5. PERAN ARANG AKTIF DALAM MENERAPKAN ASPEK EFISIENSI INDUSTRI PANGAN (PRODUK *RECYCLE*)

Dalam era industri keempat, aspek efisiensi merupakan suatu bagian yang perlu diterapkan di dalam industri pangan. Dalam menerapkan aspek efisiensi maka, industri pangan dapat melakukan proses *recycle* menggunakan arang aktif dan menggunakan produk *recycle* tersebut. Penggunaan produk *recycle* merupakan bagian dari aspek efisiensi biaya dari industri pangan sehingga suatu industri pangan dapat menghasilkan produk dengan harga yang lebih murah. Produk yang memiliki harga murah lebih menarik bagi konsumen sehingga mampu bersaing di pasar global. Arang aktif dapat digunakan dalam hal ini karena memiliki harga yang murah, penggunaannya mudah, dan dapat diterapkan dalam banyak hal (Chaemsanit *et al*., 2018a). Produk *recycle* yang dapat dihasilkan dengan penggunaan arang aktif di antaranya adalah pemurnian minyak goreng bekas, penyerapan racun pada produk minuman, dan proses pengolahan limbah cair.

5.1. Pemurnian Minyak Goreng Bekas

Pada industri pangan yang menghasilkan produk dengan proses penggorengan, minyak goreng merupakan salah satu hal penting yang menentukan kualitas dari produk yang dihasilkan. Kualitas minyak goreng yang digunakan harus masih memenuhi standar agar menghasilkan produk dengan kualitas yang sesuai standar. Penggunaan minyak goreng secara berulang dapat mengakibatkan adanya senyawa-senyawa karsinogenik yang terbentuk dalam minyak goreng tersebut. Selain itu, terjadi perubahan pada warna minyak goreng menjadi lebih gelap diakibatkan oleh adanya kenaikan senyawa degradasi (Utari *et al*., 2013; Yustinah, 2011). Namun penggantian minyak goreng yang terlalu cepat mengakibatkan biaya produksi dari suatu industri pangan meningkat, maka pemurnian minyak goreng bekas dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut.

Kualitas minyak goreng dapat dilihat dari bilangan peroksida, warna, kekeruhan, dan bau. Bilangan peroksida menunjukkan derajat kerusakan pada minyak yang digambarkan dengan jumlah miliekuivalen peroksida dalam 1000 gram. Pembentukan peroksida terjadi karena adanya pemanasan terus menerus pada minyak goreng yang menyebabkan terbentuknya ikatan antara asam lemak tidak jenuh dengan oksigen pada ikatan

rangkapnya. Konsumsi minyak goreng dengan bilangan peroksida yang melebihi ambang batas akan menyebabkan gejala kanker, jantung koroner, dan aterosklerosis (Utari *et al*., 2013). Perubahan warna menjadi gelap dan peningkatan kekeruhan pada minyak goreng menjadi terjadi karena adanya kotoran bumbu dari penggorengan dan bahan-bahan organik yang larut selama proses penggorengan berkali-kali (Winarno, 1992 dalam Utari *et al*., 2013). Dalam menghemat biaya produksi, pengolahan minyak goreng bekas dapat dilakukan menggunakan arang aktif. Arang aktif memiliki sifat non-polar yang dapat mengembalikan kualitas minyak goreng dengan menurunkan jumlah peroksida, menyerap warna, serta bau pada strukturnya yang berpori (Sembiring, 1998 dalam Utari *et al*., 2013). Hasil pemurnian minyak goreng bekas menggunakan arang aktif dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Penggunaan Arang Aktif dalam Pemurnian Minyak Goreng Bekas

Jenis arang	**Akti-vasi**	**Penurunan bilangan peroksida**	**Perubahan warna (sensori)**	**Kekeru-han (ABS)**	**Bau**	**Referensi**
Arang aktif komersial	-*	90%	Kuning kecoklatan → kuning keemasan jernih	-**	Tengik → tidak tengik	(Utari *et al*., 2013)
Sabut kelapa	H_3PO_4	84,50%	-**	0,96 → 0,214	-**	(Yustinah, 2011)
Biji kelor	NaCl	94,80%	-**	-	-**	(Aisyah *et al*., 2012)
Tempurung kelapa	$ZnCl_2$	45,56%	-**	1,91 → 1,62	-**	(Pakiding *et al*., 2014)
Arang aktif komersial	H_2O_2	22,7%	-**	-**	-**	(Buczek & Chwiakowski, 2014)
Arang aktif kelapa komersial	-*	-**	-**	-**	Tengik → tidak tengik	(Eshtiaghi *et al*., 2012)

