

BAB IV

EFEKTIVITAS ADSORBEN DARI LIMBAH BUAH

Pemurnian minyak goreng dapat dilakukan dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben sehingga minyak yang telah dimurnikan dapat digunakan kembali. Pengurangan bilangan peroksida, asam lemak bebas, dan kadar air yang terkandung dalam minyak goreng dapat dilakukan dengan proses pemurnian (Marlina *et al.*, 2022). Selain itu, proses pemurnian juga dapat membantu memperbaiki warna dan bau minyak goreng bekas menjadi lebih baik (Suartini *et al.*, 2018). Pemurnian minyak goreng bekas dengan cara adsorpsi akan menggunakan adsorben untuk mengadsorpsi kotoran dan hasil degradasi minyak goreng bekas. Proses adsorpsi akan dilakukan dengan menambahkan adsorben ke dalam minyak goreng bekas, lalu dilakukan pengadukan dan penyaringan minyak goreng bekas menggunakan kertas saring (Fitriani & Nurulhuda, 2018).

Secara umum, mekanisme dari proses adsorpsi adalah penempelan suatu molekul yang meninggalkan larutannya pada permukaan adsorben baik secara fisika ataupun secara kimia (Alamsyah *et al.*, 2017). Terdapat 3 tahap dalam proses adsorpsi menggunakan adsorben arang aktif. Tahapan pertama adalah terjerapnya partikel adsorbat (asam lemak bebas, nilai peroksida, zat warna, kadar air, dan suspensi koloid penyebab bau tidak sedap) pada permukaan arang aktif. Tahap selanjutnya yaitu terjadi pergerakan ke pori-pori arang aktif. Tahap terakhir adalah partikel adsorbat terserap pada dinding bagian dalam arang aktif (Masyithah *et al.*, 2018). Teradsorpsinya partikel adsorbat pada permukaan arang aktif dikarenakan adanya perbedaan energi potensial antara adsorbat dengan permukaan adsorben, yang menggunakan gaya kimia atau fisika. Terdapat 2 macam adsorpsi yaitu fisika dan kimia. Adsorpsi fisika akan menggunakan gaya Van der Waals (gaya antarmolekuler) yang bersifat *reversible*. Sedangkan, adsorpsi kimia akan menggunakan ikatan valensi antara adsorbat dan adsorben yang bersifat *irreversible* (Mangallo *et al.*, 2014).

Tabel 5. Analisis Kualitas Minyak Goreng Bekas Setelah Pemurnian

No	Bahan	Jenis Adsorben	Gugus Fungsi	Massa Adsorben (%)	Ukuran Adsorben (mesh)	Waktu Kontak (jam)	Asam Lemak Bebas (%)			Nilai Peroksida (meq/kg)			Kadar Air (%)			Warna		Bau		Referensi
							Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
1	Kulit pisang kepok	Arang aktif	OH	-	140	6	2,9	0,65	77,59	-	-	-	0,72	0,47	34,72	-	-	-	-	Zulkifli <i>et al.</i> (2018)
2	Kulit pisang kepok	Arang aktif	-	-	-	24	0,465	0,425	8,60	4,28	3,21	25,00	-	-	-	-	-	-	-	Marwah & Sulistiyono (2019)
3	Kulit pisang	Arang aktif	-	5	200	24	1,23	0,71	42,28	20,7	13,8	33,33	-	-	-	Coklat gelap	Lebih cerah	-	-	Prabowo & Muflihah (2019)
4	Kulit pisang kepok	Bukan arang aktif	OH	1,76	35	1	1,29	1,18	8,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suryadi <i>et al.</i> (2019)
5	Kulit pisang kepok	Arang aktif	-	10	100	1	0,55	0,34	38,18	11,46	8,06	29,67	-	-	-	Keruh	Lebih cerah	Tengik	Lebih tidak tengik	Nasir <i>et al.</i> (2014)
6	Kulit salak	Arang aktif	-	20	100	24	1,3845	0,2186	84,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ardiyansyah & Silalahi (2021)
7	Kulit salak	Arang aktif	-	1,76	100	1-1,67	2,34	0,64	72,65	8,6	2,9	66,28	0,415	0,153	63,13	-	-	-	-	Mangallo <i>et al.</i> (2014)
8	Kulit durian	Arang aktif	-	3	-	2,5	0,1513	0,0637	57,90	2,28	0,41	82,02	-	-	-	-	-	-	-	Miskah <i>et al.</i> (2019)
9	Kulit durian	Arang aktif	-	5	100	0,5	0,7414	0,261	64,80	0,1459	0,0311	78,68	-	-	-	-	-	-	-	Masyithah <i>et al.</i> (2018)

