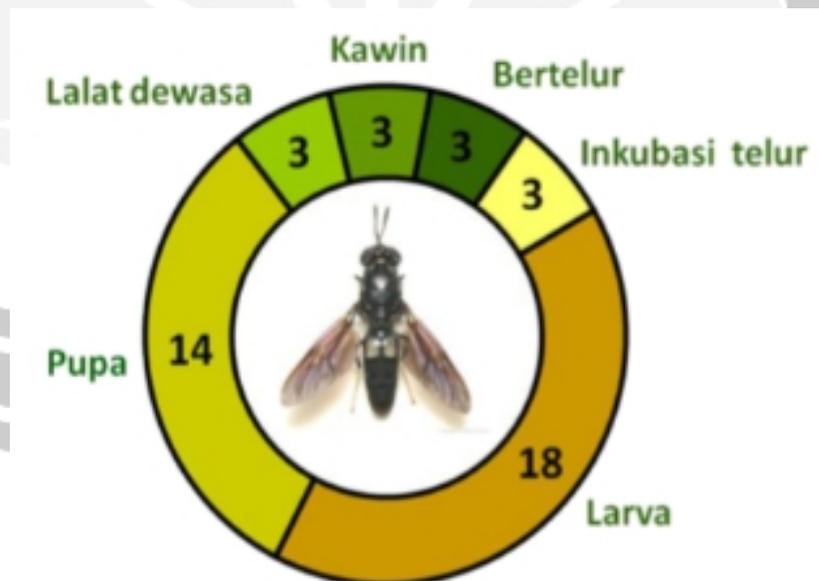


II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lalat Tentara Hitam (*Black Soldier Fly*) (*Hermetia illucens*)

Lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*) (BSF) merupakan jenis serangga yang banyak dikaji baik kandungan nutrisi maupun karakteristiknya. BSF ini berasal dari Amerika tetapi berhasil dibiakkan pada daerah tropis seperti Indonesia. Budidaya yang dilakukan di Indonesia tidak memerlukan peralatan khusus yang menjadikan BSF dapat berkembangbiak dengan pesat (Wardhana, 2016). Lalat tentara hitam (BSF) ini memiliki siklus hidup yang cukup singkat yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus hidup BSF (*Hermetia illucens*) (Sumber: Wardhana,2016)

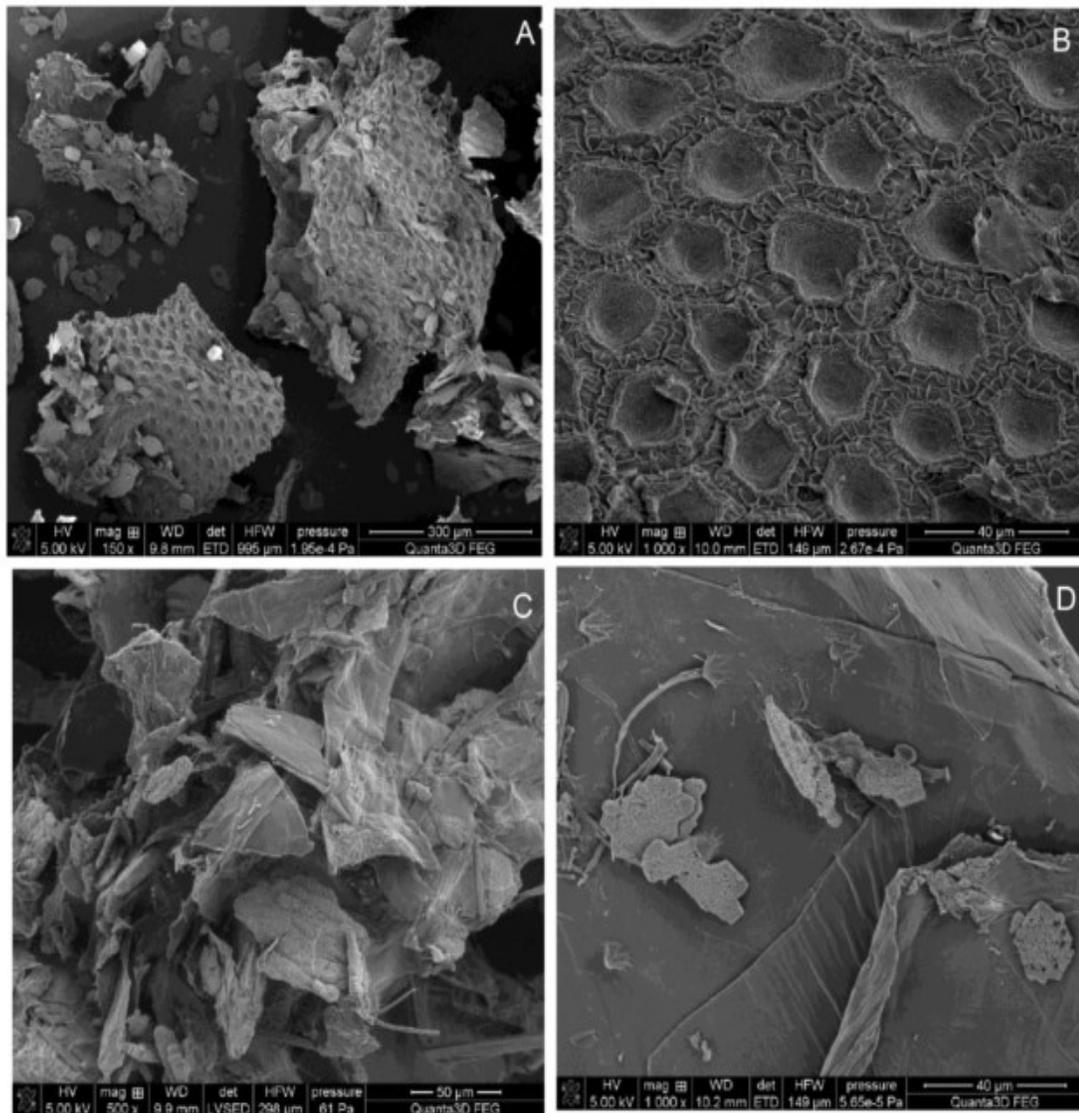
Keterangan : Angka pada gambar menunjukkan hari