Keterangan :
* = tidak diketahui ** = tidak diberi perlakuan/tidak dilakukan pengecekan

Pada Tabel 9. dapat dilihat bahwa arang aktif yang digunakan proses pemurnian minyak goreng bekas yaitu arang aktif komersial, arang aktif yang terbuat dari sabut kelapa, biji kelor, dan tempurung kelapa. Arang aktif komersial terjual bebas sehingga tidak diketahui

metode aktivasi yang dilakukan, namun arang aktif komersial dapat diaktivasi kembali untuk mengetahui keefektivitas dari metode aktivasi tersebut. Arang aktif yang terbuat dari sabut kelapa, biji kelor, dan tempurung kelapa dilakukan metode aktivasi kimia dengan asam fosfat, natrium klorida, dan seng klorida. Pemurnian minyak goreng bekas menggunakan arang aktif mampu menurunkan bilangan peroksida, menjernihkan warna, menyerap bau, dan menurunkan kekeruhan yang ditandai dengan menurunnya nilai adsorbansi dari minyak tersebut.

Proses aktivasi pada arang aktif bertujuan untuk menghilangkan senyawa tar yang terbentuk pada proses karbonisasi. Senyawa tar dapat mempersempit luas permukaan arang aktif dengan menutup pori-pori dari arang (Aisyah *et al*., 2012). Penambahan arang aktif dengan metode filtrasi penyaringan atau pengadukan yang kemudian disaring mampu mengembalikan kualitas minyak goreng menjadi standar kembali dengan penurunan bilangan peroksida dan mengubah warna serta bau dari minyak goreng bekas. Standar mutu minyak goreng, bilangan peroksida maksimal 10 meq O_2/kg minyak, bau normal, warna normal (SNI, 2013). Proses penyerapan pada arang aktif diawali dengan terserapnya senyawa-senyawa pada dinding permukaan arang aktif, kemudian masuk ke dalam pori-pori karbon, dan terserap ke dinding dalam arang aktif. Penyerapan peroksida dengan arang aktif terjadi karena adanya perbedaan energi potensial antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Dari perbedaan energi tersebut maka akan terbentuk interaksi secara fisik melalui gaya *van der waals* atau ikatan hidrogen secara lemah yang menyebabkan sifat adsorbansi ini bersifat *reversible* (Aisyah *et al*., 2012). Dalam menyerap senyawa peroksida, semakin banyak arang aktif yang digunakan maka semakin tinggi penurunan bilangan peroksida, namun jumlah penggunaan arang aktif perlu disesuaikan untuk mencegah terjadinya kejenuhan karbon aktif (Utari *et al*., 2013).

Bilangan peroksida yang merupakan asam lemak bersifat asam maka dibutuhkan arang aktif yang bersifat hidrofobik dan memiliki gugus aktif bersifat basa (Li *et al*., 2001). Proses aktivasi oksidasi hidrogen peroksida (H_2O_2) menghasilkan penurunan bilangan peroksida yang paling rendah. Hal ini disebabkan oleh oksidasi hidrogen peroksida akan meningkatkan sifat asam dan hidrofilik dari arang aktif (Shen *et al*., 2008). Proses aktivasi menggunakan seng klorida ($ZnCl_2$) dan asam fosforat (H_3PO_4) akan menghasilkan arang

aktif yang bersifat hidrofilik dan asam (Boonamnuayvitaya *et al*., 2005; Li *et al*., 2011). Namun adanya proses pemanasan setelah proses aktivasi dapat mengembalikan sifat hidrofobik dari arang aktif dengan menguraikan gugus asam pada permukaan arang aktif (Shafeeyan *et al*., 2010). Penurunan bilangan peroksida terbesar terjadi pada arang aktif dengan akvitasi natrium klorida (NaCl). Penggunaan NaCl sebagai akvitasi arang aktif terbukti mampu meningkatkan ikatan antar kation (Snoeyink *et al*., 1969).