Tabel 5. Analisis Kualitas Minyak Goreng Bekas Setelah Pemurnian

No	Bahan	Jenis Adsorben	Gugus Fungsi	Massa Adsorben (%)	Ukuran Adsorben (mesh)	Waktu Kontak (jam)	Asam Lemak Bebas (%)			Nilai Peroksida (meq/kg)			Kadar Air (%)			Warna		Bau		Referensi
							Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
10	Kulit durian	Arang aktif	OH	10	100	1	0,521	0,064	87,72	20,0578	6,4087	68,05	-	-	-	Tidak normal (coklat gelap dan keruh)	Normal (kuning cerah dan jernih)	Tidak normal (tengik)	Normal	Sari <i>et al.</i> (2021)
11	Kulit kakao	Arang aktif	OH, - C-H sp ³ , - C=C, C-O	8,33	120	8	0,448	0,278	37,95	15,3	1,25	91,83	0,02	0,009	55,00	-	-	-	-	Marlina <i>et al.</i> (2022)
12	Kulit buah sukun	Arang aktif	OH	0,176	100	1	0,3226	0,1603	50,32	11,98228	7,915075	33,94	-	-	-	Gelap	Jernih	-	-	Suartini <i>et al.</i> (2018)
13	Kulit nanas	Arang aktif	OH, C=C, C-H, C-O	3,52	-	5,5	4,11	0,765	81,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Chairgulsrasert & Nileah (2019)
14	Biji asam jawa	Arang aktif	-	5	140	0,583	2,73	0,83	69,60	7	2,4	65,71	1,5191	0,1495	90,16	-	-	-	-	Fauzhia <i>et al.</i> (2019)
15	Biji salak	Arang aktif	-	-	100	1,5	0,699	0,108	84,55	12	2,5	79,17	-	-	-	-	-	-	-	Qory <i>et al.</i> (2021)
16	Biji alpukat	Arang aktif	OH	1,33	100	2	0,46	0,26	43,48	3,6	3	16,67	-	-	-	Keruh	Jernih	Tengik	Lebih tidak tengik	Fitriani & Nurulhuda (2018)
17	Biji alpukat	Arang aktif	-	-	100	0,75	0,46	0,34	26,09	22,835	10,426	54,34	-	-	-	-	-	-	-	Fadilah & Utami (2020)

Tabel 5. Analisis Kualitas Minyak Goreng Bekas Setelah Pemurnian

No	Bahan	Jenis Adsorben	Gugus Fungsi	Massa Adsorben (%)	Ukuran Adsorben (mesh)	Waktu Kontak (jam)	Asam Lemak Bebas (%)			Nilai Peroksida (meq/kg)			Kadar Air (%)			Warna		Bau		Referensi
							Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
18	Biji pepaya	Arang aktif	-	20	60	-	0,167	0,108	35,33	0,213	0,051	76,06	1,715	1,117	34,87	-	-	-	-	Nusa & Sipahutar (2018)
19	Ampas nanas	Arang aktif	-	7,5	100	72	2,98	0,5	83,22	6	3,8	36,67	-	-	-	-	-	-	-	Kamaruzzaman <i>et al.</i> (2020)
20	Tempurung kelapa	Arang aktif	-	5	80	0,333	-	-	-	40,56	16,175	60,12	-	-	-	-	-	-	-	Fathurrahmaniah <i>et al.</i> (2022)

