

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Logam Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083 °C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu<sup>2+</sup> 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga bersifat racun bagi makhluk hidup. Isoterm adsorpsi merupakan suatu keadaan kesetimbangan yaitu tidak ada lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik di fase terserap maupun pada fase gas atau cair. Isoterm adsorpsi biasanya digambarkan dalam bentuk kurva berupa plot distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dengan fase gas atau cair pada suhu konstan. Isoterm adsorpsi merupakan hal yang mendasar dalam penentuan kapasitas dan afinitas adsorpsi suatu adsorbat pada permukaan adsorben (Kundari, dkk, 2008).

Pencemaran logam berat meningkat sejalan dengan perkembangan industri. Pencemaran logam berat di lingkungan dikarenakan tingkat keracunannya yang sangat tinggi dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. Pada konsentrasi yang sedemikian rendah saja efek ion logam berat dapat berpengaruh langsung hingga terakumulasi pada rantai makanan. Logam berat dapat mengganggu kehidupan biota dalam lingkungan dan akhirnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia (Suhendrayatna, 2001).

Logam Cu dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, apakah itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga yang masuk ke dalam strata lingkungan dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam Cu ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 1994).

Logam Cu yang masuk ke dalam tatanan lingkungan perairan dapat terjadi secara alamiah maupun sebagai efek samping dari kegiatan manusia. Secara alamiah Cu masuk ke dalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan ataupun dari atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Sedangkan dari aktifitas manusia seperti kegiatan industri, pertambangan Cu, maupun industri galangan kapal beserta kegiatan di pelabuhan merupakan salah satu jalur yang mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam perairan (Palar, 1994).

Logam Cu termasuk logam berat esensial, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah yang kecil. Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994).

Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa Cu merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat

menjadi penghambat. Selanjutnya oleh Palar (1994) dinyatakan bahwa biota perairan sangat peka terhadap kelebihan Cu dalam perairan sebagai tempat hidupnya. Konsentrasi Cu terlarut yang mencapai 0,01 ppm akan menyebabkan kematian bagi fitoplankton. Dalam tenggang waktu 96 jam biota yang tergolong dalam Mollusca akan mengalami kematian bila Cu yang terlarut dalam badan air berada pada kisaran 0,16 sampai 0,5 ppm.

Tembaga adalah logam yang secara jelas mengalami proses akumulasi dalam tubuh hewan seiring dengan pertambahan umurnya, dan ginjal merupakan bagian tubuh ikan yang paling banyak terdapat akumulasi Tembaga. Paparan Tembaga dalam waktu yang lama pada manusia akan menyebabkan terjadinya akumulasi bahan-bahan kimia dalam tubuh manusia yang dalam periode waktu tertentu akan menyebabkan munculnya efek yang merugikan kesehatan penduduk (Widowati, 2008).

Gejala yang timbul pada manusia yang keracunan Cu akut adalah: mual, muntah, sakit perut, hemolisis, netrofisis, kejang, dan akhirnya mati. Pada keracunan kronis, Cu tertimbun dalam hati dan menyebabkan hemolisis. Hemolisis terjadi karena tertimbunnya  $H_2O_2$  dalam sel darah merah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel yang mengakibatkan sel menjadi pecah. Defisiensi suhu dapat menyebabkan anemia dan pertumbuhan terhambat (Darmono, 2005).

## B. Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*)

Jarak pagar termasuk Divisi Spermatophyta, Sub-divisi Angiospermae, Klas Dicotyledonae, Ordo Euphorbiales, Famili Euphorbiaceae, Genus *Jatropha*, dan Spesies *Jatropha curcas* L. (GFU dan GTZ, 2004; Henning, 2000). Habitus jarak pagar berbentuk semak besar dengan tinggi dapat mencapai lebih 5 meter (Heller, 1996) atau perdu dengan tinggi 1-7 meter (GFU dan GTZ, 2004) dengan sistem percabangan tidak teratur. Wiesenhutter (2003) menyatakan tinggi tanaman maksimum 5 meter. Batangnya berkayu, berbentuk silindris, dan bergetah (GFU dan GTZ, 2004; Henning, 2000).