Dalam proses penyerapan warna, arang aktif mampu menyerap sebanyak 95-97% total zat warna dalam minyak goreng (Ketaren, 2005 dalam Utari *et al*., 2013). Kejernihan warna dari minyak goreng digambarkan dengan absorbansi, semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan akan menurunkan nilai adsorbansi dari minyak goreng yang menandakan bahwa kejernihan minyak goreng meningkat (Yustinah, 2011). Bau tengik merupakan bau tidak sedap yang dihasilkan oleh minyak goreng yang telah mengalami oksidasi (Suk-ju *et al*., 2017). Bau tengik dapat tercium ketika bilangan peroksida melebihi 20 meq/kg, maka penurunan bilangan peroksida dengan arang aktif dapat menghilangkan bau dari minyak goreng yang telah digunakan (Suk-ju *et al*., 2017). Selain proses karbonisasi dan proses aktivasi, waktu kontak antara arang aktif dan adsorbat juga menentukan jumlah senyawa yang diserap (Pakiding *et al*., 2014).

5.2. Penyerapan Racun pada Bahan Cair

Pada beberapa industri minuman, bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk memiliki risiko adanya cemaran mikotoksin. Cemaran mikotoksin kadang kala tidak dapat dideteksi pada waktu-waktu awal (Battacone *et al*., 2003). Jika produk yang dihasilkan memiliki kandungan mikotoksin, maka hal itu akan menimbulkan kerugian yang besar terhadap suatu industri minuman. Pada produk minuman susu risiko cemaran mikotoksin yang paling besar yaitu aflatoksin yang disebabkan oleh mikroorganisme *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, dan *Aspergillus nomius* (Creppy, 2002). Pada produk minuman *wine* atau minuman yang berbasis buah anggur memiliki risiko terkena cemaran oktratoksin A yang berasal dari mikroorganisme *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus carbonarius*, dan *Aspergillus niger* (Dachery *et al*., 2016). Sedangkan pada jus apel, cuka, atau produk yang berbasis buah apel memiliki risiko terkena cemaran patulin yang berasal dari mikroorganisme *Penicillium expansum*, P. *brevicompactum*, P.

urticae, P. *patulum*, dan lain-lain (Paterson *et al*., 2004). Kontaminasi mikotoksin pada produk cair tersebut dapat diatasi dengan melakukan *treatment* untuk menurunkan kadar racun hingga mencapai batas keamanan yang diinginkan dan dapat tetap dapat dijual dengan kualitas yang lebih rendah. Dalam menurunkan kadar racun pada produk minuman, arang aktif mampu menyerap racun-racun tersebut (Gokmen *et al*., 2001). Hasil penyerapan racun pada arang aktif dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Penggunaan Arang Aktif dalam Penyerapan Racun pada Bahan Cair

Racun	**Pro-duk**	**Jenis Arang**	**Aktiva –si**	**Metode**	**Penu-runan**	**Efek**	**Refe-rensi**
Aftlatoksin M1	Susu sapi	Arang aktif komersial	-*	Filtrasi	22%	-**	(Oluwafemi *et al*., 2014)
				Penam-bahan di pakan ternak	45,3[a] %	-**	(Galvano *et al*., 1996)
Okratoksin A	*White wine*	Arang aktif komersial	-*	Penga-dukan	98,3%	-**	(Var *et al*., 2008)
		Arang batu ceri	H_3PO_4	Penga-dukan	10,8%	-**	(Olivares-marín *et al*., 2009)
			$ZnCl_2$		5,7%	-**	
			KOH		54%	-**	
	Red wine	Arang aktif komersial	H_3PO_4	Penga-dukan	70%	Penurunan kandungan polifenol	(Castellari *et al*., 2001)
			$ZnCl_2$		75%		
		Arang aktif komersial	-*	Penga-dukan	72,8%	Penurunan warna dan aroma	(Gambuti *et al*., 2005)
Patulin	Jus apel	Arang aktif komersial	-*	Penga-dukan	40,9%	Penurunan warna dan komponen fenol	(Gokmen *et al*., 2001)
	Cuka apel	Arang aktif komersial	-*	Penga-dukan	93,3%	Penurunan warna	(Sands *et al*., 1976)

Keterangan :
* = tidak diketahui ** = tidak diberi perlakuan/tidak dilakukan pengecekan [a] = pada susu yang dihasilkan