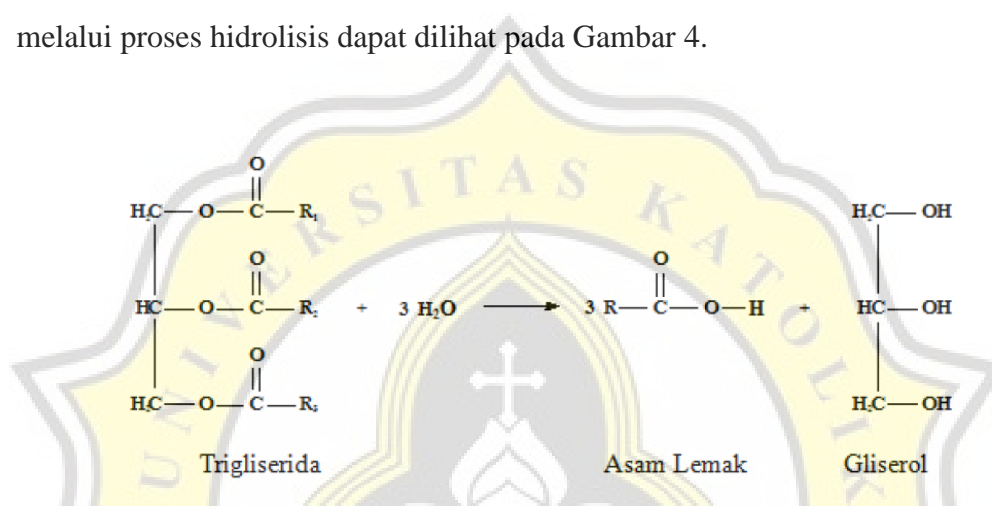
Kualitas minyak dapat digambarkan melalui analisis secara kimiawi yaitu pengujian asam lemak bebas dan bilangan peroksida. Beberapa studi menyatakan bahwa pengujian secara kimiawi sudah dapat menunjukkan kualitas dari minyak. Akan tetapi, lebih baik lagi apabila dilakukan juga penentuan kadar air minyak (Suroso, 2013). Pada pengujian asam lemak bebas, nilai peroksida, dan kadar air akan dilakukan pengukuran efektivitas pemurnian adsorben. Pengukuran efektivitas pemurnian dapat diperoleh dengan cara membandingkan nilai konsentrasi adsorbat yang terserap dengan nilai konsentrasi adsorbat awal. Efektivitas pemurnian akan dinyatakan dengan satuan persen (%) (Suryadi *et al.*, 2019). Selain ketiga pengujian tersebut, analisa kualitas minyak juga dapat terlihat secara fisik yaitu melalui warna dan bau minyak (Suroso, 2013).

4.1. Perubahan Asam Lemak Bebas

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya asam lemak bebas/ *free fatty acid* (FFA) merupakan asam lemak yang tidak terikat dengan trigliserida (Nurhasnawati *et al.*, 2015). Nilai kadar asam lemak bebas diperoleh dari persentase jumlah asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak serta mengalami penetralan menggunakan KOH/ NaOH (Suroso, 2013). Minyak goreng yang mempunyai kandungan asam lemak bebas yang tinggi dapat menyebabkan minyak memiliki bau tengik dan flavor yang tidak enak (Nurhasnawati *et al.*, 2015). Oleh karena itu, semakin tinggi kandungan asam lemak bebas pada minyak menunjukkan kualitas minyak yang semakin rendah (Nurhasnawati *et al.*, 2015).

Berdasarkan Tabel 2., dapat diketahui bahwa batas mutu kritis asam lemak bebas minyak goreng kelapa sawit berdasarkan SNI adalah maksimal 0,3% (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Melalui data yang diperoleh pada Tabel 5. dapat diketahui bahwa sebagian besar minyak goreng bekas mempunyai nilai asam lemak bebas yang cukup tinggi yaitu lebih dari 0,3%. Hal ini terbukti dari 20 penelitian yang ditemukan terdapat 17 data yang memiliki nilai asam lemak bebas di atas 0,3%; 2 data yang nilai asam lemak bebasnya tidak melebihi 0,3%; serta 1 data yang tidak terdapat persentase asam lemak bebasnya. Tingginya kandungan asam lemak

