

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cempedak

2.1.1 Klasifikasi



Gambar 2. 1 Tanaman Cempedak (sumber: Dokumentasi pribadi)

Klasifikasi tanaman Cempedak adalah sebagai berikut (ITIS, 2021) :

| | |
|---------------|---|
| Kingdom | : Plantae |
| Subkingdom | : Viridiplantae |
| Infrakingdom | : Streptophyta |
| Superdivision | : Embryophyta |
| Division | : Tracheophyta |
| Subdivision | : Spermatophytina |
| Class | : Magnoliopsida |
| Superorder | : Rosanae |
| Order | : Rosales |
| Family | : Moraceae |
| Genus | : Artocarpus |
| Spesies | : <i>Artocarpus integer</i> (Thunb.) Merr |

2.1.2 Morfologi

Morfologi dari tanaman Cempedak (*Artocarpus integer*) pada bagian pohon, daun, bunga, buah, dan biji adalah sebagai berikut :

1. Pohon

Bentuk kanopi pohon Cempedak (*Artocarpus integer*) antara lain melebar piramid (*broadly pyramidal*), membulat (*spherical*), melonjong (*oblong*), semi membundar (*semicircular*), menjorong (*elliptical*), dan tidak beraturan (*irregular*). Pada umumnya cempedak memiliki bentuk kanopi semi membundar. Tanaman cempedak biasanya tumbuh di antara pohon kelapa, karet, rambutan, manggis, dan pisang. Beberapa cempedak juga dapat tumbuh di tempat terbuka dan tidak terlindung oleh tanaman di sekitarnya (Muchlis, *et al.*, 2017).



Gambar 2. 2 Bentuk kanopi pohon cempedak. A = piramid melebar, B = membulat, C = melonjong, D = semi membundar, E = menjorong, F = tidak beraturan. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

2. Daun

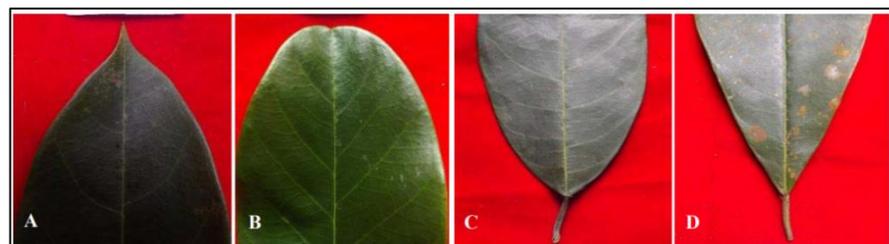
Terdapat variasi pada bentuk helaian daun, ujung daun, dan pangkal daun. Bentuk helaian daun cempedak yang ditemukan adalah menjorong sempit (*narrowly ellips*), menjorong lebar

(*broadly ellips*), menjorong (*elliptic*), melonjong (*oblong*), dan membandar telur sungsang (*obovate*). Pada umumnya, cempedak memiliki bentuk helaian daun membandar telur sungsang dan semi membandar telur sungsang (*subobovate*) (Muchlis, *et al.*, 2017).



Gambar 2. 3 Bentuk helaian daun cempedak. A=menjorong sempit, B=menjorong lebar, C=menjorong, D=melonjong, E=membandar telur sungsang. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

Variasi pada bentuk ujung helaian daun cempedak yaitu meruncing (*acuminate*) dan bertakik (*retuse*). Cempedak memiliki bentuk pangkal helaian daun membaji sampai membandar, membaji, menumpul (*obtuse*) sampai membandar (*rounded*) (Muchlis, *et al.*, 2017).



Gambar 2. 4 Bentuk ujung dan pangkal helai daun cempedak. A = meruncing, B = bertakik, C = membandar, D = membaji. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

3. Bunga

Terdapat variasi pada bentuk perbungaan (*inflorescence*) Cempedak antar aksesori yaitu menjantung (*cordate*), melonjong (*oblong*), dan menjorong (*ellipsoid*). Bentuk menjantung adalah jenis variasi bentuk perbungaan cempedak khas dan baru ditemukan di Indonesia. Tangkai perbungaan cempedak berbeda dengan tangkai perbungaan Nangka. Tangkai perbungaan cempedak memiliki diameter yang lebih kecil dibandingkan diameter tangkai perbungaan nangka. Perbungaan pada cempedak berbeda dengan perbungaan pada Nangka. Perbungaan pada nangka memiliki cincin annulus, sedangkan pada cempedak tidak punya (Muchlis, *et al.*, 2017).

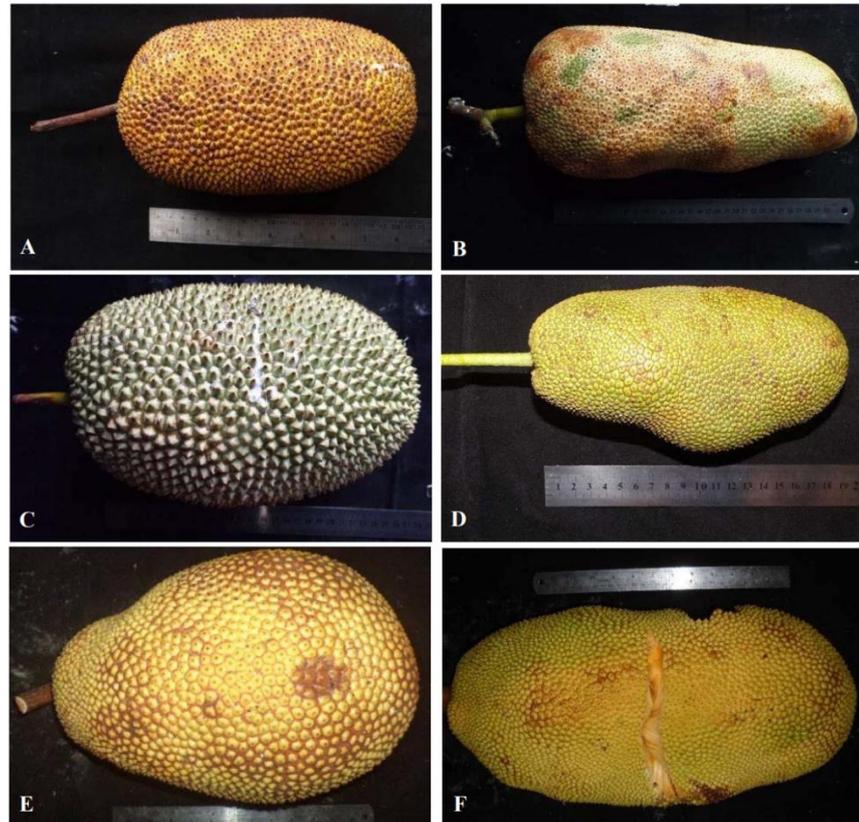


Gambar 2. 5 Bentuk perbungaan cempedak (A-B) dan Nangka (C-D). A=menjantung, B=melonjong, C=menjorong (Nangka Biasa), D=menjorong (Nangka Bubur). (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

4. Buah

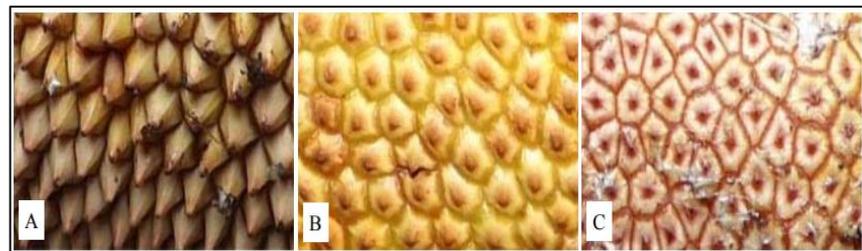
Buah Cempedak (*Artocarpus Integer*) bervariasi pada bentuk, ukuran tangkai, permukaan kulit, bentuk duri, warna bulbus, bentuk bulbus, dan bentuk biji. Buah cempedak memiliki 4 macam

bentuk yaitu bulat melonjong (*oblong*), menjantung (*cordate*), menjorong (*ellipsoid*), dan tidak beraturan (*irregular*). Buah cempedak pada umumnya memiliki bentuk menyilinder dan membulat (Muchlis, *et al.*, 2017).