Pada Tabel 10. dapat dilihat bahwa arang aktif yang digunakan proses penyerapan racun yaitu arang aktif komersial dan arang yang terbuat dari batu ceri. Arang aktif komersial terjual bebas sehingga tidak diketahui metode aktivasi yang dilakukan, namun arang aktif komersial dapat diaktivasi kembali untuk mengetahui keefektivitas dari metode aktivasi tersebut. Arang aktif yang terbuat dari batu ceri melalui proses aktivasi kimia dengan asam fosfat, seng klorida, dan kalium hidroksida. Dengan metode filtrasi dan pengadukan, arang aktif mampu menurunkan kadar racun aflatoksin M1 yang terdapat pada susu sapi, okratoksin A yang terdapat pada *wine*, dan Patulin yang terdapat pada jus dan cuka apel. Selain penurunan kadar racun, penggunaan arang aktif dapat menyebabkan penurunan warna serta komponen fenol pada beberapa produk *wine*, jus apel, dan cuka apel.

Kontaminasi aflatoksin M1 pada susu berasal dari binatang mamalia (sapi, kambing, dan lain-lain) yang mengkonsumsi makanan yang terkontaminasi aflatoksin B1 dan aflatoksin B2. Kemudian produk susu yang dihasilkan oleh binatang tersebut akan terkontaminasi oleh aflatoksin M1 dan aflatoksin M2 (Creppy, 2002). Aflatoksin B1 terklasifikasi sebagai golongan 1 (karsinogenik) dan aflatoksin M1 merupakan golongan 2B yang bersifat kemungkinan karsinogenik terhadap manusia (IARC, 2002 dalam Scaglioni *et al*., 2014). LD_{50} dari aflatoksin M1 0,8 mg/kg (Agag, 2004). Jenis susu pasteurisasi maupun UHT masih memiliki risiko kontaminasi aflatoksin (Scaglioni *et al*., 2014). Kandungan aflatoksin M1 pada susu baru dapat dideteksi 12 jam setelah waktu ternak mengkonsumsi AFB1 (Battacone *et al*., 2003). Penyerapan aflatoksin pada arang aktif bergantung pada jumlah arang aktif, waktu kontak, dan suhu. Nutrisi pada susu tidak berubah setelah penyaringan menggunakan arang aktif, namun kemampuan arang aktif dalam menyerap aflatoksin sangat rendah dan terbilang tidak efektif (Oluwafemi *et al*., 2014). Penurunan konsentrasi aflatoksin M1 pada susu sapi secara efektif dapat dilakukan dengan penambahan arang aktif pada makanan sapi. Arang aktif mampu mengikat aflatoksin B1 secara *in vitro* pada pakan ternak sebesar 40,6-73,6% dan menghasilkan susu dengan penurunan kadar aflatoksin M1 sebesar 45,3% (Galvano *et al*., 1996).

Kontaminasi okratoksin A (OTA) biasa terjadi pada anggur dikarenakan beberapa faktor seperti kelembaban, temperatur, Aw, pH, dan lain-lain (Marroquín-cardona *et al*., 2014).

Okratoksin A memiliki sifat karsinogenik, teratogenik, genotoksik, dan nephrotoksik (Rocha *et al*., 2014). Okratoksin A termasuk golongan 2B yang memiliki sifat kemungkinan karsinogenik terhadap manusia (IARC, 1993 dalam Dachery *et al*., 2016). LD_{50} dari patulin berkisar antara 20-25 mg/kg (Chu, 2003). Produk minuman yang memiliki risiko terkontaminasi okratoksin A yaitu jus anggur dan *wine* (Brera *et al*., 2008; Dachery *et al*., 2016).

Penyerapan okratoksin A pada arang aktif terbilang efektif dimana tingkat penyerapan bergantung dari level kontaminasi dan waktu inkubasi (waktu kontak) antara arang dengan minuman (Var *et al*., 2008). Arang aktif dengan akvitasi H_3PO_4 memiliki keasaman permukaan yang sangat tinggi, maka penyerapan okratoksin A pada arang aktif tinggi. Namun arang aktif dengan aktivasi KOH menghasilkan arang aktif dengan tingkat porositas yang lebih tinggi. Hal itu mengakibatkan kontak antara minuman dengan arang aktif lebih maksimal dan menghasilkan penyerapan okratoksin A yang lebih tinggi. Interaksi yang terjadi antara okratoksin A dengan arang aktif adalah ikatan intermolekuler (non kovalen). Total fenol dari *wine* tidak mengalami penurunan yang signifikan menandakan bahwa arang aktif efektif dalam penyerapan okratoksin A (Olivares-marín *et al*., 2009).