Jarak pagar memiliki daun tunggal, berwarna hijau muda sampai hijau tua, permukaan bawah lebih pucat daripada bagian atasnya. Bentuk daun agak menjari dengan jumlah lekukan berkisar 5-7 dengan panjang 6-15 cm yang tersusun secara berselang-seling. Daunnya dilengkapi tangkai daun dengan panjang antara 4-15 cm (Henning, 2000). Bentuk bunga, kapsul buah dan bijinya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bunga, kapsul buah dan biji (dalam kapsul buah) jarak pagar yang mengandung minyak

Komposisi kimia dari biji dan kulit pada *Jatropha curcas* berbeda. Biji dari *Jatropha curcas* terdiri dari lemak dan protein dengan kadar air dan abu yang rendah. Biji jarak pagar mengandung PK yang bervariasi antara 22,2-27,2%. Buah dari pohon jarak pagar yang berumur 7 tahun pada sampel yang segar memiliki rasio biji dengan kulit (63:37), PK (25,6%), lemak (57%) dan abu (3,4%). Kulit biji tersusun atas serat (83% *Neutral Detergent Fiber*, 74% *Acid Detergent Fiber* dan 45% lignin) dan PK yang sangat rendah (< 6%). Bungkil biji jarak pagar (tanpa kulit) memiliki kandungan PK (57-64%), abu sekitar 10%, dan serat (NDF < 10% dan ADF < 7%) (Makkar *et al.*, 1997). Komposisi kimia bungkil *Jatropha curcas* dari berbagai varietas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia (% BK) dari Bungkil Biji Jarak Pagar

Komponen	Varietas			
	Cape Verde	Nicaragua	Ife-Nigeria	Non-toxic Mexico
Protein Kasar (%)	56,4	61,2	55,7	63,8
Lemak (%)	1,5	1,2	0,8	1,0
Abu (%)	9,6	10,4	9,6	9,8
NDF (%)	9,0	8,1	8,9	9,1
ADF (%)	7,0	6,8	5,6	5,7
ADL (%)	0,4	0,3	0,1	0,1
Energi Bruto (Kkal/kg)	4368	4392	4272	4320

Sumber : Makkar *et al.* (1997)

Keterangan:

NDF: *Neutral Detergent Fiber*

ADF: *Acid Detergent Fiber*

ADL: Lignin

Biji jarak pagar mengandung berbagai macam senyawa kimia seperti sukrosa, rafinosa, stakiosa, glukosa, fruktosa, galaktosa, protein, minyak (50-60 %), toxalbumin curcin yang berbahaya dan asam oleat dan

linoleat dalam jumlah besar. Dua buah biji jarak pagar dapat berfungsi sebagai pencahar perut, sedangkan 4-5 buah biji jarak pagar dapat menimbulkan kematian terutama pada anak-anak. Selain kandungan nutrisinya yang baik untuk ternak, juga terdapat beberapa anti nutrisi yang menghambat penggunaannya antara lain *lectin/curcin*, *phorbol ester/diterpene esters*, tanin, *phytat*, saponin dan anti trypsin (Makkar *et al.*, 1997).

Dalam proses pengolahan minyak jarak yang diperuntukkan sebagai bahan bakar digunakan mesin pengepres dan selain itu akan dihasilkan beberapa macam limbah, yaitu kulit luar dari buah jarak, cangkang warna hitam dan bungkil biji. Bila biji dipres tanpa cangkang akan dihasilkan bungkil biji berwarna putih dan bila cangkang tidak dipisahkan dihasilkan bungkil berwarna hitam. Pengepres yang digunakan dapat berupa pengepres sistem hidrolik dan pengepres sistem ulir. Prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2. Penelitian sebelumnya mendapatkan bahwa proporsi kulit luar adalah 29 – 32% dari buah, biji adalah 71% dari buah. Proporsi cangkang adalah 36,5 – 44,9% dan inti biji (kernel) 58,0 – 65,7% dari biji (Makkar *et al.*, 1997).



Gambar 2. Skema pengepresan biji jarak memakai a) pengepres sistem hidrolis (*hydraulic press*) dan b) pengepres sistem ulir (*screw press*)

Dilaporkan bahwa bungkil biji jarak mengandung beberapa senyawa anti nutrisi atau racun. Ada beberapa macam senyawa anti nutrisi dalam bungkil biji yaitu lektin, anti tripsin (*trypsin inhibitor*), saponin, fitat, forbolester dan sebagainya (Makkar dan Becker, 1998).