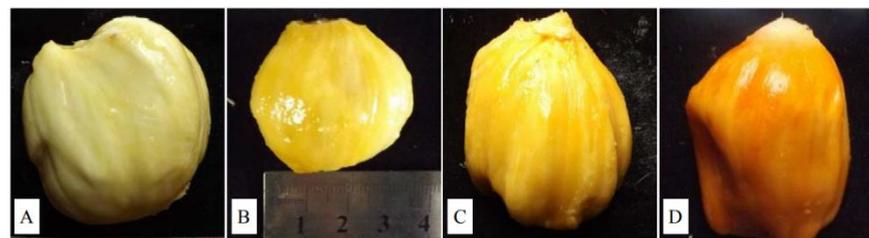
Gambar 2. 6 Bentuk buah cempedak. A=melonjong, B=menjantung, C=menjorong, D=tidak beraturan, E=membulat, F=menjorong. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

Bentuk duri pada buah cempedak bervariasi, yaitu runcing, sedang, dan rata. Pada umumnya, bentuk duri pada buah cempedak adalah tipe runcing.



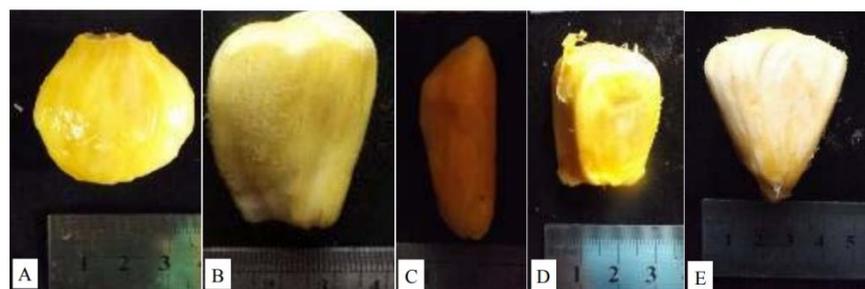
Gambar 2. 7 Bentuk duri buah cempedak. A=runcing, B=sedang, C=rata. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

Warna bulbus buah cempedak juga yaitu, kuning pucat, kuning muda, kuning tua, dan jingga (Muchlis, *et al.*, 2017). Warna bulbus cempedak umumnya berwarna kekuning-kuningan, kecokelat-cokelatan dan jingga kekuningan, kuning, jingga, putih, kemerah-merahan, dan jingga kehijauan. Warna daging buah cempedak bervariasi yaitu putih, putih kekuningan sampai kuning oranye. Warna pada buah-buahan disebabkan oleh adanya pigmen yang pada umumnya terdiri atas klorofil, antosianin, flavonoid dan karotenoid (Arif, *et al.*, 2014)



Gambar 2. 8 Warna bulbus buah cempedak. A=kuning pucat, B=kuning muda, C=kuning tua, D=jingga. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017)

Beberapa bentuk bulbus yang ditemukan pada buah cempedak yaitu membulat (*spheroid*), mengekor (*cordate*), membulat telur sungsang (*obovate*), persegi panjang (*rectangular*), dan bersegi (Muchlis, *et al.*, 2017).



Gambar 2. 9 Bentuk bulbus cempedak. A=membulat, B=menjantung, C=membulat telur sungsang, D=persegi empat, E=tidak beraturan. (sumber:Muchlis, *et al.*, 2017)

5. Biji

Bentuk-bentuk biji cempedak di Pulau Bengkalis dan Pulau Padang yaitu membulat (*spheroid*), memanjang (*elongate*),

menjorong (*ellipsoid*), mengginjal (*reniform*), membulat telur, mengipas, dan tidak beraturan (Muchlis, *et al.*, 2017).



Gambar 2. 10 Bentuk biji cempedak. A=membulat, B=memanjang, C=menjorong, D-E=mengginjal, F=membulat telur, G=mengipas, H-J=tidak beraturan. (sumber : Muchlis, *et al.*, 2017).

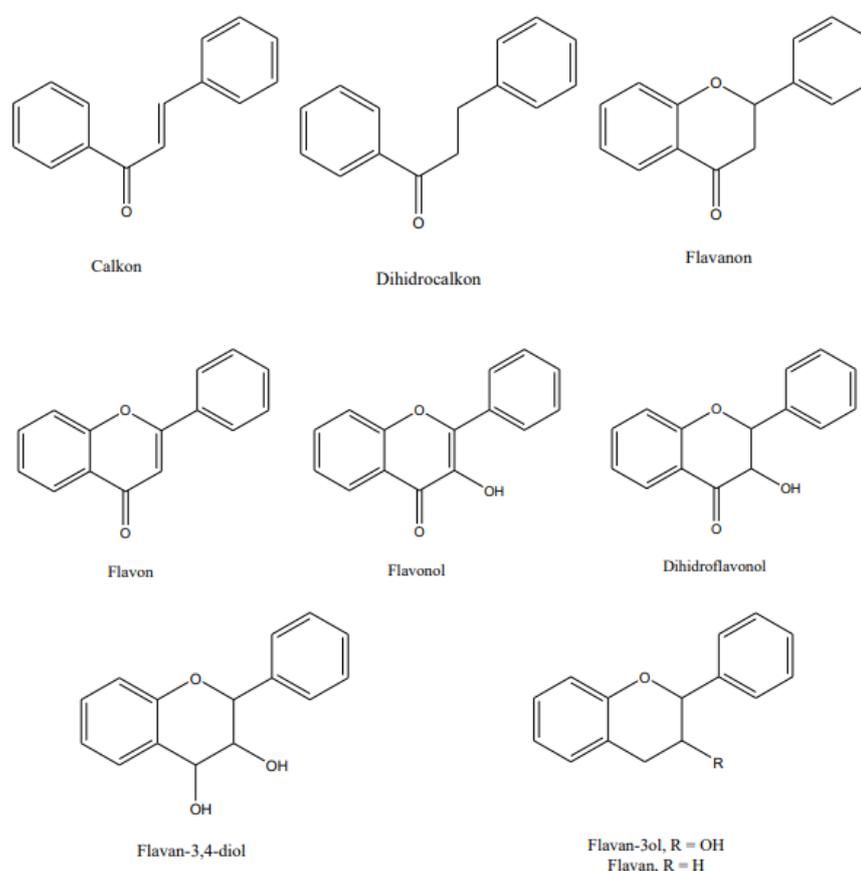
2.1.3 Metabolit Sekunder

Ada beberapa golongan senyawa kimia yang ditemukan dari tumbuhan *Artocarpus* diantaranya golongan steroid, terpenoid, flavonoid, stilben, dan senyawa jenis *Adduct Diels-Alder* (Muhammad, *et al.*, 2021; Zakaria, 2018). Senyawa flavonoid yang merupakan ciri khas *Artocarpus*, yaitu flavon yang terprenilasi pada posisi C-3 dan teroksigenasi pada posisi 2', 4' atau 2', 4', 5' pada cincin B. Substituen isoprenil pada C-3 ini melalui reaksi sekunder dapat membentuk senyawa-senyawa turunan flavon dengan kerangka karbon yang lebih kompleks seperti piranoflavon, oksepinoflavon, dan dihidrobenzosanton (Zakaria, 2018). Senyawa-senyawa flavonoid ini dapat dibedakan atas kelompok calkon, flavan, dan flavon.