Berdasarkan skema tersebut diketahui dari kondisi larva hingga menjadi lalat dewasa bertelur memiliki total waktu siklus hidup BSF adalah 44 hari, waktu

tersebut sangat singkat mengingat BSF betina dewasa dapat memproduksi telur 185 – 1235 butir telur dalam bentuk massa telur (Wang dan Shelomi, 2017). Bila dibandingkan dengan udang vaname yang memiliki siklus hidup 90 – 100 hari, lalat BSF memiliki siklus hidup yang lebih singkat (Kanna dan Amri, 2008). BSF memiliki banyak fungsi selain digunakan sebagai pakan fungsional, yaitu dapat juga digunakan sebagai penghasil pupuk organik karena dapat mendegradasi limbah organik (Wang dan Shelomi, 2017). BSF sudah banyak dilakukan pengkajian tentang kandungan senyawa yang dimilikinya. BSF memiliki kandungan protein sekitar 44,26 % dengan kadar lemak pada sampel berkisar 29,65 % (Wardhana, 2016).

Kandungan kitin BSF yang khususnya diberi pakan sampah sayuran adalah sebesar 57 gram/Kg bahan kering, sedangkan bila diberikan pakan berupa kaki ayam sebesar 62 gram/Kg, bila diberi pakan jeroan kitin yang dihasilkan sebesar 56 gram/Kg dan bila diberikan limbah rumah makan kitin yang dihasilkan sebesar 67 gram/Kg (Spranghers dkk., 2017). Selain dari bentuk larva, pada bentuk pupa bahkan setelah cangkang pupa BSF ditinggalkan oleh lalat dewasa masih terdapat kandungan kitin di dalam cangkang yang berkisar antara 11 – 13 % setelah proses ekstraksi dari 100 gram cangkang pupa atau bila diubah ke dalam gram sebesar 11 – 13 gram/100 gram dan setelah diekstraksi kembali menjadi kitosan hasil yang diperoleh berkisar antara 84,7 % - 87,4 % atau sekitar 9 - 11 gram/100 gram (Qiyun dkk., 2013).

Kandungan kitin yang dimiliki oleh BSF dapat dilihat kenampakkannya menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Menurut Waško dkk., (2016) kenampakan cangkang pupa yang dimiliki oleh BSF seperti pada Gambar 2.

