perubahan terhadap spektrum awal. ¹H-NMR (DMSO-*d*₆, 500,0 MHz) δ 1,40 (3H, s, H-17), 1,41 (3H, s, H-18), 1,63 (3H, s, H-22), 1,68 (3H, s, H-12), 1,79 (3H, s, H-23), 1,88 (3H, s, H-13), 3,42 (2H, d, *J* = 7,0 Hz, H-19), 5,19 (1H, t, *J* = 7,0 Hz, H-20), 5,40 (1H, d, *J* = 9,1 Hz, H-10), 5,78 (1H, d, *J* = 10 Hz, H-15), 6,12 (1H, d, *J* = 9,1 Hz, H-9), 6,34 (1H, d, *J* = 2,5 Hz, H-3), 6,58 (1H, d, *J* = 10 Hz, H-14), 6,59 (1H, dd, *J* = 2,5 dan 8,5 Hz, H-5), 7,61 (1H, d, *J* = 8,5 Hz, H-6), 10,51 (1H, s, OH-4), 13,08 (1H, s, OH-5); ¹³C-NMR (DMSO-*d*₆, 125,65 MHz) δ 177,9 (s, C-4), 163,4 (s, C-2), 157,6 (s, C-2'), 155,7 (s, C-5), 155,3 (s, C-4'), 153,6 (s, C-7), 152,9 (s, C-8a), 138,1 (s, C-11), 131,1 (s, C-21), 128,8 (d, C-15), 125,2 (d, C-6), 121,8 (d, C-20), 121,0 (d, C-10), 110,3 (d, C-5'), 108,2 (s, C-3), 107,2 (q, C-8), 106,6 (s, C-1'), 104,7 (s, C-6), 104,4 (s, C-4a), 103,8 (d, C-3'), 77,7 (s, C-16), 68,9 (d, C-9), 27,7 (q, C-18), 27,6 (q, C-17), 25,4 (q, C-23), 25,3 (q, C-22), 21,0 (t, C-19), 18,3 (q, C-13), 17,8 (q, C-12), EIMS *m/z* [M]⁺ 486 (55), 473 (13), 471 (100, puncak dasar), 431 (31), 368 (22).

β -Resorsitaldehid (2): diperoleh sebagai kristal kuning, t.l. 134-135 °C; IR (KBr) ν_{maks} 3437, 3118 (OH), 1632 (C=O aldehid), 1605, 1581, 1497 cm^{-1} (benzen); UV (MeOH) λ_{maks} (log ϵ) 211 (4,43), 230 (4,22), 279 (4,37), 313 (bahu, 4,08), 379 (bahu, 3,37) nm; (MeOH + NaOH) 208 (4,69), 248 (4,34), 331 (4,67) nm; (MeOH + AlCl₃) 205 (4,43), 223 (4,34), 302 (4,52), 357 (3,89) nm, pada

penambahan HCl tidak mengalami perubahan; (MeOH + NaOAc) 209 (4,62), 254 (3,95), 282 (4,06), 330 (4,50) dan pada penambahan H₂BO₃ tidak menyebabkan perubahan. ¹H-NMR (DMSO-*d*₆, 500,0 MHz) δ 6,30 (1H, d, *J* = 2,1 Hz, H-3), 6,39 (1H, dd, *J* = 2,1 dan 8,1 Hz, H-5), 7,52 (1H, d, *J* = 8,1 Hz, H-6), 9,90 (1H, s, CHO), 16,60 (1H, s, OH-4), 10,88 (1H, s, OH-2). ¹³C-NMR (DMSO-*d*₆, 125,65 MHz) δ 190,9 (d, CHO), 165,1 (s, C-4), 163,2 (s, C-2), 132,8 (s, C-6), 115,2 (s, C-1), 108,6 (d, C-5), 102,1 (d, C-3), EIMS *m/z* [M]⁺ 138 (81), 137 (100, puncak dasar), 129 (3), 109 (9), 97 (11), 92 (16), 85 (12), 81 (56), 73 (23), 69 (35), 60 (16), 55 (22).

Evaluasi Biologi. Pada pengujian toksisitas menggunakan nauplii udang *Artemia salina*, sesuai dengan cara yang diuraikan oleh Meyer dkk.,¹⁴ senyawa 1 dan senyawa 2 masing-masing memperlihatkan LC₅₀ 298,2 dan 79,7 µg/ml.