1. Senyawa Flavonoid

Flavonoid merupakan senyawa golongan fenol yang banyak ditemukan pada genus *Artocarpus* dengan ciri khas adanya gugus

prenil. Senyawa flavonoid yang mengikat gugus prenil dapat mengalami modifikasi melalui pembentukan cincin yang baru dari gugus prenil dengan gugus fenol yang mengakibatkan struktur senyawa fenol dari genus ini sangat bervariasi. Flavonoid merupakan golongan senyawa dengan kerangka dasar C6-C3-C6 (berdasarkan penomoran struktur flavon). Senyawa turunan flavonoid yang telah diisolasi dari tumbuhan *Artocarpus*, dikelompokkan ke dalam beberapa tipe kerangka utama, yaitu kerangka flavanon, dihidroflavonol, calkon, dihidrocalkon, flavon, flavonol, flavan-3-ol, dan flavan (Zakaria, 2018).



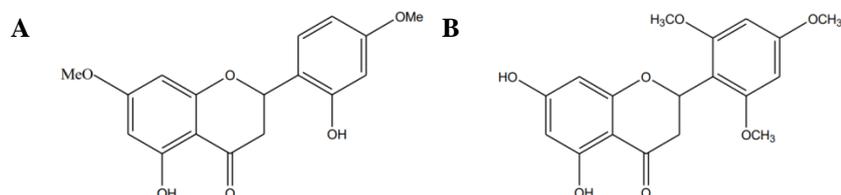
Gambar 2. 11 Kerangka dasar senyawa kelompok flavonoid (sumber : Zakaria, 2018)

Biasanya flavonoid ditemukan pada jaringan tumbuhan dalam daun, kulit dan kayu batang, kulit dan kayu akar, dan bunga. Variasi struktur flavonoid ditentukan oleh jumlah dan posisi gugus fungsi oksigen, adanya O-metilasi dan C-metilasi, pemasukan C-

terprenil (gugus isoprenil, geranil, dan farnesil) dan O-glikosilasi. Senyawa flavonoid dari Cempedak (*Artocarpus integer*) pada bagian batang dan kulit akar ditemukan jenis kerangka flavanon, piranoflavon, tetrahidrosanton, furanodihydrobenzosanton, 3-prenilflavon dan oksepinoflavon (Hakim, *et al.*, 2005).

a. Flavanon

Senyawa flavonoid kelompok flavanon dari *Artocarpus* berasal dari kulit akar, kulit batang, daun, dan buah. Senyawa-senyawa tersebut umumnya memiliki pola dioksigenasi cincin A pada posisi C-5 dan C-7, sedangkan pada cincin B oksigenasinya cukup beragam dengan pola monooksigenasi, dioksigenasi, dan trioksigenasi. Senyawa flavanon *Artocarpus* dengan pola dioksigenasi adalah artocarpanon yang diisolasi dari Cempedak (*Artocarpus integer*) (Zakaria, 2018). Senyawa flavanon *Artocarpus* dengan pola dioksigenasi adalah artoindonesianin-E yang diisolasi dari Cempedak (*Artocarpus integer*) (Hakim, *et al.*, 2006).

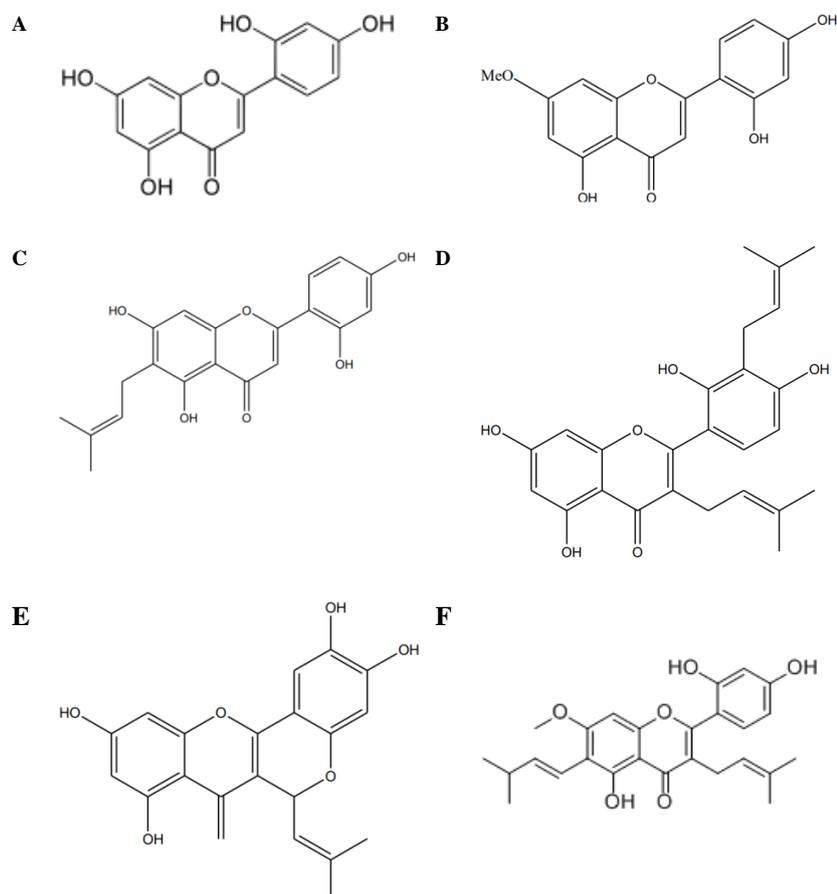


Gambar 2. 12 A: Artocarpanon, B: Artoindonesianin-E (sumber:Zakaria, 2018)

b. Flavon

Senyawa flavon yang umum ditemukan pada tumbuhan *Artocarpus* dapat klasifikasikan atas 2 kelompok berdasarkan kerangka karbonnya yaitu flavon sederhana (tidak terisoprenilasi) dan flavon mengandung substituen terisoprenilasi (pada cincin aromatik dan pada atom C-3). Senyawa flavon *Artocarpus* yang tidak mengikat gugus isoprenil yaitu senyawa norartokarpetin, artokarpetin dan artokarpesin yang juga diisolasi dari Cempedak (*Artocarpus*

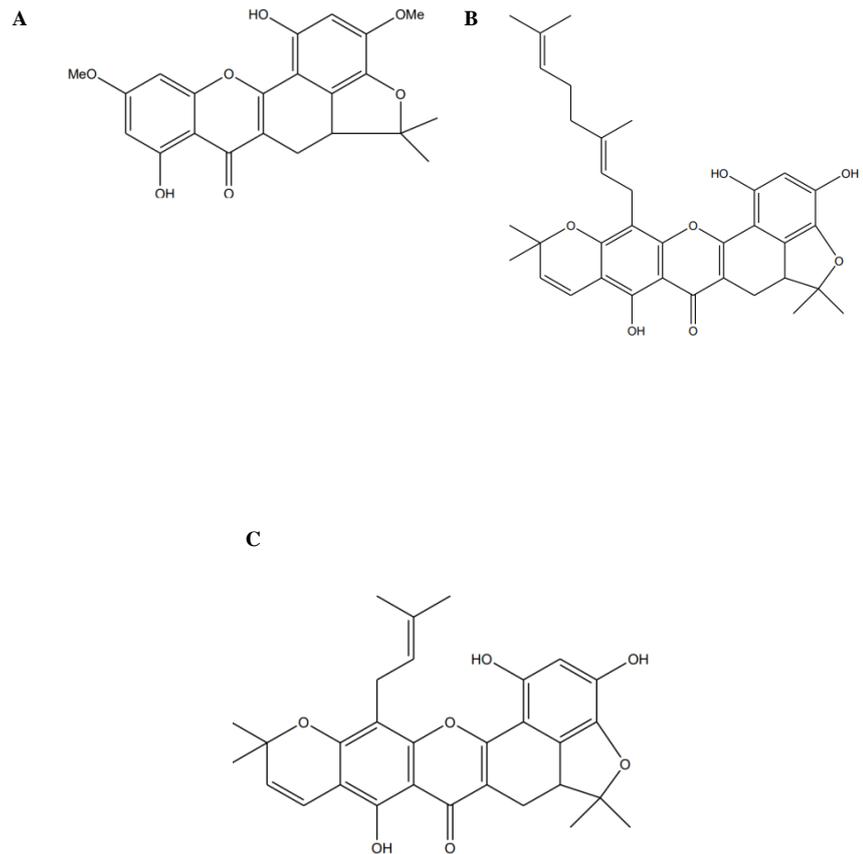
integer). Senyawa flavon lainnya yang mengikat gugus isoprenil yaitu kuwanon-T, siklocampedol atau dikenal dengan artoindonesianin dan artokarpin juga diisolasi dari Cempedak (*Artocarpus integer*) (Zakaria, 2018).