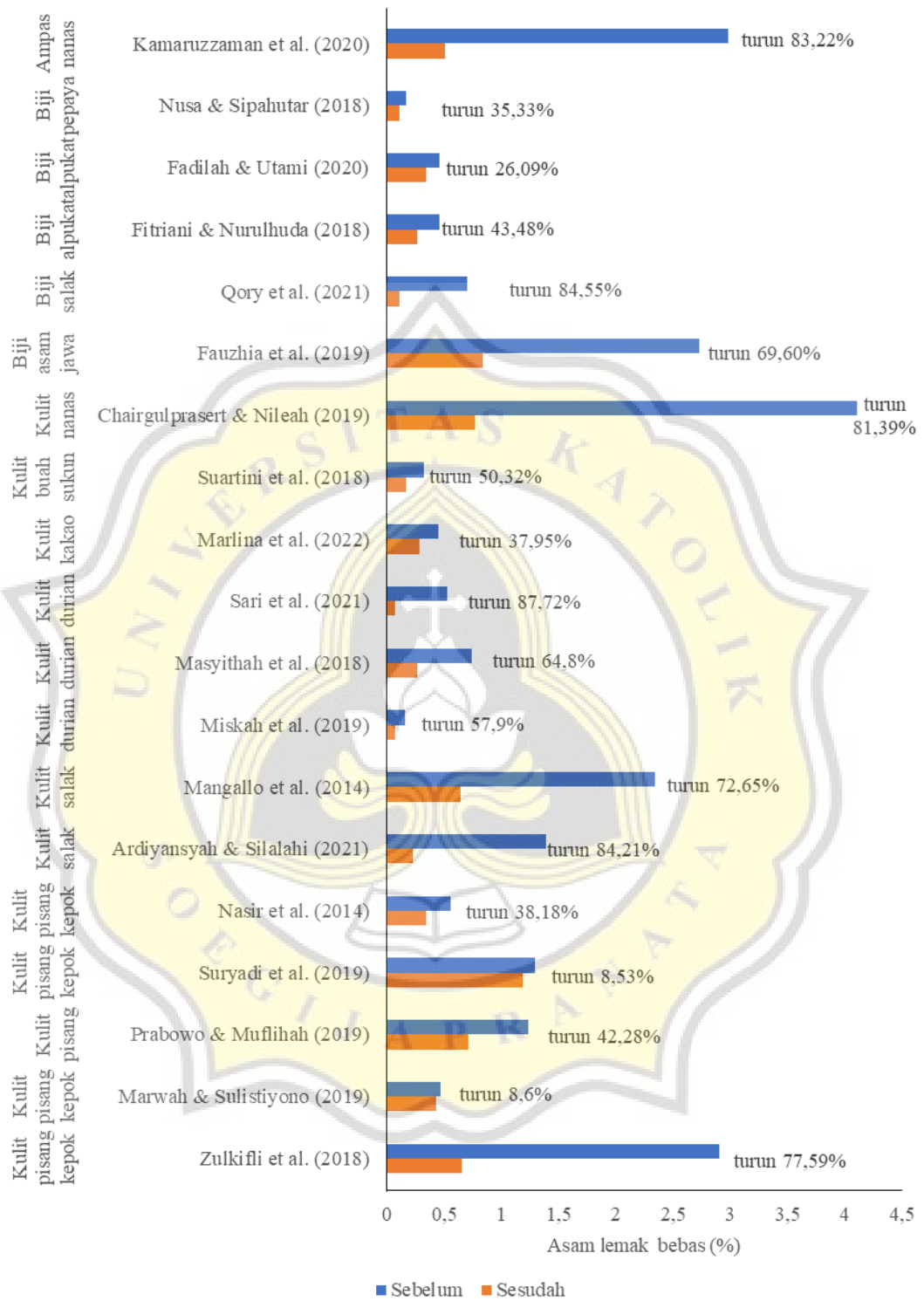
bebas pada minyak goreng bekas penggorengan dapat terjadi karena minyak mengalami proses hidrolisis dan oksidasi (Maimun *et al.*, 2017). Proses hidrolisis dapat terjadi pada saat senyawa trigliserida pada minyak bereaksi dengan air atau uap air menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol. Terjadinya hidrolisis pada minyak dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu tinggi, air atau uap air, katalis, dan pH rendah (Nurhasnawati *et al.*, 2015). Pembentukan asam lemak bebas melalui proses hidrolisis dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses Hidrolisis Minyak

Sumber: (Nurhasnawati *et al.*, 2015)

Proses oksidasi dapat terjadi ketika asam lemak tak jenuh dari minyak yang beraksi dengan oksigen membentuk peroksida dan hidroperoksida (mempunyai sifat tidak stabil). Kemudian, peroksida dan hidroperoksida tersebut akan terkonversi menjadi produk oksidasi tersier yaitu asam lemak bebas, aldehyd, dan keton (Khoirunnisa *et al.*, 2020; Octarya & Fernando, 2016). Terjadinya oksidasi pada minyak dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu tinggi, katalis, dan oksigen (Nurhasnawati *et al.*, 2015).



Catatan: Detail dapat dilihat pada Tabel 5.