Penyerapan okratoksin A semakin meningkat dengan peningkatan dosis arang aktif (Castellari *et al*., 2001). Penyerapan dengan arang aktif dapat menghilangkan senyawa-senyawa volatil seperti etil asam lemak, asetat, geraniol dan penurunan penurunan konsentrasi ester seperti 3-metil butil asetat, etil heksanoat, dan etil oktanoat dimana senyawa tersebut merupakan senyawa yang sangat penting untuk menghasilkan aroma *fruity* dari *wine* (Gambuti *et al*., 2005). Penggunaan arang komersial dengan arang yang dibuat terlebih dahulu memiliki perbedaan kemampuan penyerapan. Kemampuan penyerapan dari arang komersial lebih baik dibandingkan dengan arang yang diproduksi sendiri, hal ini sesuai dengan pernyataan Hirunpraditkoon *et al*. (2011) yang dibuktikan dengan bilangan iodin arang komersial lebih besar dari arang yang diproduksi sendiri.

Kontaminasi patulin pada manusia menyebabkan gangguan pencernaan, mual, dan muntah. Efek kronis yang disebabkan oleh patulin belum ditemukan (Drusch & Ragab,

2003). LD_{50} dari patulin berkisar antara 15-25 mg/kg. Buah apel merupakan buah dengan potensi terkontaminasi patulin tinggi (Leggott & Shephard, 2001). Maka dalam hal ini, anak-anak memiliki risiko keracunan patulin yang lebih tinggi dikarenakan konsumsi apel pada anak-anak lebih tinggi dibandingkan dengan orang dewasa (Plunkett *et al*., 1992 dalam Ioi *et al*., 2017). Penyerapan patulin terhadap arang aktif berlangsung secara efektif namun mengakibatkan penurunan warna dan total fenol (Gokmen *et al*., 2001; Sands *et al*., 1976). Komponen fenol merupakan metabolit sekunder dari tumbuhan yang memberikan warna pada buah merah, *wine*, dan jus; berperan sebagai substrat dalam proses pencoklatan enzim, dan memberikan *flavor* tertentu (Cheynier, 2012). Selain itu, penggunaan arang aktif yang semakin tinggi akan meningkatkan penghilangan vitamin larut air seperti asam askorbat, niacin, piridoxin, tiamin, dan biotin (Kadakal *et al*., 2004).

5.3. Pengolahan Limbah cair

Dalam suatu industri termasuk industri pangan akan menghasilkan limbah cair yang mampu mencemari lingkungan. Dalam pengolahan limbah cair diperlukan beberapa proses untuk menghasilkan limbah yang sesuai dengan standar untuk dapat dilepaskan ke lingkungan. Standar limbah cair ditinjau dari kadar COD, bahan anorganik seperti logam berat, kekeruhan, warna, dan *Total Dissolved Solid* (TDS) (Hasmalina & Nasution, 2013). Kemampuan arang aktif dalam menyerap banyak variasi senyawa pada cairan dapat diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair (Sricharoenchaikul *et al*., 2008). Hasil pengolahan limbah cair menggunakan arang aktif dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Penggunaan Arang Aktif dalam Pengolahan Limbah Cair

Jenis Arang	Aktiva-si	Metode	Penu-runan Keke-ruhan	Penu-runan TDS	Penye-rapan Senyawa Inorganik	Penu-runan COD	Refe-rensi
Bambu	KOH	Penga-dukan	84,4%	94,6%	-**	93,2%	(Hirunpraditkoon *et al*., 2011)
	Panas	Filtrasi	-**	-**	13% Pb	-**	(Widayatno *et al*., 2017)