Gambar 2. 13 A:Norartokarpetin, B:Artokarpetin, C:Artokarpesin, D:Kuwanon-T, E: Siklocampedol, F: Artocarpin (sumber : Zakaria, 2018)

2. Senyawa turunan fenol lainnya

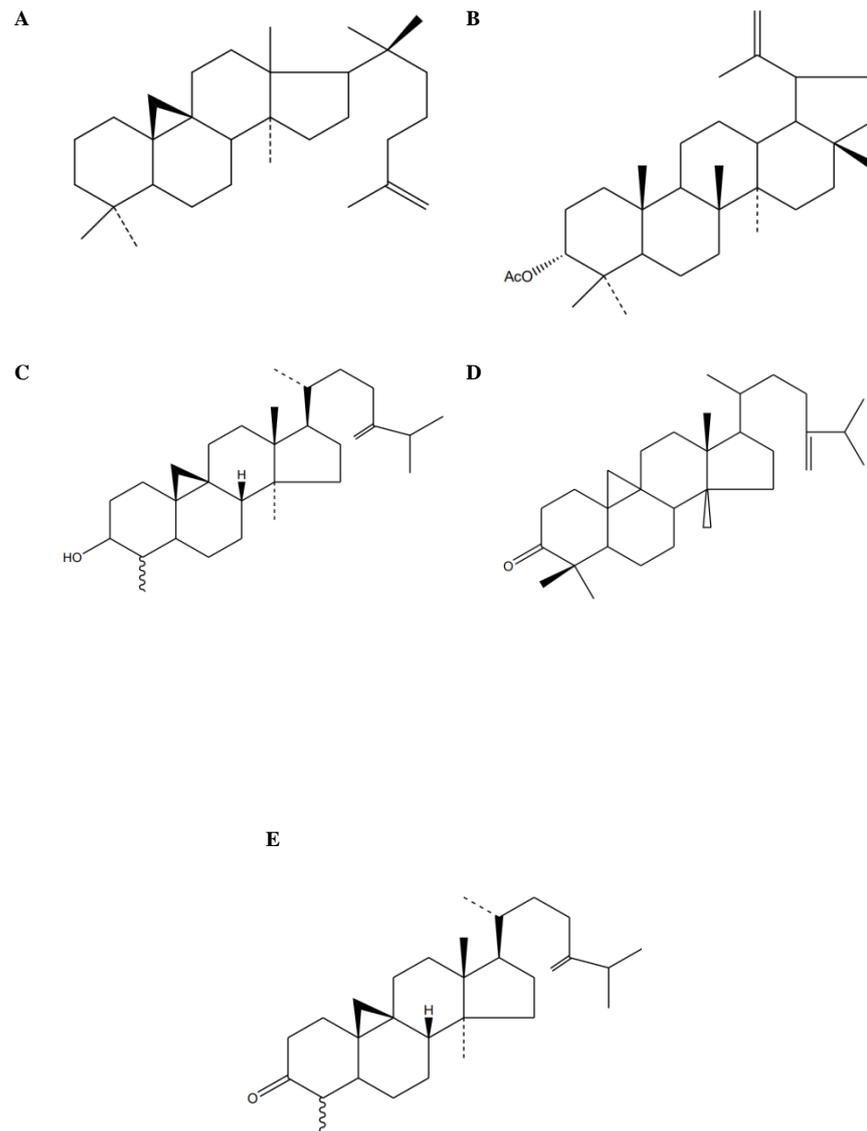
Beberapa jenis flavon dapat membentuk turunan santon, seperti dihidrobenzosanton yang terbentuk melalui pembentukan ikatan C-C antara atom C-10 pada gugus isoprenil C-3 dengan C-6' cincin B. Artoindonesianin-M, artoindonesianin-A dan artonin-A diisolasi dari Cempedak (*Artocarpus integer*) (Syah, *et al.*, 2002).



Gambar 2. 14 A:Artoindonesianin-M, B: Artoindonesianin-A, C:Artonin-A. (sumber : Zakaria, 2018)

3. Senyawa Nonfenolik

Beberapa golongan senyawa nonfenolik dari *Artocarpus* juga telah dilaporkan dan senyawa tersebut merupakan golongan senyawa triterpenoid dan steroid. Senyawa triterpenoid *Artocarpus* tersebut terdiri atas senyawa triterpenoid tetrasiklik dengan kerangka dasar sikloartan dan senyawa triterpenoid pentasiklik dengan kerangka glutan. Senyawa dari kelompok ini di antaranya isosikloartenol, lupeol asetat, sikloeukalenol, 2,4-metilensikloartenon dan sikloartenon yang didapat dari isolasi kulit batang Cempedak (*Artocarpus integer*) (Zakaria, 2018).



Gambar 2. 15 A: Isosikloartenol, B: Lupeol Asetat, C: Sikloeukalenol, D: 2,4-metilensikloartenon, E: Sikloartenon. (sumber : Zakaria, 2018)

2.1.4 Bioaktivitas Metabolit Sekunder

Secara etnobotani, beberapa masyarakat Indonesia menggunakan Cempedak (*Artocarpus integer*) sebagai obat tradisional yang mana alasan hal ini tidak terlepas dari kandungan kimia yang terkandung pada tumbuhan tersebut. Tumbuhan ini digunakan sebagai antibakteri, antijamur, antiinflamasi, antikanker, antimalaria, dan antifertilitas (Hilma, *et al.*, 2018; Widyawaruyanti, *et al.*, 2020). Kajian fitokimia

pada beberapa spesies tumbuhan ini menunjukkan aktivitas biologi yang menarik.

1. Antibakteri

Konsentrasi hambat ekstrak biji buah Cempedak (*Artocarpus integer*) terhadap *S. aureus* ketiga konsentrasi masih lebih rendah jika dibandingkan dengan amoxan. Aktivitas antibakteri bisa dikarenakan adanya kandungan flavonoid dan saponin di dalam ekstrak. Pada umumnya senyawa flavonoid termasuk golongan senyawa polifenol (Hilma, *et al.*, 2018). Senyawa polifenol adalah sekelompok zat kimia yang ditemukan melimpah pada tanaman. Senyawa fenolik minimal memiliki satu cincin aromatik yang mengikat satu gugus (fenol) atau lebih (polifenol) gugus hidroksil yang di sintesis oleh tanaman sebagai sistem pertahanan dan untuk merespon terhadap infeksi mikroorganisme, sehingga tidak mengherankan apabila senyawa ini efektif sebagai senyawa antimikroba terhadap sejumlah mikroorganisme. Flavonoid berfungsi sebagai antibakteri dengan cara membentuk senyawa kompleks terhadap protein ekstraseluler yang mengganggu keutuhan membran sel bakteri, mendenaturasi protein sel bakteri dan merusak membran sel tanpa dapat diperbaiki (Juliantina, *et al.*, 2008). Senyawa saponin dapat meningkatkan permeabilitas dinding usus, memperbaiki penyerapan nutrisi dan juga menghambat aktivitas enzim urease. Oleh karena itu, ekstrak biji cempedak dapat memenuhi kriteria diameter hambat atau aktif sebagai antibakteri (Hilma, *et al.*, 2018).