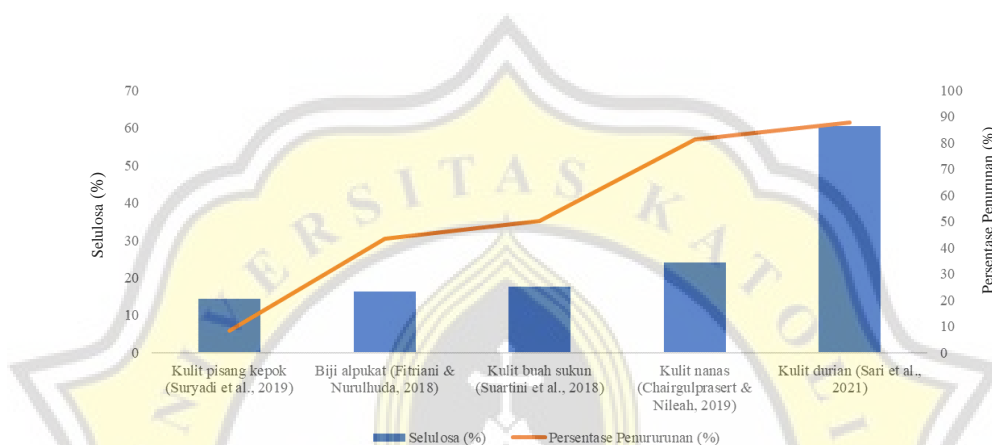
Gambar 5. Perubahan Persentase Asam Lemak Bebas

Gambar 5. menunjukkan bahwa 19 data yang diperoleh mengalami penurunan nilai asam lemak bebas setelah dimurnikan menggunakan adsorben dari limbah buah. Bahkan terdapat 9 data yang nilai asam lemak bebasnya memenuhi SNI. Berdasarkan nilai asam lemak bebas sebelum dan sesudah pemurnian dapat diketahui persentase penurunan asam lemak bebas. Rentang dari persentase penurunan asam lemak bebas adalah 8,53% hingga 87,72%. Penurunan terendah diperoleh dari penelitian Suryadi *et al.* (2019) menggunakan kulit pisang kepok dengan persentase asam lemak bebas yang semula 1,29% menjadi 1,18% setelah dimurnikan. Rendahnya penurunan dapat terjadi karena jenis adsorben yang digunakan tidak mengalami aktivasi sehingga hanya berupa padatan yang dikeringkan (bukan arang aktif). Hal ini telah sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa adsorben yang tidak melalui proses aktivasi akan mempunyai kapasitas adsorpsi yang paling rendah karena permukaan pori-pori adsorbennya masih banyak yang tertutup oleh bahan-bahan organik (Zaini & Sami, 2016).

Selanjutnya, penurunan tertinggi diperoleh dari penelitian Sari *et al.* (2021) menggunakan kulit durian dengan persentase asam lemak bebas yang semula 0,521% menjadi 0,064% setelah dimurnikan. Tingginya penurunan dapat disebabkan karena jenis adsorben yang digunakan adalah adsorben yang teraktivasi basa (arang aktif) sehingga akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan adsorben yang tidak teraktivasi, diaktivasi secara fisik, ataupun yang diaktivasi asam (Das *et al.*, 2015; Marlina *et al.*, 2022; Zaini & Sami, 2016). Selain itu, adanya gugus hidroksil (-OH) dari adsorben akan berikatan dengan gugus karboksil (-COOH) dari asam lemak bebas sehingga membentuk ikatan hidrogen (Suryadi *et al.*, 2019). Gugus hidroksil (-OH) pada arang aktif diperoleh dari kandungan selulosa dari kulit durian (Sari *et al.*, 2021). Selulosa diketahui mempunyai tiga gugus hidroksil (-OH) aktif yang dapat mengikat komponen adsorbat (Abdullah & Yustinah, 2020).

Keberadaan gugus hidroksil (-OH) tidak hanya ditemukan pada kulit durian saja tetapi juga pada kulit pisang kepok, kulit kakao, kulit buah sukun, dan biji alpukat.

Meskipun mempunyai gugus hidroksil persentase penurunan asam lemak bebas dari kulit pisang kepok, kulit buah sukun, dan biji alpukat tetap di bawah kulit durian pada penelitian Sari *et al.* (2021). Hal ini dapat terjadi karena kandungan selulosa dari kulit pisang kepok (14,4%), kulit buah sukun (17,59%), kulit nanas (24,15%), dan biji alpukat (16,36%) lebih rendah dari kulit durian (60,45%) (Diana *et al.*, 2018; Nasir *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2022; Sari *et al.*, 2021; Suartini *et al.*, 2018).