3 Pembahasan

Pada ekstraksi kayu balang *A. lanceifolius* telah ditemukan dua senyawa, yaitu artelastokromen (1) dan β -resorsitaldehid (2), bersama-sama dengan artelastin (3), suatu senyawa yang telah ditemukan sebelumnya dari spesies yang sama.¹⁹ Ketiga senyawa ini diperoleh melalui beberapa tahap fraksinasi, diikuti oleh pemilihan fraksi berdasarkan analisis kromatografi lapis tipis (KLT) dan kromatografi partisi.

Artelastokromen (1) diperoleh sebagai kristal berwarna kuning, t.l. 237-239 °C. Spektrum massa (EIMS) senyawa 1 menunjukkan ion molekul pada *m/z* 486, yang sesuai untuk rumus molekul C₃₀H₃₀O₆. Spektrum UV menunjukkan λ_{maks} (MeOH) pada 204, 256 (bahu), 297, dan 373 nm sedangkan spektrum IR memperlihatkan adanya pita serapan untuk gugus hidroksil pada ν_{maks} (KBr) 3208 cm^{-1} (melebar), karbonil terkelasi pada 1651 cm^{-1} , dan cincin benzen pada 1624, 1616, 1548, dan 1471 cm^{-1} , yang menunjukkan adanya struktur flavon.¹⁵ Sinyal ¹H dan ¹³C NMR senyawa 1 dapat dijelaskan secara rinci dengan bantuan spektrum NMR dua dimensi (2D), termasuk spektrum proton korelasi homonuklir (¹H-¹H COSY), spektrum korelasi heteronuklir ¹H-¹³C COSY kuantum rangkap (HMQC), dan spektrum korelasi heteronuklir jarak jauh (HMBC). Spektrum ¹H NMR senyawa 1 memperlihatkan adanya sinyal untuk suatu gugus isoprenil pada δ 1,68 dan 1,88 (masing-masing 3H, s), di mana proton vinil pada δ 5,40 (1H, d, *J* = 9,4 Hz) berinteraksi dengan proton bezilik oksimetin pada δ 6,12 (1H, d, *J* = 9,4 Hz), dengan susunan sama seperti ditemukan pada dua senyawa jenis piranoflavon, siklocampedol⁵ dan artelastin.¹⁰ Spektrum ¹H NMR juga menunjukkan adanya sinyal proton aromatik untuk sistem ABX yang beresonansi pada δ 6,34 (1H, d, *J* = 2,5 Hz), 6,59 (1H, dd, *J* = 2,5 dan 8,5 Hz), dan 7,61 (1H, d, *J* = 8,5 Hz) yang sesuai untuk cincin B flavon yang tersubstitusi pada C-1'-2'-4'. Sinyal lainnya pada spektrum ¹H NMR menunjukkan adanya satu gugus γ -

dimetilalil masing-masing dengan sinyal pada δ 1,67 (3H, s), 1,79 (3H, s), 3,42 (2H, d, $J = 7,0$ Hz), 5,19 (1H, t, $J = 7,0$ Hz). Di samping itu, spektrum ^1H NMR juga menunjukkan adanya sistem 2,2-dimetilkromen yang terdiri atas dua dublet yang saling kopling ($J = 10$ Hz) pada δ 5,78 (H-15) dan δ 6,58 (H-14) dan dua singlet untuk dua gugus metil pada δ 1,40 dan δ 1,41 (H-17 dan H-18). Tambahan pula spektrum ^1H NMR menunjukkan adanya satu singlet pada δ 13,08 untuk proton gugus hidroksil pada C-5 yang berikatan hidrogen, tetapi tidak menunjukkan adanya sinyal untuk proton aromatik pada $\delta \sim 6,3$ yang mencirikan proton pada posisi C-6 dan C-8 senyawa flavon.¹⁵