2. Antijamur

Zona hambat ekstrak biji buah Cempedak (*Artocarpus integer*) terhadap *Candida albicans* diketahui masih rendah dibandingkan dengan ketokenazol. Pada antijamur ketokenazol dapat menekan aktivitas berbagai jenis jamur dengan mekanisme

penghambatannya yaitu pada biosintesis ergosterol dalam sel jamur (Hilma, *et al.*, 2018). Dari uji fitokimia yang dilakukan terhadap ekstrak etanol biji buah Cempedak (*Artocarpus integer*) dapat diketahui jenis senyawa kimia yang aktif untuk aktivitas ini antara lain adalah flavonoid dan terpenoid. Terpenoid merupakan senyawa bioaktif yang memiliki fungsi antijamur. Senyawa-senyawa ini dapat menghambat pertumbuhan jamur, baik melalui membran sitoplasma maupun mengganggu pertumbuhan dan perkembangan spora jamur. Walaupun belum diketahui jelas mekanisme penghambatan oleh senyawa terpenoid namun dengan adanya sifat hidrofobik atau lipofilik pada senyawa terpenoid kemungkinan menyebabkan kerusakan sitoplasmik membran, koagulasi sel, dan terjadinya gangguan proton pada sel jamur (Lutfiyanti, *et al.*, 2012)

3. Antidiabetes

Berdasarkan uji fitokimia yang telah dilakukan terhadap ekstrak biji buah Cempedak (*Artocarpus integer*) mengandung berbagai senyawa bioaktif yaitu alkaloid, steroid, flavonoid dan terpenoid. Adanya senyawa flavonoid yang terkandung di dalam ekstrak etanol dapat menghambat kerja dari enzim α -glukosidase. Aktivitas yang kecil dari ekstrak ini dimungkinkan karena terjadi reaksi antagonis diantara senyawa yang ada di dalam sampel sehingga menjadi faktor yang mempengaruhi daya hambat terhadap enzim α -glukosidase semakin rendah (Hilma, *et al.*, 2018).

4. Antioksidan

Pada penelitian Rizki (2021) Aktivitas antioksidan ekstrak etanol daun Cempedak (*Artocarpus integer*) sebesar 52,7706 ppm dn termasuk kedalam kategori tergolong antioksidan aktif. Senyawa yang bertanggungjawab terhadap aktivitas antioksidan yaitu

golongan fenol. Senyawa golongan fenolik mampu menonaktifkan radikal bebas. Selain fenolik, senyawa golongan flavonoid dan tanin umumnya memiliki kemampuan antioksidan. Kemampuan antioksidan dari suatu senyawa umumnya didapat dari efek saling menguatkan antar senyawa pada suatu sampel (Rizki, 2021).

5. Antimalaria

Beberapa spesies *Artocarpus* dilaporkan menunjukkan aktivitas antimalaria terhadap *Plasmodium falciparum* dan *Plasmodium berghei*. Senyawa stilbene terprenilasi yang diisolasi dari bagian udara dari Cempedak (*Artocarpus integer*) dilaporkan memiliki aktivitas antimalaria dengan nilai IC₅₀ 1,7 g/mL (Widyawaruyanti, *et al.*, 2020). Beberapa senyawa diisolasi dari ekstrak Cempedak (*Artocarpus integer*) menunjukkan hasil yang luar biasa aktivitas terhadap *P. falciparum* (Hafid, *et al.*, 2012). Oleh karena itu, ekstrak kulit batang Cempedak (*Artocarpus integer*) diformulasikan sebagai bentuk sediaan kapsul (diformulasi ACEE) dan dikembangkan lebih lanjut sebagai obat antimalarial. Hasil pengamatan fungsi hati menunjukkan bahwa tingkat AST dan ALT dari kelompok yang diobati dan yang tidak diobati kelompok berada dalam kisaran normal. Oleh karena itu kemungkinan besar pengobatan ACEE, bahkan pada dosis tertinggi, tidak mempengaruhi fungsi hati (Widyawaruyanti, *et al.*, 2020).

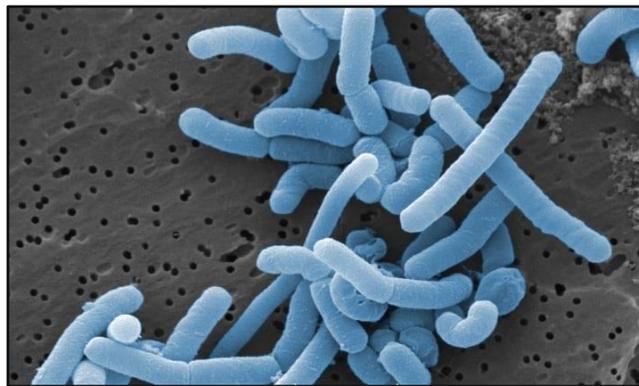
2.1.5 Fermentasi

Fermentasi adalah suatu proses terjadinya perubahan struktur kimia dari bahan-bahan organik dengan memanfaatkan aktivitas agen-agen biologis terutama enzim sebagai biokatalis (Meiliawati, 2017). Bakteri Asam Laktat (BAL) sering digunakan khususnya dalam industri pangan untuk berbagai macam fermentasi baik pada daging, sayuran, susu, roti, maupun produk bakeri (Rahmadi, 2019). Fermentasi dapat

meningkatkan kandungan senyawa fenolik bioaktif sehingga terjadi peningkatan aktivitas antioksidan (Hur, *et al.*,2014)

Berdasarkan sumber mikroorganismenya, proses fermentasi dibagi menjadi dua yaitu fermentasi spontan dan fermentasi menggunakan starter. Fermentasi spontan adalah fermentasi bahan pangan dimana dalam pembuatannya tidak ditambahkan mikroorganismenya dalam bentuk starter atau ragi, tetapi mikroorganismenya yang berperan aktif dalam proses fermentasi berkembang biak secara spontan. Fermentasi tidak spontan adalah fermentasi yang terjadi dalam bahan pangan yang dalam pembuatannya ditambahkan mikroorganismenya dalam bentuk kultur pemula atau starter (Meiliawati, 2017). Mutu hasil produk fermentasi sangat ditentukan oleh peranan bakteri asam laktat selama proses fermentasi. Pertumbuhan mikroba baik akan diperlihatkan pada fermentasi spontan maupun pada fermentasi starter disetiap proses fermentasi yang berjalan baik (Rahmadi, 2019).

2.1.6 Bakteri Asam Laktat (BAL)



Gambar 2. 16 Contoh Bakteri Asam Laktat (BAL)
(Sumber : Cfn, 2020)

Bakteri asam laktat (BAL) adalah kelompok heterogen mikroorganismenya filogenetik terkait erat yang menghasilkan produk utama berupa asam laktat dari fermentasi karbohidrat. Bakteri asam laktat (BAL) adalah bakteri gram positif, nonsporulating, katalase-

negatif, asam toleran, tidak bernafas tetapi aerotoleran, biasanya kokus nonmotil atau batang dengan kandungan Guanidine Cytosine (G C) rendah. Kecuali untuk beberapa spesies milik *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, dan *Carnobacterium*. Bakteri asam laktat (BAL) bersifat nonpatogenik dengan status yang umumnya diakui keamanannya dan termasuk kedalam mikroorganisme yang *Generally Recognized As Safe* (GRAS) yaitu mikroorganisme yang aman bagi kesehatan. Bakteri asam laktat (BAL) memerlukan kebutuhan nutrisi yang kompleks seperti asam amino, peptida, basa nukleotida, vitamin, mineral, asam lemak, dan karbohidrat. Kemampuan mereka untuk menghuni ceruk yang berbeda adalah ciri khas mereka keragaman metabolisme dan kemampuan beradaptasi (Mozzi, 2015).