Gambar 6. Hubungan Selulosa terhadap Penurunan Asam Lemak Bebas

Gambar 6. dapat diketahui bahwa semakin tinggi kandungan selulosa maka semakin besar juga penurunan asam lemak bebasnya (Irawan *et al.*, 2013). Selain karena kandungan selulosa, proses aktivasi juga mempengaruhi persentase penurunan asam lemak bebas. Tabel 5. menunjukkan bahwa kulit pisang kepok (aktivasi fisik), kulit buah sukun (aktivasi asam), kulit nanas (aktivasi fisik), dan biji alpukat (aktivasi asam) sehingga dapat diketahui sebagian besar proses aktivasi arang dilakukan secara fisik atau kimia menggunakan asam. Sedangkan, pada penelitian Sari *et al.* (2021) kulit durian diaktivasi secara kimia menggunakan basa. Proses aktivasi arang secara fisik dan kimia (asam) akan mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan arang yang teraktivasi basa. Hal tersebut dikarenakan arang yang teraktivasi fisik hanya akan menghilangkan bahan-bahan pengotor penutup pori-pori yang berikatan secara fisik (Van Der Waals) (Zaini & Sami, 2016). Kemudian, arang yang teraktivasi kimia menggunakan asam akan cenderung mempunyai pori-pori yang lebih sedikit akibat terjadinya korosi dan runtuhnya struktur pori pada permukaan arang (Liu *et al.*, 2020).

Akan tetapi, pada penelitian Marlina *et al.* (2022) yang menggunakan kulit kakao juga diaktivasi secara kimia menggunakan basa. Namun, persentase penurunan asam lemak bebasnya tetap lebih rendah dibandingkan kulit durian (aktivasi basa) pada penelitian Sari *et al.* (2021). Hal ini dikarenakan massa adsorben arang aktif kulit kakao (8,33% dari berat minyak goreng bekas) lebih sedikit dibandingkan massa adsorben kulit durian (10% dari berat minyak goreng bekas). Semakin banyak massa adsorben yang digunakan maka luas permukaan adsorben juga akan semakin banyak sehingga semakin banyak juga asam lemak bebas yang teradsorpsi (Miskah *et al.*, 2019). Selain itu, kulit kakao mempunyai kandungan lignin (20%) lebih tinggi dari kulit durian (5%). Tingginya kandungan lignin (lebih dari 15%) dapat menyebabkan penurunan kemampuan adsorpsi sehingga kulit kakao memiliki persentase penurunan yang lebih rendah (Widayana *et al.*, 2022).

Gambar 5. menunjukkan bahwa penurunan asam lemak bebas tertinggi diperoleh dengan menggunakan kulit durian pada penelitian Sari *et al.* (2021). Akan tetapi, 2 data kulit durian dari penelitian Miskah *et al.* (2019) dan Masyithah *et al.* (2018) mempunyai persentase penurunan asam lemak bebas yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan jenis adsorben yang digunakan adalah kulit durian yang teraktivasi secara kimia menggunakan asam, sedangkan kulit durian pada penelitian Sari *et al.* (2021) teraktivasi secara kimia menggunakan basa (Marlina *et al.*, 2022). Selain itu, massa adsorben pada penelitian Miskah *et al.* (2019) (3% dari berat minyak goreng bekas) dan Masyithah *et al.* (2018) (5% dari berat minyak goreng bekas) yang lebih sedikit dari penelitian Sari *et al.* (2021) (10% dari berat minyak goreng bekas) juga menjadi pendukung rendahnya persentase penurunan asam lemak bebas (Miskah *et al.*, 2019).

Gambar 5. menunjukkan bahwa diantara 5 data kulit pisang dapat diketahui bahwa persentase penurunan asam lemak bebas terendah kedua adalah 8,6% yang menggunakan adsorben arang teraktivasi basa. Arang yang teraktivasi basa seharusnya memiliki kemampuan adsorpsi yang baik. Akan tetapi, pada penelitian

Marwah & Sulistiyono (2019) walaupun menggunakan arang yang teraktivasi basa persentase penurunan asam lemak bebasnya tetap rendah. Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian Marwah & Sulistiyono (2019) melalui proses pembuatan arang aktif yang kurang tepat. Proses pembuatan arang aktif pada penelitian Marwah & Sulistiyono (2019) tidak melalui proses pengecilan ukuran adsorben, sehingga adsorben yang digunakan akan cenderung untuk mempunyai ukuran partikel yang besar dan luas permukaan yang kecil (Zulkifli *et al.*, 2018). Akibat dari luas permukaan yang kecil yaitu semakin sedikit asam lemak bebas yang dapat teradsorpsi oleh adsorben. Maka, persentase penurunan asam lemak bebasnya akan rendah juga (Marlina *et al.*, 2022). Selain karena ukuran partikel, waktu kontak antara adsorben dengan minyak goreng bekas yang terlalu lama. Waktu kontak yang terlalu lama dapat menyebabkan adsorben mengalami kejenuhan sehingga terjadi peristiwa desorpsi. Peristiwa desorpsi akan menyebabkan asam lemak bebas yang telah teradsorpsi terlepas dari adsorben (Widayana *et al.*, 2022).