Keterangan :
** = tidak diberi perlakuan/tidak dilakukan pengecekan

Lanjutan Tabel 11. Penggunaan Arang Aktif dalam Pengolahan Limbah Cair

Jenis Arang	**Aktiva-si**	**Metode**	**Penu-runan Keke-ruhan**	**Penu-runan TDS**	**Penyera-pan Senyawa Inorganik**	**Penu-runan COD**	**Refe-rensi**
Bambu	$FeCl_4$	Penga-dukan	-**	-**	Maks. 200,38 mg Pb/g limbah	-**	(Zhang *et al.*, 2013)
Kulit singkong	H_3PO_4	Penga-dukan	-**	-**	97,2% Zn	-**	(Ekekwe *et al.*, 2018)
Sekam buah kakao	HCl	Penga-dukan	-**	-**	97% Cu 99% Pb	-**	(Odubiyi *et al.*, 2012)
Limbah organik solid	H_3PO_4	Penga-dukan	-**	-**	85% Cd 98% Pb	-**	(Al-malack & Basaleh, 2016)
Sekam padi	H_3PO_4	Penga-dukan	-**	-**	-**	90%	(Rahayu & Febriasari, 2015)
Tempurung kelapa	Panas	Penga-dukan	-**	-**	-**	93,15%	(Munandar *et al.*, 2016)
Biji kapuk	$NaHCO_3$	Penga-dukan	-**	-**	-**	50%	(Siregar *et al.*, 2015)
Ampas tahu	HCl	*Sachet* (kain)	-**	-**	55,9% NO_2 7,8% NO_3	78,05%	(Riskhi & Sitorus, 2017)

Keterangan :
** = tidak diberi perlakuan/tidak dilakukan pengecekan

Pada Tabel 11. dapat dilihat bahwa arang aktif yang digunakan proses pengolahan limbah cair terbuat dari bambu, kulit singkong, sekam buah kakao, limbah organik solid, sekam padi, tempurung kelapa, biji kapuk, dan ampas tahu. Arang aktif melewati proses aktivasi secara fisik seperti panas dan secara kimia dengan penggunaan bahan kimia. Penggunaan arang aktif dalam proses pengolahan limbah mampu menurunkan kekeruhan, TDS (*Total*

Dissolved Solid), dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dari limbah tersebut. Selain itu, arang aktif juga mampu menyerap senyawa inorganik seperti logam Zn, Pb, Cu, Cd, NO_2 dan NO_3 dalam limbah cair.

Proses aktivasi pada pembuatan arang aktif membentuk mikropori pada struktur arang aktif dimana semakin tinggi suhu yang digunakan dalam proses aktivasi akan meningkatkan tingkat penyerapan bahan organik (Chaemsanit *et al*., 2018a). Kekeruhan pada limbah cair menggambarkan adanya solid yang tersuspensi. Penurunan kekeruhan setelah penggunaan arang aktif menggambarkan kapasitas penyerapan senyawa tersuspensi di air pada arang aktif. *Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan pengukuran jumlah senyawa organik dan inorganik yang terlarut dalam air dengan bentuk molekul, ion, dan koloid (Hirunpraditkoon *et al*., 2011).

Chemical Oxygen Demand (COD) merepresentasikan jumlah senyawa organik terlarut yang dapat dioksidasi secara kimia, dalam kata lain COD merupakan polutan *biodegradable* di limbah cair. Peningkatan dosis penggunaan arang aktif akan meningkatkan penurunan kekeruhan, TDS dan COD (Hirunpraditkoon *et al*., 2011; Siregar *et al*., 2015). Gani & Widodo (2011) juga mengatakan bahwa semakin lama waktu kontak antara limbah dengan adsorben maka akan menghasilkan penurunan COD yang lebih tinggi. Dalam proses pengolahan limbah cair, perlu diketahui waktu kontak optimum antara adsorbat dengan adsroben agar tidak terjadi kejenuhan yang dapat mengakibatkan pelepasan adsorbat kembali ke limbah (Riskhi & Sitorus, 2017). Penyerapan senyawa organik pada arang aktif terjadi secara fisik dimana akan terbentuk interaksi molekular lemah (*reversible*) seperti ikatan hidrogen, ikatan hidrofobik, dan gaya *Van der waals* yang efektif terjadi di suhu rendah (Chaemsanit *et al*., 2018a).