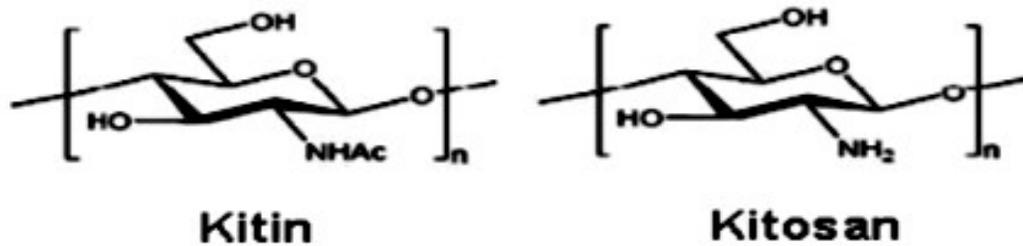


Gambar 2. Kenampakan menggunakan SEM kitin pada cangkang pupa *Hermetia illucens* perbesaran 150-1000x (Sumber: Waško dkk., 2016)

B. Kitin dan Kitosan

Kitin merupakan polimer linier rantai panjang tanpa rantai samping. Kitin tersusun atas 2-asetamido-2-deoksi- β -D-glukosa yang berikatan dengan glikosidik 1-4. Kitin memiliki ikatan monomer pada ikatan glikosida di posisi $\beta(1-4)$ dan pada gugus hidroksil yang terdapat pada atom karbon alfa pada molekul kitin berupa gugus asetamida ($-\text{NH}_2\text{COCH}_3$) (Nadarajah, 2005). Kitin memiliki sifat tidak larut di dalam air (hidrofob) pada beberapa pelarut organik ataupun air. Kitin dapat terurai dan bersifat tidak beracun sehingga aman dimanfaatkan dalam berbagai bidang (Purwanti, 2014). Pemanfaatan kitin paling menonjol pada proses adsorben, tetapi biasa digunakan dalam bidang industri obat – obatan, kosmetik, pangan, cat, perekat, kertas, pupuk dan banyak lainnya (Suptijah, 2004).

Kitosan merupakan polimer alam rantai linier dengan rumus $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4)_n$ atau (1-4)-2-amino-2-deoksi- β -D-glukosa (Alfian, 2003). Kitosan merupakan turunan dari kitin. Kitin dapat berubah menjadi kitosan dengan cara mengubah gugus asetamida ($-\text{NH}_2\text{COCH}_3$) menjadi gugus amina ($-\text{NH}_2$) dengan menghilangkan gugus asetil (COCH_3) pada kitin. Penghilangan gugus asetil ini dilakukan dengan perendaman kitin pada basa kuat. Mengetahui kitin sudah berubah menjadi kitosan dengan melihat besaran penghilangan gugus asetil pada gugus asetamida yang dinyatakan dalam derajat destilasi (DD) (Purwanti, 2014). Struktur senyawa kitin dan kitosan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur dasar kitin dan kitosan (Sumber: Purwanti, 2014)

Keterangan :

Kitin : Memiliki gugus asetamida (-NH₂COCH₃)

Kitosan : Memiliki gugus amina (-NH₂)

Kitosan memiliki peran dalam biosorben atau biokoagulan. Kitosan efektif sebagai koagulan karena kitosan mempunyai kandungan nitrogen dalam gugus amina. Gugus amina dan hidroksil inilah yang mengakibatkan kitosan memiliki keefektifan yang lebih tinggi dalam penyerapan logam berat karena memiliki muatan positif. Saat masih berbentuk kitin, gugus asetil yang bermuatan negatif (CO⁻) akan lebih terikat dengan gugus amin sehingga muatan negatif logam tidak terikat sempurna. Kitosan pada kondisi laboratorium dapat menyerap kandungan logam berat seperti Kromium (Cr), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Kobalt (Co), dan Besi (Fe) (Hendrawati dkk., 2015).

Mekanisme kitosan sebagai biosorben adalah gugus amina (NH₂) akan mengikat logam Cu pada permukaan karena adanya gaya dorong termodinamika yang terbentuk dari logam Cu. Logam Cu akan bergerak menempel ke gugus amina sehingga terjadi penataan ulang kompleks senyawa dan pemutusan ikatan yang diakhiri dengan terjadinya pengendapan (Dandil dkk., 2019).