1. Klasifikasi Taksonomi Bakteri Asam Laktat (BAL)

Sistem klasifikasi ini dengan demikian hanya mengenali empat genus BAL yaitu *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* dan *Streptococcus* (Quinto, *et al.*, 2014). Dari semua genus yang disebutkan, *Lactobacilli* dan *Carnobacteria* adalah genus yang berbentuk batang, genus yang tersisa adalah berbentuk kokus, kecuali spesies *Weissella* yang dapat berupa batang atau kokus (Mozzi, 2015). Bakteri asam laktat (BAL) juga telah diklasifikasikan kedalam genera/spesies yang berbeda berdasarkan asamnya karakteristik produksi dengan memfermentasi gula dan pertumbuhannya pada suhu tertentu (Ayivi, *et al.*, 2020). Selain itu, BAL dapat diklasifikasikan sebagai organisme homofermentatif atau heterofermentatif pada kemampuannya untuk memfermentasi karbohidrat (Mokoena, 2017). Bakteri asam laktat (BAL) homofermentatif seperti *Lactococcus* dan *Streptococcus* menghasilkan dua molekul laktat dari satu molekul glukosa sedangkan BAL heterofermentatif seperti *Leuconostoc*, *Weissella*, dan beberapa *lactobacilli* menghasilkan laktat, etanol,

dan karbon dioksida dari satu molekul glukosa (Ayivi, *et al.*, 2020).

Genus *Lactobacillus* baru-baru ini telah direklasifikasi oleh para ilmuwan menjadi 25 genera (Ayivi, *et al.*, 2020). Genus baru adalah *Lactobacillus*, *Paralactobacillus*, *Amylolactobacillus*, *Acetilactobacillus*, *Agrilactobacillus*, *Apilactobacillus*, *Bombilactobacillus*, *Companilactobacillus*, *Dellaglioia*, *Fructilactobacillus*, *Furfurilactobacillus*, *Holzapfelia*, *Lacticaseibacillus*, *Lactiplan-tibacillus*, *Lapidilactobacillus*, *Latilactobacillus*, *Lentilactoba-cillus*, *Levilactobacillus*, *Ligilactobacillus*, *Limosilactobacillus*, *Liquorilactobacillus*, *Loigolactobacillus*, *Paucilactobacillus*, *Se-cundilactobacillus* dan *Schleiferilactobacillus*.

2. Habitat Bakteri Asam Laktat (BAL)

Bakteri asam laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri yang tersebar luas di alam misalnya pada produk susu (fermentasi), daging dan sayuran, saluran pencernaan dan urogenital manusia dan hewan, dan tanah dan air (Liu, *et al.*, 2014). Perubahan ekologi bakteri asam laktat terjadi dari waktu ke waktu dan dari tempat satu ke tempat lain seperti tanah mereka dan habitat tanaman ke usus mamalia. Usus mamalia adalah gudang 100 triliun mikroorganisme yang umumnya disebut mikrobiota. Mikrobiota berkoloni saluran pencernaan dan sangat penting untuk kesehatan dengan meningkatkan metabolisme, pencernaan dan meningkatkan sistem kekebalan. Mikrobiota beradaptasi dengan baik dengan usus mamalia, terutama didasarkan pada tiga yaitu faktor yang meliputi adhesi ke sel usus, resistensi terhadap hambatan inang, dan fermentasi substrat dalam usus (Ayivi, *et al.*, 2020).

Garam empedu dan pH rendah juga mempengaruhi komposisi membran lipid mikrobiota (Ruiz, *et al.*, 2013). Aksi peristaltik memfasilitasi adanya adhesi bakteri asam laktat ke sel usus yang digabungkan dengan pelumasan dari musin yang melindungi dan melapisi sel epitel usus. Koordinasi ini memastikan peningkatan kapasitas kepatuhan bakteri asam laktat ke usus sel. Oleh karena itu, produksi musin usus sangat penting karena akan terus-menerus menghambat dan mencegah bakteri patogen dari mengikuti sel epitel usus sehingga mempromosikan aktivitas bakteri usus yang menetap. Akibatnya, bakteri gastrointestinal ini berfungsi sebagai penghalang sistem yang bekerja melawan patogen. Zat antimikroba yang diproduksi oleh *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium* spp. telah dikonfirmasi memiliki sifat antimikroba yang diberikan melawan bakteri enteropatogenik terkait dengan penyebab diare dan kedua genera dapat efek penghambatan pada aksi bakteri enterik patogen (Ayivi, *et al.*, 2020).

3. Media Tumbuh Bakteri Asam Laktat (BAL)

Medium selektif yang dipakai untuk menumbuhkan BAL yaitu media MRSA (*De Mann Rogosa Sharpe Agar*) dan MRSB (*De Mann Rogosa Sharpe Broth*). Bakteri asam laktat (BAL) pada medium tumbuhan jenis sayuran didominasi adanya bakteri *Lactobacillus* dan *Pediococcus* (Tamang, *et al.*, 2016). *Lactobacillus* tumbuh pada media dengan nutrisi tinggi karena memiliki kemampuan yang lemah untuk mensintesis asam amin dan vitamin B kompleks. Oleh karena itu, dalam pertumbuhannya memerlukan media yang dapat memfermentasi karbohidrat, memiliki asam nukleat, amina, vitamin B kompleks, dan mineral serta peptide untuk memenuhi kebutuhan nitrogen (Slizewska, *et al.*, 2020).

Berdasarkan kebutuhan tersebut, media MRSA dan dan MRSB adalah media yang cocok karena mengandung proteosa pepton, ekstrak daging, ekstrak ragi, glukosa ($C_6H_{12}O_6$), natrium asetat ($C_2H_3NaO_2$), triamonium sitrat ($C_6H_{17}N_3O_7$), magnesium sulfat ($MgSO_4$), dipotassium fosfat (Na_2HPO_4), polisorbat 80 ($C_{64}H_{124}O_{26}$) dan agar. Media MRSA dan MRSB yang merupakan media selektif untuk menumbuhkan BAL dengan tujuan penggunaan yang berbeda. Media MRSA adalah media yang digunakan dalam bentuk agar untuk menumbuhkan dan memurnikan isolat BAL yang tumbuh secara berkoloni, sedangkan media MRSB adalah media yang digunakan dalam bentuk cair untuk memproduksi dan mempermudah BAL melepaskan bakteriosin (Ningsih, *et al.*, 2018).



Gambar 2. 17 Hasil isolat BAL pada media MRS dengan penambahan $CaCO_3$ (Sumber : Hutabarat, *et al.*, 2018)

Media MRSA (*De Mann Rogosa Sharpe Agar*) dan MRSB (*De Mann Rogosa Sharpe Broth*) yang merupakan media selektif bagi pertumbuhan BAL, bersama dengan $CaCO_3$ akan menumbuhkan koloni yang ditunjukkan zona bening di sekitar koloni BAL. Terbentuknya zona bening ini menjadi tanda adanya produksi asam laktat. Penambahan $CaCO_3$ yang bersifat basa pada media ini akan bereaksi dengan menetralkan asam yang dihasilkan BAL dan

kemudian membentuk kalsium laktat yang larut dalam media sehingga tumbuhnya BAL ditunjukkan dengan zona bening yang berada di sekitar koloni (Meiliawati, 2017).

Namun, Hayek, *et al* (2019) menyebutkan bahwa media ini hanya media standar untuk Bakteri Asam Laktat (BAL) sehingga bersifat kurang selektif sehingga beberapa *strain* Lactobacills tidak dapat tumbuh dengan baik. Karena perbedaan kebutuhan nutrisi dari setiap spesies bakteri kelompok Bakteri Asam Laktat (BAL), maka media MRSA tersebut tidak dapat memberikan pertumbuhan yang optimal kondisi untuk semua spesies BAL. Oleh karena itu, masih perlu dilakukan pengembangan kandungan nutrisi pada media sehingga mampu menjadi selektif untuk spesies bakteri dari kelompok Bakteri Asam Laktat (BAL).