Keberadaan logam berat berasal dari residu pestisida dan pupuk anorganik yang tertinggal pada buah dan sayuran yang kemudian larut ke dalam air pada saat proses pencucian (Hidayah *et al*., 2014). Keberadaan logam berat seperti seng (Zn), timbal (Pb), tembaga (Cu), dan cadmium (Cd) pada limbah cair dapat membahayakan lingkungan. logam berat seperti timbal merupakan logam yang sangat berbahaya dan bersifat toksik, sedangkan tembaga dan seng merupakan logam berat yang esensial bagi tubuh untuk metabolisme,

namun jika berlebihan maka akan bersifat toksik bagi tubuh (Agustina, 2010; Hidayah *et al*., 2014). Keberadaan ion nitrit dan nitrat biasa ditemukan pada limbah cair dengan kandungan protein yang tinggi. Protein yang teroksidasi akan menjadi nitrogen amonia (NH_3), kemudian amonia akan teroksidasi menjadi nitrit (NO_2^-) dan terkosidasi kembali menjadi nitrat (NO_3^-). Ion nitrit dan nitrat memiliki sifat karsinogenik bagi makhluk hidup (Riskhi & Sitorus, 2017). Penyerapan ion nitrit dan nitrat pada arang aktif terjadi secara kimia (Lee *et al.*, 2004). Ikatan kimia dimana akan terbentuk ikatan kovalen pada temperatur tinggi terjadi akibat dari adanya pertukaran atom atau elektron dan sebagian besar bersifat *irreversible* (Chaemsanit *et al*., 2018a).

Penyerapan logam berat pada arang aktif terjadi karena adanya gugus aktif lakton dan total jumlah gugus aktif yang bersifat asam (Shim *et al*., 2001). Aktivator yang semakin asam akan menghasilkan lebih banyak gugus aktif asam maka akan meningkatkan kapasitas penyerapan logam berat (Kanawade & Gaikwad, 2011). Maka pada arang aktif dengan aktivasi panas tidak dapat menyerap logam Pb dengan baik (13%) hal ini dikarenakan proses pemanasan akan meningkatkan sifat hidrofobik dan menguraikan gugus aktif asam pada arang aktif (Shafeeyan *et al*., 2010). Penggunaan arang aktif dalam penyerapan logam berat dipengaruhi oleh dosis dan waktu kontak antara adsorben dengan limbah cair (Odubiyi *et al*., 2012). Semakin meningkatnya waktu kontak antara adsorben dengan limbah maka semakin banyak pori-pori dari arang aktif yang terlewati maka penyerapan yang terjadi semakin tinggi. Namun arang aktif akan mengalami kejenuhan pada waktu tertentu sehingga penyerapan tidak terjadi kembali (Gani & Widodo, 2011).

5.4. Reaktivasi Arang aktif

Penggunaan arang aktif sebagai adsorben dapat menurunkan sifat adsorbansi dari arang aktif. Namun selain adsorbansi, sifat lain dari arang aktif yaitu *reversible*. Sifat *reversible* dari arang aktif dapat dimanfaatkan dengan penggunaan ulang arang aktif dengan dilakukannya proses reaktivasi (Bhagawan *et al*., 2015). Namun sifat *irreversible* juga dapat dimiliki oleh arang aktif dimana terjadi penyerapan secara kimia (terbentuknya ikatan kovalen) yang menyebabkan sifat adsorbansi (porositas) arang aktif tidak dapat dikembalikan (Chaemsanit *et al*., 2018a). Proses reaktivasi mampu mengembalikan ukuran pori-pori dari arang aktif dan mampu mengembalikan sifat adsorbansi dari arang

aktif. Sifat adsrobansi arang aktif dapat diuji dengan pengukuran penyerapan iodin dan *methylene blue*. Terdapat beberapa metode dari reaktivasi arang aktif yaitu metode fisik dan kimia. Metode fisik dapat berupa termal dan tekanan (Bhagawan *et al*., 2015). Sedangkan metode kimia dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia tertentu (Eshtiaghi *et al*., 2012). Hasil reaktivasi arang aktif dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Proses Reaktivasi Arang Aktif

Sumber Arang	**Metode Reaktivasi**	**Penyerapan Iodin[a]**	**Penyerapan *Methylene blue*[a]**	**Penyerapan Adsorbat Kembali[a]**	**Refe-rensi**
Industri farmasi	Panas N_2 dan CO_2	99%	96%	-**	(Bhagawan *et al*., 2015)
Penyerapan H_2S	N_2	-**	-**	14,67%	(Coppola & Papurello, 2018)
	CO_2	-**	-**	25,42 %	
Pengolahan limbah cair	HCl & NaOH	-**	75%	-**	(Ghasemzadeh *et al*., 2017)
Pengolahan Minyak goreng	$ZnCl_2$	96%	-**	-**	(Eshtiaghi *et al*., 2012)
	Subcritical water treatment	85,7%	-**	-**	