Kitosan hasil ekstraksi cangkang kepiting dapat mendegradasi logam tembaga (Cu) dengan konsentrasi 250 ppm sebesar 99,81 – 99,85 % dengan perendaman selama 6 jam (Apsari dan Fitriasti, 2010). Kitosan didapatkan dari proses ekstraksi yang dapat meliputi proses demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Kitosan memiliki muatan positif sehingga dapat mengikat muatan negatif yang umumnya adalah lipid, kolesterol, logam, protein, dan makro molekul (Aprianda dkk., 2018). Kualitas kitosan biasanya ditentukan menggunakan derajat deasetilasi (%DD) menggunakan FTIR spektro. Menurut Aprianda dkk. (2018) standar mutu nasional (SNI) karakteristik kitosan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik kitosan

Parameter	Standar Mutu Kitosan (SNI 7949:2013)
Warna	Coklat Muda sampai Putih
Kelarutan dalam Asam	Min 99 %
Rendemen	-
Viskositas	Min 5 cps
Derajat Deasetilasi	Min 75 %
Kadar Air	Maks 12 %
Kadar Abu	Maks 5 %
pH	7 – 8

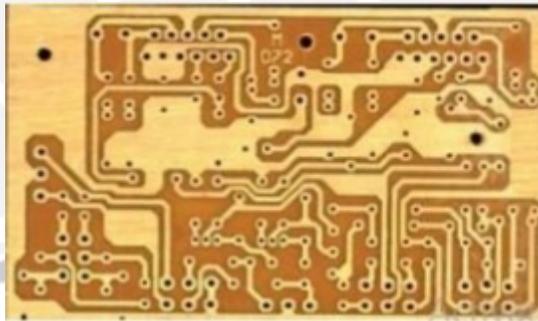
Sumber: Aprianda dkk., 2018

Menurut Dompeipen (2017) hasil ekstraksi sudah dikatakan sebagai kitin bila mana memiliki derajat deasetilasi < 50 % dan dikatakan sebagai kitosan bila mana memiliki derajat deasetilasi > 50 %.

C. Deskripsi Limbah Cair Proses *Etching Printed Circuit Board* (PCB)

Printed Circuit Board (PCB) merupakan papan cetak sirkuit yang memiliki jalur sirkuit dengan bahan logam yang saling dihubungkan tanpa kabel.

Papan sirkuit ini banyak digunakan dalam industri elektronika (Yudi dan Wardhana, 2008). Papan PCB ini biasanya digunakan pada alat elektronik seperti televisi, radio, laptop, computer, *handphone*, dan perangkat elektronik lainnya. Komponen PCB dibagi menjadi 2 yaitu konduktor dan isolator sebagai penyusun utama. Konduktor PCB umumnya terbuat dari logam tembaga (Cu), namun aluminium, krom, dan nikel terkadang juga digunakan sebagai konduktor, sedangkan bahan isolator sendiri adalah fiber (Brown dkk., 1990). Kenampakan plat PCB dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kenampakan papan PCB dengan bahan tembaga (Sumber: Nugroho dkk., 2011)

Pembuatan papan hingga dapat digunakan ini melalui 4 tahap. Pertama, papan PCB dipotong sesuai ukuran yang diinginkan dan dibersihkan. Tahap kedua dilakukan penyablonan (seperti lapisan minyak) yang merupakan tahap pembentukan jalur, penggambaran jalur bisa dilakukan dengan spidol. Tahap ketiga adalah tahap *etching* (pengikisan) lapisan tembaga yang tidak diperlukan dengan FeCl_3 . Tahap keempat adalah pencucian dan pengeboran untuk diletakkan pada komponen elektronik (Cahyono dan Ariani, 2014).

PCB dalam pengolahannya tersebut menghasilkan limbah cair dari proses pencucian. Limbah ini apabila di buang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan akan menurunkan kualitas air di wilayah tersebut. Limbah PCB ini memiliki kandungan logam Cu yang bila terakumulasi akan mengakibatkan gangguan pada ginjal, kerja enzim terhambat, radang usus akut, nekrosis sel hati dan kolaps (Anggriany, 2018).