4. Bakteri Asam Laktat (BAL) dalam Biopreservasi

Fermentasi adalah proses di mana sumber karbon disimilasi oleh mikroorganisme menghasilkan energi tanpa oksidasi bersih. Alkohol dan asam organik seperti asam laktat, asam asetat, dan asam propionate merupakan produk akhir utama dari fermentasi mikroba. Telah banyak penggunaan BAL untuk fermentasi makanan yang mampu mengawetkan makanan dan mencegah pembusukan. Bakteri asam laktat (BAL) telah digunakan secara luas dalam pengolahan makanan dan banyak makanan fermentasi karena kapasitas pengawetnya ditambah dengan manfaat kesehatannya yang didapatkan manusia ketika makanan fermentasi bakteri asam laktat dikonsumsi (Ayivi, *et al.*, 2020).

Bakteriosin adalah protein kecil yang disintesis BAL dari ribosom dan bakteriosin ini adalah penghambat terhadap patogen bawaan makanan sehingga memastikan makanan aman. Selain itu, bakteriosinogenik BAL adalah kandidat yang baik sebagai kultur

starter susu yang memainkan peran penting dalam makanan proses aplikasi (Perez, *et al.*, 2014). Bakteriosin adalah senyawa peptida antimikroba terdegradasi oleh enzim proteolitik pada sistem pencernaan makhluk hidup dan tergolong jenis bakteri gram positif. Bakteriosin yang berasal dari bakteri asam laktat pada produk fermentasi dapat mencegah terjadinya pembusukan, menghambat pertumbuhan dan membunuh bakteri patogen (*Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus* dan *Listeria monocytogenes*) (Mozzi, 2015). *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* dan *Streptococcus* adalah penghasil bakteriosin dari BAL yang umum digunakan untuk memproduksi fermentasi makanan (Rizki, 2021).

5. Bakteri Asam Laktat (BAL) dalam Makanan Fermentasi

Banyak makanan tradisional yang telah dikembangkan menggunakan BAL sehingga meningkatkan karakteristik produk, memberikan sifat tertentu, meningkatkan penerimaan dan daya tarik konsumen. Sebagian besar produk yang dikembangkan dengan menggunakan BAL juga memberikan manfaat kesehatan yang unggul kepada konsumen yang merupakan kunci untuk mempertahankan sistem pencernaan yang sehat. Kefir, keju, mentega, yogurt, asinan kubis, buttermilk, sayuran yang diasinkan, penghuni pertama, dadih kedelai, koumiss, adonan iseng, uttapam, daging fermentasi, dan minuman merupakan contoh dari beberapa produk makanan fermentasi dari BAL. Produk susu fermentasi, atau disebut sebagai produk susu berbudaya, termasuk produk susu makanan yang telah difermentasi oleh konsorsium BAL yang bertanggung jawab untuk susu mengental atau asam susu (Gupta, *et al.*, 2020).

6. Keunggulan Bakteri Asam Laktat (BAL)

Bakteri Asam Laktat (BAL) memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

- a. Bakteri Asam Laktat (BAL) dapat menghasilkan senyawa yang memberikan rasa dan aroma spesifik pada 4 makanan fermentasi (Nsogning, *et al.*, 2017).
- b. Bakteri Asam Laktat (BAL) meningkatkan nilai cerna pada makanan fermentasi karena dapat melakukan pemotongan pada bahan makanan yang sulit dicerna sehingga dapat langsung diserap oleh tubuh, misalnya protein diubah menjadi peptida-peptida dan asam-asam amino (Ali, 2010).
- c. Bakteri Asam Laktat (BAL) menghasilkan asam laktat yang dapat terakumulasi pada lingkungan di sekitarnya, sehingga menyebabkan mikroba patogen dan pembusuk yang umumnya hidup pada rentang toleransi pH yang lebih tinggi tidak dapat tumbuh (Rahmadi, 2019).
- d. Bakteri Asam Laktat (BAL) juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri lain seperti bakteri pembusuk dan bakteri patogen pada produk pangan serta produk fermentasi lainnya. Senyawa-senyawa anti mikroba yang dihasilkan BAL antara lain: asam laktat, hidrogen peroksida (H₂O₂), karbon dioksida (CO₂), dan bakteriosin (Nuraida, 2015).
- e. Bakteri Asam Laktat (BAL) secara terbatas menghasilkan komponen anti jamur seperti asam fenilaktik, reuterin, hidrogen peroksida, dan peptide-peptida dalam formasi siklik seperti cyclo-(Phe-Pro), cyclo-(Phe-OH-Pro), dan cyclo-(Gly-L-Leu) (Dalie, *et al.*, 2010).

2.1.7 Mandai



Gambar 2. 18 Fermentasi Mandai (Sumber: dokumentasi pribadi)

Di Kalimantan, Cempedak atau Tiwadak Cempedak (*Artocarpus integer*), selain dikonsumsi daging buah dan biji, kulitnya dapat diolah menjadi makanan yang dinamakan mandai atau dami. Pengambilan atau pemanenan buah cempedak dilakukan hanya pada saat musim berbuah berlangsung. Rata-rata buah cempedak diambil selama berbuah atau musimnya masih berlangsung biasanya setiap 2 kali seminggu. Intensitas pengambilannya juga tergantung dari ketersediaan buah Cempedak (*Artocarpus integer*). Setelah menjumpai tumbuhan cempedak, bagian bawah tumbuhan cempedak dibersihkan terlebih dahulu. Aroma harum buah cempedak dan kondisi buah cempedak yang dilihat dari kulit merupakan ciri-ciri bahwa buah Cempedak (*Artocarpus integer*) sudah boleh diambil. Cara lain yaitu memukul atau meraba buah yang dapat dijangkau dengan tangan (Ariance, *et al.*, 2016).

Cara pengambilan atau pemanenan buah cempedak dilakukan dengan dua cara yaitu memanjat dan menjolok. Memanjat yaitu dengan menaiki pohon inang cempedak, atau menaiki pohon lain yang berdekatan dengan pohon cempedak. Setelah melihat dan mengetahui buah yang sudah masak dan sudah tua, kemudian buahnya diambil dengan cara memotong pada tangkai buah cempedak. Buah diambil

dengan menggunakan parang atau pisau. Menjolak yaitu dengan cara menaruh posisi penjolok pada tangkai buah kemudian menjatuhkannya. Setelah diturunkan kemudian dikumpulkan dan diletakkan ke dalam noken atau karung untuk dibawa pulang ke rumah sesuai dengan kebutuhan. Proses pengambilan tumbuhan cempedak di alam selama ini dilakukan sesuai kebutuhan masyarakat dan mempertimbangkan ketersediaannya di alam. Dengan demikian, keberadaan spesies ini akan senantiasa ada untuk masa yang akan datang (Ariance, *et al.*, 2016).

Pembuatan Mandai dilakukan dengan cara fermentasi spontan dan disimpan pada suhu ruang. Ada tiga tahap prinsip pengolahan Mandai. Pertama, persiapan bahan utama yaitu pengupasan dan pencucian bagian dalam kulit Cempedak (*Artocarpus integer*). Kedua, penggaraman. Ketiga, perendaman kulit cempedak dengan air garam yang bertujuan untuk mengawetkan dan melunakkan teksturnya selama waktu fermentasi yang diinginkan (Nur, 2010). Fermentasi mandai umumnya dibuat dengan penambahan garam dalam jumlah rendah, tinggi dan dengan penambahan kultur pemula (starter) pada proses fermentasinya (Rahmadi, 2019).