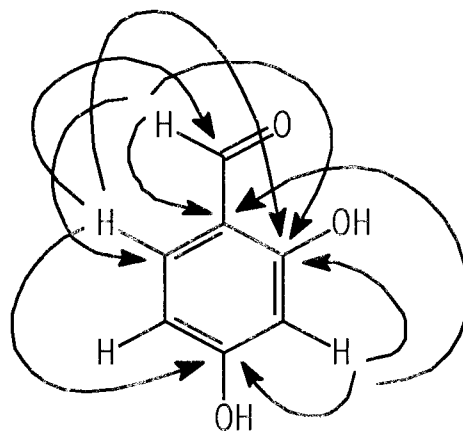
Data ^1H NMR di atas menunjukkan bahwa cincin 2,2-dimetilkromen dan gugus $\gamma\gamma$ -dimetilalil tersebut tersubstitusi pada posisi C-6 dan C-8 dari cincin A, yang selanjutnya mengisyaratkan bahwa senyawa **1** adalah artelastokromen. Kesimpulan ini didukung oleh spektrum ^{13}C NMR dan HMBC sebagai berikut. Spektrum ^{13}C NMR senyawa **1** memperlihatkan adanya resonansi yang terpisah untuk tiga puluh atom karbon, termasuk diantaranya enam gugus metil, satu gugus metilen, dua gugus oksikarbon, dan satu gugus karbonil, yang sesuai untuk struktur artelastokromen (**1**).

Bukti selanjutnya mengenai pola substitusi pada struktur senyawa **1** diperoleh dari percobaan HMBC (Gambar 1). Spektrum HMBC memperlihatkan korelasi jarak jauh antara dublet pada δ 6,12 (H-9) dan empat karbon kuaterner pada δ 108,2 (C-3), 157,6 (C-2'), 163,4 (C-2), 177,9 (C-4) dan karbon vinil pada δ 121,0 (C-10), sedangkan dublet pada δ 5,40 (H-10) memperlihatkan korelasi jarak jauh dengan karbon metil pada δ 17,8 (C-12). Spektrum HMBC juga mengungkapkan korelasi jarak jauh antara karbon metin pada δ 121,0 (C-10) dan dua proton metil pada δ 1,68 (H-12) dan 1,88 (H-13). Data HMBC ini menunjukkan susunan cincin piran yang terlebur pada cincin C melalui C-2 dan C-3 dan pada cincin B melalui atom oksigen pada C-2' dan atom C- α gugus isoprenil yang tersubstitusi pada C-3. Spektrum HMBC memperlihatkan pula korelasi jarak jauh antara proton dublet pada δ 6,58 (H-14) dan empat karbon kuaterner pada δ 77,7 (C-16), 104,7 (C-6), 153,6 (C-7), 155,7 (C-5), dan karbon vinil pada δ 128,8 (C-15), yang menunjukkan adanya substituen isoprenil pada C-6 dan mendukung pula orientasi linier cincin 2,2-dimetilkromen seperti diharapkan untuk artelastokromen (**1**). Selanjutnya, spektrum HMBC menunjukkan pula bahwa proton singlet pada δ 13,08 (OH-5) memperlihatkan korelasi jarak jauh dengan dua karbon kuaterner pada δ 104,4 (C-4a) dan 155,7 (C-5), yang menunjukkan adanya gugus hidroksil pada C-5. Korelasi jarak jauh juga terdapat antara proton dublet pada δ 3,42 (H₂-19) dan empat karbon kuaterner pada δ 107,2 (C-8), 131,1 (C-21), 152,9 (C-8a), 153,6 (C-7), dan karbon metin pada δ 121,8 (C-20) yang menunjukkan adanya gugus isoprenil pada C-8. Bukti selanjutnya mengenai struktur senyawa **1** diperoleh dari spektrum HMBC yang

memperlihatkan korelasi jarak jauh antara dublet pada δ 6,34 (H-3') dan karbon kuaterner pada δ 155,3 (C-4'), antara dobel-dublet pada δ 6,59 (C-5') dan karbon kuaterner pada δ 106,6 (C-1'), antara dublet pada δ 7,61 (H-6') dan tiga karbon kuaterner pada δ 157,6 (C-2'), 155,3 (C-4'), 163,4 (C-2), yang membuktikan bahwa cincin B senyawa **1** mempunyai pola substitusi C-1',2',4' sebagaimana lazimnya flavonoid yang berasal dari tumbuhan *Artocarpus*.

Bukti selanjutnya mengenai struktur senyawa **1** diperoleh dari perbandingan ^{13}C NMR, yang diperoleh dengan bantuan data HMQC dan HMBC, dengan yang dilaporkan dalam literatur.¹⁶ Data NMR seperti diuraikan di atas menyimpulkan bahwa senyawa **1** adalah artelastokromen. Dapat disarankan bahwa senyawa **1** secara biogenesis berasal dari artelastin (**3**)¹⁰ melalui siklisasi substituen isoprenil yang terdapat pada C-6 (Gambar 3).