Gambar 5. menunjukkan bahwa diantara 5 data kulit pisang dapat diketahui bahwa persentase penurunan asam lemak bebas tertinggi adalah 77,59% pada penelitian Zulkifli *et al.* (2018). Bahkan persentase penurunan asam lemak bebasnya lebih tinggi dibandingkan kulit pisang pada penelitian Prabowo & Muflihah (2019) dan Nasir *et al.* (2014) yang diaktivasi secara kimia menggunakan basa. Hal tersebut dikarenakan arang aktif kulit pisang pada penelitian Prabowo & Muflihah (2019) mempunyai ukuran partikel adsorben yang terlalu kecil karena selama proses pengayakan serbuk-serbuk arang aktif yang lebih halus dari ukuran ayakan (200 mesh) akan lolos, sedangkan serbuk yang mempunyai ukuran terlalu halus kemungkinan besar mengalami kerusakan struktur yang dapat mengurangi kemampuan adsorpsi asam lemak bebas (Fathurrahmaniah *et al.*, 2022). Selain itu, waktu kontak antara adsorben dengan minyak goreng bekas pada penelitian Prabowo & Muflihah (2019) terlalu lama (24 jam). Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, waktu kontak yang terlalu lama dapat menyebabkan adsorben mengalami kejenuhan sehingga terjadi peristiwa desorpsi yang menyebabkan peningkatan asam lemak bebas pada minyak goreng bekas (Widayana *et al.*, 2022).

Selanjutnya, arang aktif kulit pisang kepok pada penelitian Nasir *et al.* (2014) mempunyai ukuran partikel adsorben yang lebih besar (100 mesh) dibandingkan arang aktif kulit pisang pada penelitian Zulkifli *et al.* (2018) (140 mesh). Teori menyatakan bahwa semakin besar ukuran partikel adsorben menunjukkan bahwa semakin kecil luas permukaan adsorben. Adsorben dengan luas permukaan yang kecil akan menyebabkan semakin sedikit kemungkinan terjadinya tumbukan antara permukaan aktif adsorben dengan partikel asam lemak bebas sehingga persentase penurunan asam lemak bebasnya rendah (Qory *et al.*, 2021). Selain itu, waktu kontak adsorben dengan minyak goreng bekas pada penelitian Nasir *et al.* (2014) (1 jam) lebih singkat dibandingkan pada penelitian Zulkifli *et al.* (2018) (6 jam). Waktu kontak yang terlalu singkat dapat menyebabkan kerja adsorben menjadi belum optimal sehingga belum banyak asam lemak bebas yang teradsorpsi (Zunifer & Ayu, 2020).

Gambar 5. dapat diketahui bahwa arang aktif kulit salak pada penelitian Ardiyansyah & Silalahi (2021) mempunyai persentase penurunan asam lemak bebas yang lebih tinggi dibandingkan arang aktif kulit salak pada penelitian Mangallo *et al.* (2014). Hal ini dikarenakan massa arang aktif kulit salak pada penelitian Ardiyansyah & Silalahi (2021) (20% dari berat minyak goreng bekas) lebih banyak dibandingkan pada penelitian Mangallo *et al.* (2014) (1,76% dari berat minyak goreng bekas). Semakin banyak massa adsorben yang digunakan maka luas permukaan adsorben juga akan semakin banyak sehingga semakin banyak juga asam lemak bebas yang teradsorpsi (Miskah *et al.*, 2019).

Biji dan kulit salak mempunyai kandungan flavonoid dan tanin yang merupakan senyawa fenolik (Karta *et al.*, 2015; Shabir *et al.*, 2018). Senyawa fenolik merupakan senyawa yang tersusun atas satu atau lebih gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada cincin aromatik (Supriningrum *et al.*, 2020). Seperti yang sudah disebutkan diatas bahwa gugus hidroksil (-OH) dapat membantu mengadsorpsi asam lemak bebas (Suryadi *et al.*, 2019). Akan tetapi, senyawa flavonoid dan tanin

tidak dapat bertahan pada suhu diatas 80°C (Oematan, 2015; Wahyusi *et al.*, 2020). Sedangkan, proses pembuatan arang aktif biji dan kulit salak akan melalui tahapan karbonisasi yang akan dilakukan pada suhu 300-350°C. Sehingga dapat diketahui bahwa senyawa flavonoid dan tanin yang terkandung dalam biji dan kulit salak akan hilang setelah melalui proses karbonisasi menjadi arang (Ardiyansyah & Silalahi, 2021; Qory *et al.*, 2021).