Tabel 2. Komposisi senyawa anti nutrisi/racun pada bungkil dan cangkang *J. curcas* dibandingkan dengan bungkil kedelai

Senyawa anti nutrisi/racun	<i>Jatropha curcas</i> beracun (Nicaragua)		<i>Jatropha curcas</i> tidak beracun (Mexico)		Bungkil kedelai
	Bungkil (minyak diekstrak)	Cangkang	Bungkil (minyak diekstrak)	Cangkang	
Total fenol (%) <sup>a</sup>	0,29	2,8	0,22	4,4	-
Tanin (%) <sup>a</sup>	0,03	2,0	0,02	2,9	-
Tripsin inhibitor (mg/g bungkil)	21,1		26,5		3,9
Lektin (dalam bungkil) <sup>b</sup>	102		51		0,32
Saponin (% dalam bungkil) <sup>c</sup>	2,0		3,4		4,7
Fitat (% dalam bungkil)	10,1		8,9		1,5
Forbolester (mg/g biji)	2,17		0,11		

a = ekuivalen dengan asam tanat sebagai standar

b = jumlah minimum bungkil yang dibutuhkan untuk mengaglutinasi butir darah merah, semakin tinggi nilai artinya semakin rendah aktivitas lektin

c = ekuivalen dengan diosgenin sebagai standar

- = tidak ada data

Nilai kosong berarti senyawa tersebut tidak ditemukan dalam bungkil atau cangkang

Sumber: Makkar *et al.* (1998)

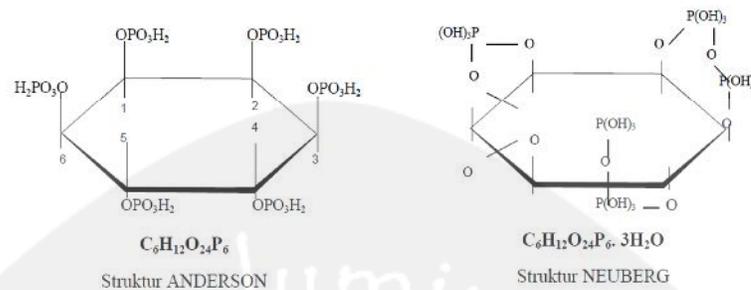
### C. Asam Fitat

Asam fitat (mio-inositol heksakisfosfat) merupakan bentuk penyimpanan fosfor yang terbesar pada tanaman sereal dan leguminosa. Dalam biji fitat merupakan sumber fosfor dan inositol utama bagi tanaman, terdapat dalam bentuk garam dengan kalium, kalsium, magnesium, dan logam lain (Averill dan King, 1986). Pada kondisi alami, asam fitat akan membentuk ikatan baik dengan mineral bervalensi dua (Ca, Mg, Fe), maupun protein menjadi senyawa yang sukar larut. Hal ini menyebabkan mineral dan protein tidak dapat diserap tubuh, atau nilai cernanya rendah. Oleh karena itu, asam fitat dianggap sebagai antinutrisi pada bahan pangan.

Molekul asam fitat mengandung 12 proton dengan sisi terdisosiasi. Enam sisi merupakan asam kuat dengan nilai pKa kira-kira 1,5, tiga sisi dengan nilai pKa 5,7,6,8, 7,6, dan sisanya tiga sisi adalah asam sangat lemah dengan nilai pKa >10. Struktur molekul tersebut secara konsisten memiliki kapasitas sebagai *chelating agent* dengan kation multivalensi. Karena sifatnya sebagai *chelating agent* terutama terhadap ion-ion bervalensi dua (Georgievskii *et al.* 1982), kehadiran asam fitat pada pakan menyebabkan ketersediaan biologis mineral-mineral tersebut pada ternak non-ruminansia sangat rendah. Telah terbukti bahwa asam fitat dalam ransum nyata dapat menurunkan rata-rata akumulasi dan retensi Ca, Fe, Cu, Mn, dan Zn (Graf dan Eaton, 1990).