β -Resorsilaldehid (**2**) diperoleh sebagai kristal berwarna kuning, t.l. 134-135 °C. Spektrum massa (EIMS) senyawa **2** menunjukkan ion molekul pada m/z 138, yang sesuai untuk rumus molekul $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$. Spektrum UV menunjukkan λ_{maks} (MeOH) pada 211, 230, 279, 313 (bahu) nm, sedangkan spektrum IR memperlihatkan adanya pita serapan untuk gugus hidroksil pada ν_{maks} (KBr) 3437 dan 3118 cm^{-1} , karbonil terkelasi pada 1632 cm^{-1} , dan cincin benzen pada 1605, 1581, dan 1497 cm^{-1} . Spektrum ^1H NMR senyawa **2** memperlihatkan adanya satu sinyal singlet untuk proton gugus aldehid pada δ 9,90, dan sinyal proton aromatik untuk suatu sistem ABX yang beresonansi pada δ 6,30 (1H, d, $J = 2,1$ Hz), 6,39 (1H, dd, $J = 2,1$ dan 8,1 Hz), dan 7,52 (1H, d, $J = 8,1$ Hz) yang sesuai untuk cincin benzen benzaldehid yang tersubstitusi pada posisi C-1, 2, 4. Data ^1H NMR di atas mengisyaratkan bahwa senyawa **2** adalah β -resorsilaldehid.



Gambar 2 Beberapa korelasi HMBC yang utama senyawa **2**

Bukti selanjutnya mengenai struktur senyawa **2** diperoleh dari spektrum ^{13}C NMR dan data HMQC dan HMBC. Spektrum ^{13}C NMR senyawa **2** juga memperlihatkan adanya resonansi yang terpisah untuk tujuh atom karbon,

termasuk di antaranya satu atom karbon karbonil gugus aldehid, dua atom karbon oksiaril, tiga atom karbon metin aromatik, dan satu atom karbon kuartener aromatik yang sesuai untuk struktur β -resorsilaldehid (2). Pola substitusi senyawa 2 selanjutnya didukung oleh spektrum HMBC (Gambar 2) yang memperlihatkan korelasi jarak jauh antara proton singlet pada δ 9,90 (CHO) dan dua karbon kuartener pada δ 115,2 (C-1), 163,2 (C-2), dan satu atom karbon metin pada δ 132,8 (C-6). Selanjutnya, spektrum HMBC memperlihatkan pula korelasi jarak jauh antara dublet pada δ 6,30 (H-3) dan dua atom

karbon kuartener oksiaril pada δ 163,2 (C-2) dan 165,1 (C-4). Data HMBC ini mengukuhkan adanya sistem dihidroksi-2,4 pada senyawa 2 sebagaimana lazimnya cincin B flavonoid yang berasal dari tumbuhan *Artocarpus*. Data NMR seperti diuraikan di atas menyimpulkan bahwa senyawa 2 adalah β -resorsilaldehid. Dapat disarankan bahwa dari segi biogenesis senyawa 2 adalah prekursor untuk senyawa artelastokromen (2) via artelastin (3) yang ditemukan secara bersama-sama dalam satu spesies *A. lanceifolius* (Gambar 3).