Mekanisme terjadinya gangguan kesehatan pada tubuh akibat dari logam Cu yang tertimbun didalam tubuh mengakibatkan adanya hemolisis akibat adanya timbunan unsure H_2O_2 dalam sel darah sehingga terjadi oksidasi dari lapisan sel yang mengakibatkan sel menjadi pecah (Heru Setiawan, 2014). Logam Cu menyebabkan korosi pada pipa serta peralatan dapur (Said, 2010). Berdasarkan tahap terbentuknya limbah tersebut maka dilakukan karakterisasi kandungan logam yang terdapat dalam limbah cair PCB oleh Cahyono dan Ariani (2014) dengan hasil seperti pada Tabel 2

Tabel 2. Karakteristik kandungan logam pada limbah cair PCB

Parameter	Limbah awal (mg/liter)
Besi (Fe)	6.710
Tembaga (Cu)	112.275
Zink (Zn)	21,425
Timbal (Pb)	0,4
Nikel (Ni)	3,15
pH	0,14
Crom total (Cr)	3,075

Sumber: Cahyono dan Ariani, 2014

Pengolahan limbah Cu sudah banyak dilakukan salah satunya adalah pengolahan dengan menggunakan lumpur aktif. Limbah Cu bisa didegradasi oleh

bakteri mulai pada konsentrasi 350 ppm dan efektif pada konsentrasi 50 ppm dengan rata – rata daya serap Cu sebesar 93,18 % (Anggriany, 2018). Limbah Cu juga bisa dilakukan pengolahan dengan cara adsorben dengan koagulan kitosan. Skala laboratorium kitosan mampu menyerap logam Cu dengan konsentrasi 10 ppm dengan kemampuan menyerap sebesar 72,17 % selama perendaman 30 menit (Alfian, 2003). Karakteristik limbah cair PCB yang digunakan hasilnya adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik limbah PCB

No.	Parameter Uji	Hasil	Metode	Baku Mutu Air Limbah
1	Logam Cu	1,55 %	SNI-06-6989.6-2009	0,6 mg/l*
2	TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	14,70 mg/l	IKU/5.4/AK-18 (Gravimetri)	60 mg/l*
3	pH	0,91	SNI 06-6989. 11-2004	6 – 9*
4	COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	223.333,33 mg/l	Volumetri	110 mg/l*

Keterangan : *Permen LH No. 5 Tahun 2014

Sumber: Anggriany, 2018

Berdasarkan hasil uji seperti pada Tabel 3, dengan parameter Cu, TSS, pH, dan COD diketahui bahwa limbah PCB memiliki sifat pencemar yang tinggi yaitu dengan beban pencemar Cu hingga 1,55 % atau setara dengan 15.500 mg/l yang seharusnya hanya diperbolehkan sebesar 0,6 mg/l, TSS sebesar 14,70 mg/l dan baku mutu sebesar 60 mg/l, pH sebesar 0,91 sedangkan baku mutu yang ada

berkisar 6-9, COD dengan hasil 233.333,33 mg/l yang seharusnya hanya 110 mg/l (Anggriany, 2018).

D. Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah industri elektronika aman dibuang ke lingkungan menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomer 5 Tahun 2014 seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Baku mutu limbah cair usaha kegiatan industri elektronika

Parameter	Satuan	Konsentrasi
A. Parameter Fisika		
TSS	Mg/l	60
BOD ₅	Mg/l	50
COD	Mg/l	110
pH	-	6-9
B. Parameter Kimia		
NH ₃ -N	Mg/l	10
F	Mg/l	10
Fenol	Mg/l	0,5
Minyak dan Lemak	Mg/l	10
Cu	Mg/l	0,6
Zn	Mg/l	5
Cr ⁵⁺	Mg/l	0,1
Cd	Mg/l	0,1
Hg	Mg/l	0,002
Pb	Mg/l	0,1
Ni	Mg/l	0,5

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomer 5 Tahun 2014

Parameter yang harus diperhatikan dalam pengolahan limbah cair *etching* PCB adalah pH dan kandungan logam Cu. Nilai pH akan menggambarkan keadaan lingkungan limbah tersebut asam atau basa. Nilai pH dianggap aman

dibuang ke lingkungan adalah pH netral yaitu pH 7, pH < 7 menandakan pH bersifat asam dan pH > 7 menandakan pH bersifat basa (Pamungkas, 2016).