Asam fitat mudah bereaksi dengan protein membentuk kompleks fitat-protein yang dapat menurunkan kelarutan protein. Laju hidrolisis protein oleh enzim-enzim proteolisis menurun akibat protein terikat oleh fitat. Asam fitat juga mengikat karbohidrat sehingga memberikan efek merugikan bagi ternak (Oatway *et al.* 2001).

Menurut Oberleas (1977) asam fitat dikenal dengan nama ilmiah sebagai mio-inositol 1,2,3,4,5,6-heksakis (dihidrogen fosfat) atau IP6. Pada Gambar 3 diperlihatkan struktur asam fitat yang diusulkan masing-masing oleh Anderson dan Neuberg. Tetapi, suatu studi yang dilakukan dengan menggunakan teknik resonansi nuklir dan kristalografi sinar X, menunjukkan bahwa struktur yang diusulkan Anderson adalah yang ditemukan pada biji tanaman.

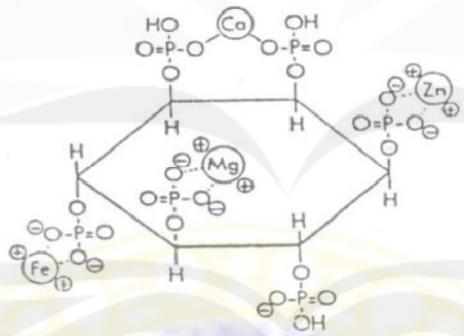


Gambar 3. Struktur yang diusulkan untuk asam fitat (Oberleas, 1977)

Asam fitat dapat pula bereaksi dengan protein membentuk suatu senyawa kompleks. Senyawa kompleks ini dapat memengaruhi kecepatan hidrolisis protein oleh enzim-enzim proteolitik karena terjadinya konformasi protein. Telah diamati bahwa asam fitat dapat menghambat hidrolisis ovalbumin dan elastin oleh pepsin (Deddy, 1989). Carnavole *et al.* (1988) dalam Shi *et al.* (2004) mempelajari tentang ketersediaan protein dengan fitat pada *faba beans* dan *peas*, fitat secara tidak langsung dapat membentuk kompleks dengan grup bermuatan negatif dari protein oleh ion kalsium. Hasil dari penelitian yang dilakukan mendukung hipotesa bahwa interaksi antara fitat-protein mengurangi ketersediaan protein.

Asam fitat tersedia sebagai *chelating agent* yang mengikat nutrisi penting mineral-mineral monovalen dan divalen (contoh: kalsium, magnesium, cobalt, mangan, seng, copper dan besi) menjadi kompleks fitat (Erdman, 1979 dalam Shi *et al.*, 2004). Semua kompleks fitat monovalen dan kompleks  $Ca^{2+}$ -fitat dapat larut dalam pH netral, kecuali kompleks logam ion-fitat yang lebih tinggi. Itu berarti bahwa kation divalen dan trivalen ( $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  dan  $Ca^{2+}$ ) tidak larut dalam pH netral. Kelarutan dari

komplek-komplek fitat tergantung pada perbandingan rasio logam dalam fitat. Fitat yang berikatan dengan kalsium, magnesium dan aluminium larut pada pH rendah dan tidak larut pada pH tinggi, berbeda dengan besi-fitat yang larut pada pH tinggi, tetapi kecenderungan dari ion logam menjadi kompleks dengan asam fitat meningkat dengan turunnya pH. Afinitas jenis mineral dapat diurutkan sebagai berikut:  $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$  (Graf dan Eaton, 1990). Interaksi antara asam fitat dan ion logam diilustrasikan pada Gambar 4. Kation logam dapat berikatan dengan satu atau lebih gugus fosfat yang terdapat pada satu molekul asam fitat atau kation logam dapat juga membentuk jembatan diantara dua atau lebih molekul asam fitat.



Gambar 4. Interaksi antara asam fitat dengan ion logam (Noor, 1992).

#### D. Hipotesis

1. Asam Fitat bungkil biji jarak memiliki kemampuan yang cukup tinggi dalam menyerap logam tembaga (Cu)
2. Ada hubungan positif antara lama perendaman dengan penambahan asam fitat terhadap penurunan kadar logam berat tembaga (Cu)

3. Besar efektifitas penyerapan logam berat tembaga (Cu) oleh asam fitat bungkil biji jarak pagar adalah di atas 50%.