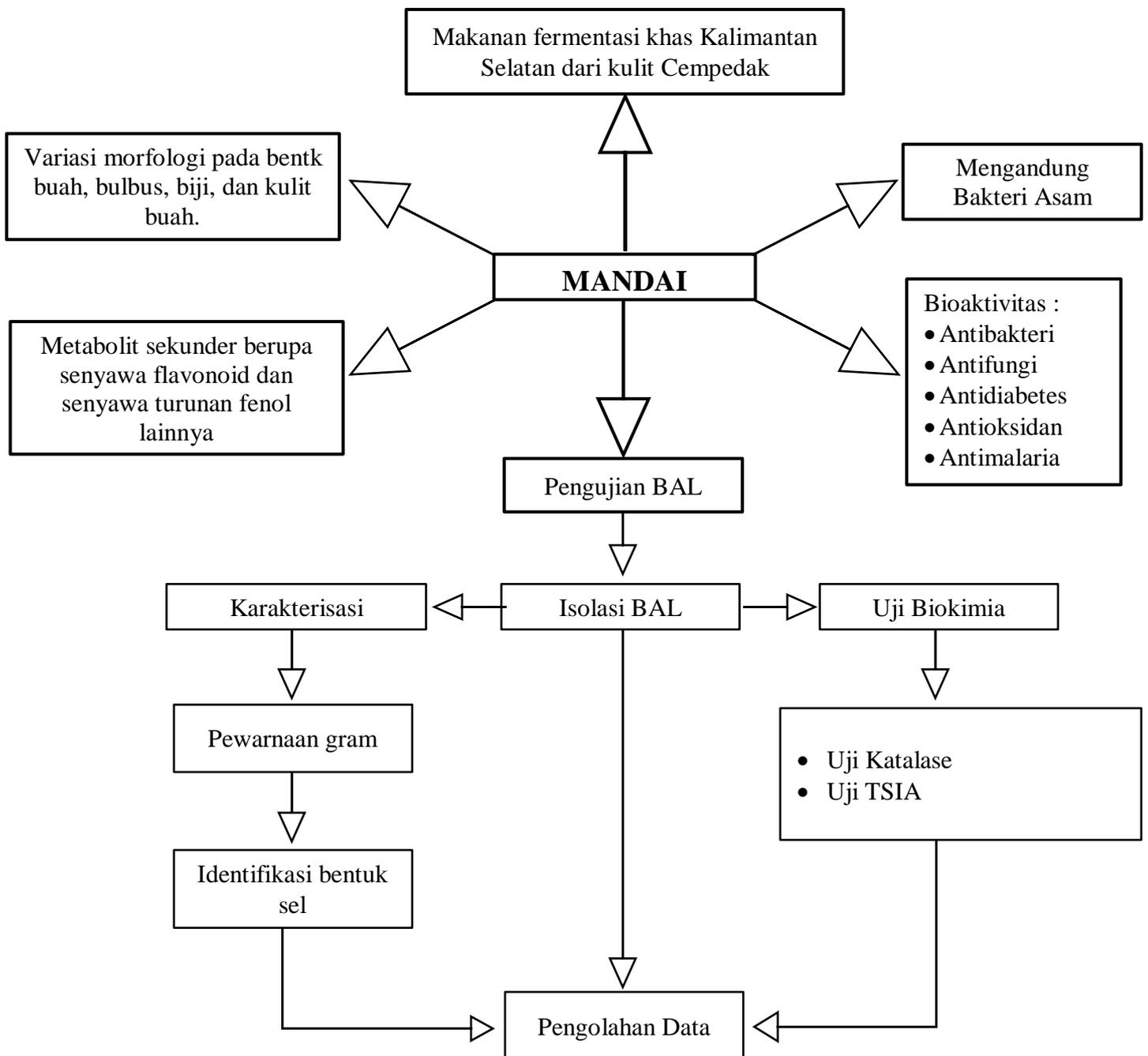
Mandai yang telah difermentasi akan menghasilkan Bakteri Asam Laktat (BAL) yang memiliki banyak manfaat bagi kesehatan tubuh khususnya dapat berpotensi sebagai probiotik. Hasil fermentasi dari Mandai juga berupa asam-asam organik yang berasal dari aktivitas mikroba selama fermentasi. Komponen asam organik dari aktivitas BAL diantaranya adalah asam laktat yang dapat dimanfaatkan menjadi penyedap rasa. Agar proses fermentasi dapat berjalan dengan baik, beberapa faktor harus diperhatikan. Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi aktivitas dari agen-agen biologis. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi fermentasi meliputi suhu, pH dan waktu fermentasi (Rahmadi, 2019).

2.1.8 Kinetika Pertumbuhan Bakteri Asam Laktat (BAL) pada Mandai
Penelitian Nur (2010) pada fermentasi spontan mandai selama fermentasi hari ke-3, 5, 7 dan 14 penyimpanan di suhu ruang menunjukkan pertumbuhan mikroba, yaitu khamir di hari ke-5 ($2,8 \times 10^9$ cfu/g), bakteri dominan di hari ke-14 ($1,1 \times 10^7$ cfu/g) dan nilai pH bervariasi di kisaran 3,71-6,12 selama proses fermentasi. Beberapa jenis bakteri asam laktat pada genus *Pediococcus* dan *Leuconostoc* adalah jenis bakteri asam laktat yang umum ditemukan pada fermentasi buah-buahan dan sayuran. Penelitian Afriani (2010) terhadap penambahan starter bakteri asam laktat *Lactobacillus plantarum* dan *Lactobacillus fermentum* pada fermentasi dadih susu sapi diperoleh total bakteri asam laktat sebesar $2,67 \times 10^{13}$ cfu/ml selama berlangsungnya fermentasi. Suhu menjadi faktor keberhasilan hidup bakteri yang membuat BAL mampu beradaptasi dan memiliki respon berbeda di lingkungan. Pertumbuhan mikroba memiliki kisaran suhu optimum yang berbeda untuk tiap jenis mikroba. Berdasarkan kisaran suhu pertumbuhan, mikroba dikelompokkan menjadi mikroba psikrofil atau kriofil (mikroba yang tumbuh pada suhu 0-30°C dengan suhu optimum 15°C), mikroba mesofil (mikroba yang umumnya tumbuh pada suhu minimum 15°C, suhu optimum 25-37°C dan pada suhu maksimum 45-55°C) dan mikroba termofil (suhu minimum 40°C, suhu optimum 55-60°C dan suhu maksimum pertumbuhan pada suhu 75°C). Reaksi BAL terhadap respon kejutan panas bersifat adaptif dan mengubah suhu dengan cepat. Tiga gen jenis protein panas Hsp 18,5; Hsp 18,55 dan Hsp 19,3 teridentifikasi dari jenis *Lactobacillus plantarum* WCFS1 memiliki kemampuan peningkatan tumbuh pada kondisi suhu sedang (37°C dan 40°C) maupun pada suhu rendah (12°C). BAL memiliki daya tahan dan dapat beradaptasi hingga suhu 75°C. Hal ini diduga karena adanya sembilan protein tahan panas yang teridentifikasi sebagai DnaK, GroEL, faktor pemicu,

ribosom L1, L11, L31 dan S6, DNA pengikat protein II H1bA dan CspC. Semua protein diduga kuat memainkan jalur mekanisme penekanan adaptasi pertumbuhan bakteri lainnya dan gen yang bertanggung jawab sebagai penunjang adaptasi BAL pada suhu tinggi (Rahmadi, 2019).

Hayek, *et al* (2019) mengatakan bahwa sebanyak lima spesies *Lactobacillus* yang dilakukan evaluasi pertumbuhannya dengan inkubasi selama 50 jam dan menunjukkan periode-periode pertumbuhan. Didapatkan bahwa hampir semua spesies memiliki fase lag pada waktu 6 jam dan fase pertumbuhan eksponensial pada waktu 25-45 jam. Waktu fase pertumbuhan tersebut akan berbeda pada setiap spesies kelompok Bakteri Asam Laktat (BAL).

2.1.9 Kerangka Konsep



Gambar 2. 19 Kerangka Konsep