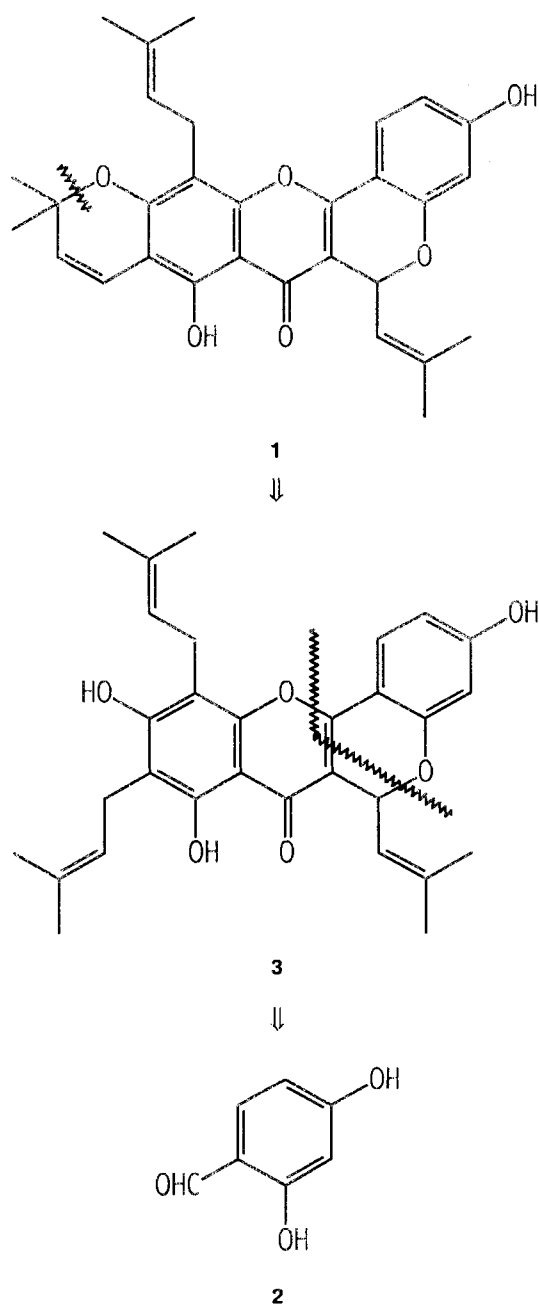
Artelastokromen (1) dan β -resorsilaldehid (2) bersifat toksik pada uji hayati terhadap nauplii udang *Artemia salina*, LC_{50} 298,2 dan 79,7 $\mu\text{g/mL}$. Aktivitas ini lebih rendah dibandingkan dengan siklocampedol (LC_{50} 15,1 $\mu\text{g/mL}$) yang ditemukan pada tumbuhan cempedak, *Artocarpus champeden*.⁵ Telah dilaporkan pula bahwa senyawa 1 memperlihatkan efek inhibisi terhadap jalur klasik sistem komplemen manusia.¹⁷

4 Kesimpulan

Pada penelitian sekarang ini, melanjutkan penelitian kami sebelumnya terhadap tumbuhan *A. lanceifolius*, telah berhasil ditemukan suatu senyawa diprenil piranoflavon, artelastokromen (1), dan β -resorsilaldehid (2), bersama-sama dengan artelastin (3). Telah dilaporkan sebelumnya bahwa senyawa 1 terdapat pula pada *A. elasticus* dan *A. nobilis*,^{16,18} sedangkan senyawa 2 telah ditemukan pula pada *A. chaplasha*. Ditemukannya senyawa β -resorsilaldehid (2) memberi petunjuk bahwa sistem dihidroksi-2,4 berawal dari jalur shikimat dalam proses biosintesis senyawa isoprenilflavon seperti ditemukan pada genus *Artocarpus*. Dengan demikian, dapat disarankan pula bahwa senyawa 2 adalah prekursor untuk senyawa artelastokromen (1) via artelastin (3) yang telah ditemukan secara bersama-sama dalam satu spesies *A. lanceifolius* (Gambar 3). Berdasarkan hasil uji hayati senyawa 1 dan 2, serta membandingkannya dengan senyawa sejenis siklocampedol,⁵ dapat disimpulkan bahwa salah satu faktor dominan untuk bioaktivitas tersebut ialah adanya gugus isoprenil yang tersubstitusi pada C-3 dan sistem dihidroksi-2',4' atau trihidroksi-2',4',5' pada cincin-B dari kerangka flavon. Penelitian mengenai ilmu kimia *A. lanceifolius* masih kami lanjutkan.

5 Ucapan terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, atas bantuan dana melalui Hibah Tim Batch IV. Terima kasih disarapakan pula kepada Herbarium Jurusan Biologi, Universitas Andalas dan Herbarium Bogoriense, Bogor, yang telah membantu mengidentifikasi spesimen tumbuhan.



Gambar 3 Saran biogenesis artelastokromen (1) dan artelastin (3) dari β -resorsilaldehid (2)