E. Adsorpsi

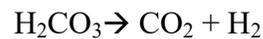
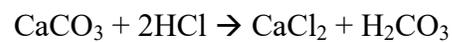
Adsorpsi adalah salah satu cara yang sering digunakan sebagai pemecahan masalah dari kontaminasi limbah cair baik domestik ataupun industri. Cara ini efektif karena mampu menurunkan zat (bahan) berbahaya yang dituju dan menghilangkan bau. Keuntungan dalam penggunaan teknik ini adalah mudah di degradasi, stabil, memiliki pori – pori yang banyak, dan mudah diregenerasi (Riapanitra dkk., 2006). Penggunaan metode adsorpsi yang sudah banyak digunakan saat ini adalah teknik pengolahan limbah cair industri dengan bahan pengikat yang berasal dari makhluk seperti hasil samping pertanian atau makhluk hidup lainnya yang lebih di kenal sebagai biosorben. Keuntungan menggunakan biosorben adalah bahan baku tersedia dalam jumlah banyak, murah, pengolahan lebih efektif, lumpur yang terbentuk tidak terlalu banyak, dan tidak ada nutrisi tambahan (Kurniasari, 2010). Kerugian menggunakan mekanisme ini adalah memiliki titik jenuh dan keterbatasan dalam proses penyerapan sehingga mengakibatkan penyerapan menurun (Setyawati dkk., 2015).

F. Ekstraksi

Proses ekstraksi dalam pembuatan kitosan akan dilakukan menggunakan 3 tahapan dasar yang meliputi demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi.

1. Demineralisasi

Proses demineralisasi adalah menghilangkan mineral dari bahan yang akan digunakan. Proses ini meliputi terjadinya reaksi antara mineral terkandung dalam sampel dengan larutan asam berupa HCl yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Reaksi demineralisasi (Sumber: Kusumaningsih dkk., 2004)

Proses demineralisasi ini akan menghasilkan gelembung CO_2 akibat reaksi dari larutan HCl konsentrasi rendah dengan mineral yang terdapat dalam sampel (Kusumaningsih dkk, 2004). Umumnya konsentrasi HCl yang digunakan ada pada konsentrasi 1 – 10% (Qiyun dkk., 2013).

2. Deproteinasi

Proses deproteinasi ini meliputi perendaman sampel menggunakan NaOH dalam konsentrasi yang rendah dengan proses pemanasan. Tujuan dilakukan proses deproteinasi ini adalah menghilangkan protein yang terdapat dalam sampel (Purwanti, 2014). Konsentrasi NaOH yang umumnya digunakan dalam proses deproteinasi sebesar 1-15% (Qiyun dkk., 2013). Selama proses terjadi reaksi antara protein dengan NaOH sehingga terbentuk Na-proteinat yang akan larut dalam pengestrak. Ion Na^+ yang terdapat dalam pengestrak akan mengikat ujung rantai protein bermuatan negatif mengakibatkan berikatannya senyawa tersebut (Hambali dkk., 2017). Menurut

Hambali dkk. (2017) terdapat faktor yang mengakibatkan protein dalam tahap deproteinasi ini dapat terlarut sempurna, yaitu:

- a. Konsentrasi pelarut, kelarutan protein akan semakin baik bila konsentrasi pelarut semakin tinggi
- b. Suhu, protein akan mengalami denaturasi pada suhu 60 – 100⁰C
- c. Waktu, waktu optimum dibutuhkan sehingga kontak pelarut dan bahan yang diekstrak menjadi optimal
- d. Pemberian garam, penambahan garam akan mengakibatkan kelarutan protein meningkat akibat interaksi ion protein dengan garam (*salting in*)

3. Deasetilasi

Deasetilasi adalah proses perendaman kitin dari proses esktraksi sebelumnya menggunakan NaOH konsentrasi tinggi dan suhu tinggi. Proses ini meliputi terjadinya eliminasi gugus asetil, walaupun tidak semua gugus tereliminasi dengan sempurna. Mengetahui ada tidaknya eliminasi gugus asetil dapat dilihat dari berapa persentase derajat deasetilasi. Derajat deasetilasi inilah yang menjadi karakteristik utama pada sampel kitosan karena berpengaruh terhadap karakteristik kimia dan kegunaannya (Safitra dkk., 2015). Konsentrasi tinggi NaOH yang biasanya digunakan untuk proses deasetilasi adalah sebesar 30 – 70% (Qiyun dkk., 2013).