Keterangan :
[a] = dibandingkan dengan kontrol (arang baru)
** = tidak diberi perlakuan/tidak dilakukan pengecekan

Pada Tabel 12. dapat dilihat bahwa proses reaktivasi dilakukan pada arang bekas yang berasal dari industri farmasi, penyerapan hidrogen sulfida, pengolahan limbah cair, dan pengolahan minyak goreng. Proses reaktivasi dilakukan dengan metode fisik seperti panas yang dialiri gas, *subcritical water treatment* dan metode kimia dengan penggunaan bahan kimia. Pengujian pengembalian porositas arang aktif dilakukan dengan kemampuan penyerapan senyawa iodin, *methylene blue*, dan penyerapan suatu senyawa tertentu (adsorbat). Proses reaktivasi mampu mengembalikan kemampuan penyerapan

arang aktif hingga 100%, namun pada beberapa metode reaktivasi tidak mampu mengembalikan kemampuan adsorbansi arang aktif secara sempurna.

Parameter dalam menentukan keberhasilan reaktivasi arang aktif terdiri dari bilangan iodin dan penyerapan *methylene blue*. Iodin merupakan molekul kecil yang dapat terserap dalam arang aktif. Bilangan iodin merupakan jumlah senyawa iodin yang dapat terserap dalam arang aktif yang menunjukkan jumlah mikropori (< 2 nm) dari arang aktf. Semakin tinggi bilangan iodin maka semakin tinggi kemampuan penyerapan arang aktif terhadap kontaminan ukuran kecil (Bacaoui *et al*., 2001 dalam Bhagawan *et al*., 2015). Sedangkan penyerapan *methylene blue* menunjukkan kemampuan arang aktif dalam menyerap zat warna aromatik yang memiliki ukuran molekul sedang (mesopori) (2-50 nm) (Foo & Hameed, 2012 dalam Bhagawan *et al*., 2015). Berdasarkan Thai Industrial Standards Institute, bilangan iodin standar pada arang aktif sebesar ≥ 600 mg/g (Hirunpraditkoon *et al*., 2011). Regenerasi arang aktif baik dengan metode fisik maupun kimia memiliki efek deodorisasi yang sama dengan arang aktif baru (Eshtiaghi *et al*., 2012). Regenerasi arang aktif diperlukan waktu yang optimum, waktu yang melebihi waktu optimum akan menyebabkan kerusakan mikroporositas dari arang aktif yang mengakibatkan penurunan kapasitas penyerapan arang aktif. Waktu optimum untuk regenerasi arang aktif bergantung dari metode reaktivasi yang digunakan, kejenuhan dari arang aktif, dan jenis arang aktif.

Proses raktivasi menggunakan N_2 merupakan proses rekatifasi yang *soft* dimana tidak terjadi kerusakan terhadap mikropori terlalu besar. Proses rekativasi menggunakan N_2 dalam waktu yang cepat tidak banyak mengembalikan sifat adsorbansi dari arang aktif, maka proses ini terbilang tidak efektif (Coppola & Papurello, 2018). Reaktivasi menggunakan CO_2 melibatkan proses oksidasi dimana ada reaksi kimia antara CO_2 dengan karbon (Miguel *et al*., 2002 dalam Coppola & Papurello, 2018). Proses reakvitasi yang melibatkan proses oksidasi dan menggunakan senyawa kimia HCl, $ZnCl_2$, dan NaOH menghasilkan arang aktif yang bersifat hidrofilik dan menghasilkan gugus fungsi bersifat asam (Boonamnuayvitaya *et al*., 2005; Li *et al*., 2011; Shim *et al*., 2001). Namun adanya proses pemanasan setelah proses aktivasi dapat mengembalikan sifat hidrofobik dari arang aktif dengan menguraikan gugus asam pada permukaan arang aktif (Shafeeyan

et al., 2010). Kemampuan reaktivasi arang aktif juga dipengaruhi oleh konsentrasi dari solven yang digunakan dan waktu kontak yang memiliki keoptimuman berbeda-beda tergantung dari adsorbat yang terserap dalam arang aktif (Ghasemzadeh *et al*., 2017).