6 Daftar pustaka

1. Venkataraman, K., Wood phenolics in the chemotaxonomy of the moraceae, *Phytochemistry*, **11**, 1571-1586 (1972).
2. Nomura, T., Phenolic compounds of the mulberry tree and related plants, dalam *Progress in The Chemistry of Organic Natural Products*, Herz, W., Grisebach, H., Kirby, C. W. & Tamm, Ch. (Ed.), Springer-Verlag, Vienna, **53**, 87 (1988).
3. Nomura, T. & Hano, Y., Isoprenoid-substituted phenolic compounds of moraceous plants, *Nat. Prod. Rep.*, **11**, 205 (1994).
4. Nomura, T., Hano, Y., & Aida, M., Isoprenoid-substituted flavonoids from *Artocarpus* plants (Moraceae), *Heterocycles*, **47**, 1179 (1998).
5. Achmad, S. A., Hakim, E. H., Juliawaty, L. D., Makmur, L., Suyatno, Aimi, N., & Ghisalberti, E. L., New prenylated flavone from *Artocarpus champeden*, *J. Nat. Prod.*, **59**, 878 (1996).
6. Parenti, P., Pizzigoni, A., Hanozet, G., Hakim, E.H., Makmur, L., Achmad, S.A., & Giordana, B., A new prenylated flavone from *Artocarpus champeden* inhibits the K⁺-dependent amino acid transport in *Bombyx mori* Midgut, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **244**, 445-448 (1998).
7. Hakim, E.H., Marlina, E.E., Mujahidin, D., Achmad, S.A., Ghisalberti, E.L., & Makmur, L., Artokarpin dan Heteroflavanon-A dua Senyawa flavonoid bioaktif dari *Artocarpus champeden*, *Proc. ITB.*, **30**(1), 31-36 (1998).
8. Achmad, S.A., Murniana, Udjiana, S.S., Aimi, N., Hakim, E.H., & Makmur, L., Tiga senyawa flavan-3-ol dari tumbuhan *Artocarpus reticulatus*, *Proc. ITB.*, **30**(2), 1-7 (1998).
9. Hakim, E.H., Fahriyati, A., Kau, M.S., Achmad, S.A., Makmur, L., Ghisalberti, E.L., & Nomura, T., Artoindonesianins A and B, two new prenylated flavones from the root of *Artocarpus champeden*, *J. Nat. Prod.*, **62**(3), 613-615 (1999).
10. Hakim, E.H., Asnizar, Kurniawati, Ghofar, T.A., Achmad, S.A., Aimi, N., Kitajima, M., Makmur, L., Mujahidin, D., Takayama, H., & Tamin, R., Senyawa turunan piranoflavin dan furanodihydrobenzosanton dari *Artocarpus lanceifolius*, *Proc. ITB*, **31**(2), 57-62 (1999).
11. Makmur, L., Syamsurizal, Tukiran, Syamsu Y., Achmad, S.A., Aimi, N., Hakim, E.H., Kitajima, M., Mujahidin, D., & Takayama, H., Artonol B dan sikloartobilosanton dari tumbuhan *Artocarpus teysmanii* Miq., *Proc. ITB*, **31**(2), 63-68 (1999).
12. Makmur, L., Syamsurizal, Tukiran, Achmad, S.A., Aimi, N., Hakim, E.H., Kitajima, M., & Takayama, H., Artoindonesianin C, a new xanthone derivative from *Artocarpus teysmanii*, *J. Nat. Prod.*, **63**, 243-244 (2000).
13. Mujahidin, D., Achmad, S.A., Hakim, E.H., Makmur, L., & Syah, Y.M., Kandungan kimia *Artocarpus lanceifolius*, *Prosiding Seminar Kimia Bersama ITB-UKM Keempat*, Jurusan Kimia ITB, pp. 39-42 (2000).
14. Meyer, N., Ferrigini, N.R., Putnam, J. E., Jacobsen, D. E., Nichols, D. E., & McLaughlin, J. L., Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents, *Planta Med.* **45**, 31 (1982).
15. Mabry, T. J., Markham, K. R. & Thomas, M. B., *The systematic identification of flavonoids*, Springer-Verlag, New York (1970).
16. Kijjoa, A., Cidade, H.M., Pinto, M.M.M., Gonzallez, M.J.T.G., Anantachol, C., Gedris, T.E., & Herz, W., Prenylflavanoids from *Artocarpus elasticus*, *Phytochemistry*, **3**(43), 691-694 (1996).
17. Nascimento, M.S.J., Cidade, H., Pinto, M., & Kijjoa, A., Anticomplementary activity of prenylated flavones from *Artocarpus elasticus*, *Pharm. Pharmacol. Lett.*, **2/3**, 135-137 (1997).
18. Sultanbawa, M.U.S. & Surendrakumar, S., Two pyranodihydrobenzoxanthones from *Artocarpus nobilis*, *Phytochemistry*, **28**(2), 599 (1989)