Proses ini meliputi terjadinya pemutusan ikatan karbon dari nitrogen pada gugus asetil kitin menjadi gugus amina. Gugus amina inilah yang

memiliki kemampuan dalam pengikatan logam berat (Safitra dkk., 2015). Menurut Safitra dkk. (2015) derajat deasetilasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi basa kuat, waktu, suhu dan berapa kali jumlah pengulangan yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Konsentrasi basa kuat

Semakin tinggi konsentrasi basa yang diberikan, maka semakin tinggi gugus asetamida yang terbuang. Semakin besar konsentrasi basa kuat akan meningkatkan derajat deasetilasi (Fadli dkk., 2017).

2. Waktu

Waktu akan berpengaruh terhadap kontak molekul NaOH dengan kitin. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak gugus asetil yang terlepas sehingga nilai derajat deasetilasi semakin meningkat. Akan tetapi, waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan depolimerasi kitosan (Fadli dkk., 2017).

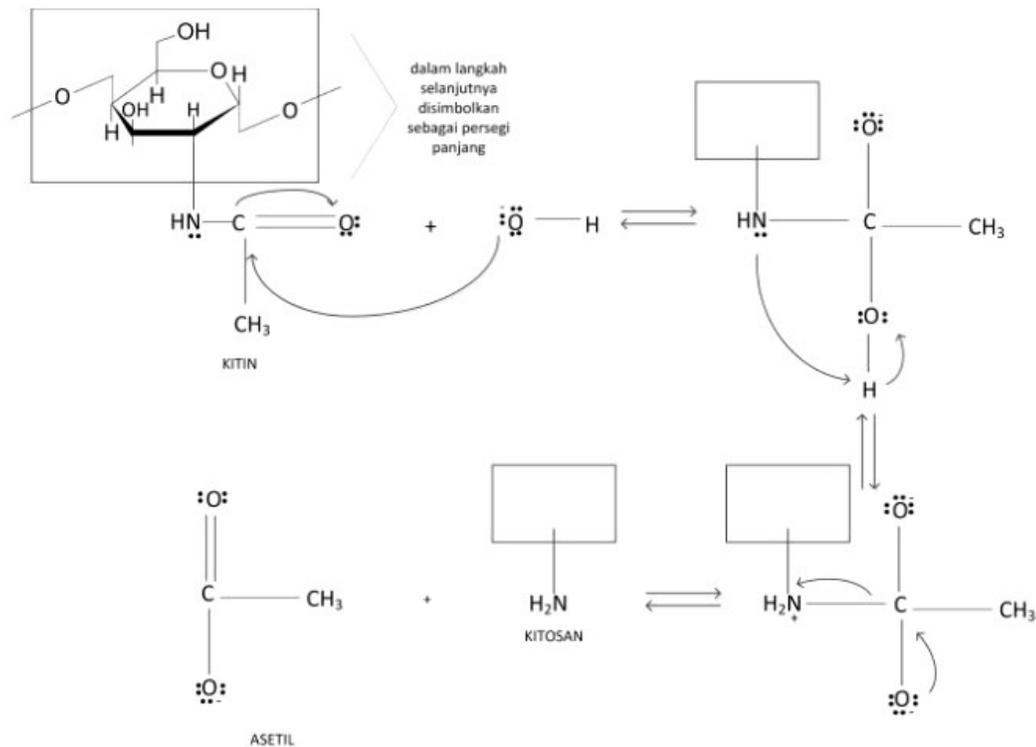
3. Suhu

Semakin tinggi suhu pemanasan derajat deasetilasinya maka semakin tinggi pula nilai derajat deasetilasinya. Suhu tinggi akan membantu proses degradasi dari protein yang masih tersisa (Fadli dkk., 2017).

4. Pengulangan

Proses reaksi dalam deasetilasi yang dilakukan berulang (re-deasetilasi) akan berpengaruh terhadap nilai derajat deasetilasi (Safitra dkk., 2015).

Menurut Safitra dkk. (2015) mekanisme reaksi dalam proses perubahan kitin menjadi kitosan pada sampel dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Mekanisme perubahan kitin menjadi kitosan (Sumber: Safitra dkk., 2015)

G. Hipotesis

1. Cangkang pupa *Hermetia illucens* mengandung kitin 11 – 13 % dan kitosan sebesar 9 – 11 gram

2. Kitosan dari cangkang pupa *Hermetia illucens* mampu digunakan sebagai biosorben
3. Kitosan efektif menyerap logam Cu dilihat dari kemampuan biosorben kitosan menyerap logam Cu pada limbah PCB hingga lebih dari 50%