Gambar 5. menunjukkan bahwa penurunan asam lemak bebas arang aktif biji salak pada penelitian Qory *et al.* (2021) cenderung lebih baik dibandingkan arang aktif kulit salak pada penelitian Ardiyansyah & Silalahi (2021). Hal ini dikarenakan pemurnian minyak goreng bekas menggunakan arang aktif biji salak pada penelitian Qory *et al.* (2021) dilakukan pada suhu 90°C. Sedangkan pemurnian minyak goreng bekas dengan arang aktif kulit salak pada penelitian Ardiyansyah & Silalahi (2021) tidak diketahui suhu pemurniannya. Menurut teori Rahayu & Purnavita (2014) suhu pemurnian dapat membantu menurunkan asam lemak bebas dengan membuat energi kinetik molekul penyebab tumbukan antara partikel asam lemak bebas dengan adsorben semakin besar (Rahayu & Purnavita, 2014). Selain itu, arang aktif biji salak pada penelitian Qory *et al.* (2021) mempunyai suhu dan waktu karbonisasi yang lebih lama (350°C selama 1,5 jam) dibandingkan arang aktif kulit salak pada penelitian Ardiyansyah & Silalahi (2021) (300 °C selama 0,167 jam). Semakin tinggi suhu karbonisasi dan semakin lama waktu karbonisasi akan menghasilkan arang aktif yang lebih halus dan lebih besar luas permukaannya (Prabowo & Muflihah, 2019). Semakin besar luas permukaan maka semakin banyak asam lemak bebas yang teradsorpsi, sehingga penurunan asam lemak bebas semakin besar (Marlina *et al.*, 2022).

Gambar 5 terlihat juga arang aktif biji salak pada penelitian Qory *et al.* (2021) mempunyai persentase penurunan asam lemak bebas yang lebih tinggi dibandingkan arang aktif kulit salak pada penelitian Mangallo *et al.* (2014). Hal ini dikarenakan jenis adsorben yang digunakan pada penelitian Mangallo *et al.* (2014) adalah arang yang diaktivasi secara fisik. Sedangkan pada penelitian Qory *et al.*

(2021) jenis adsorben yang digunakan adalah arang yang diaktivasi secara kimia menggunakan asam. Teori menyatakan bahwa arang yang teraktivasi secara fisik akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan arang yang teraktivasi secara kimia (Das *et al.*, 2015).

Gambar 5. terlihat juga arang aktif biji alpukat pada penelitian Fitriani & Nurulhuda (2018) mempunyai persentase penurunan asam lemak bebas yang lebih tinggi dibandingkan arang aktif biji alpukat pada penelitian Fadilah & Utami (2020). Hal ini dikarenakan waktu kontak adsorben dengan minyak goreng bekas pada penelitian Fadilah & Utami (2020) (0,75 jam) lebih singkat dibandingkan pada penelitian Fitriani & Nurulhuda (2018) (2 jam). Waktu kontak yang terlalu singkat dapat menyebabkan kerja adsorben menjadi belum optimal sehingga belum banyak asam lemak bebas yang teradsorpsi. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak penurunan asam lemak bebas (Zunifer & Ayu, 2020).

Kulit nanas mempunyai senyawa flavonoid, tanin, fenol, dan terpenoid (Waznah *et al.*, 2021). Ampas nanas mempunyai senyawa flavonoid, tanin, saponin, dan polifenol (Marlina *et al.*, 2018). Senyawa bioaktif fenol, fenolik, saponin, terpenoid, tanin, dan flavonoid mempunyai gugus hidroksil (-OH) yang dapat membantu adsorpsi asam lemak bebas (Efdi *et al.*, 2016; Ngginak *et al.*, 2021; Supriningrum *et al.*, 2020; Suryadi *et al.*, 2019). Akan tetapi, senyawa fenolik, saponin, tanin, dan flavonoid tidak dapat bertahan pada suhu diatas 80°C (Anh *et al.*, 2019; Antony & Farid, 2022; Oematan, 2015; Wahyusi *et al.*, 2020). Senyawa terpenoid tidak dapat bertahan pada suhu 140-142°C (Efdi *et al.*, 2016). Senyawa fenol tidak dapat bertahan pada suhu diatas 50°C (Yuliantari *et al.*, 2017). Sedangkan, proses pembuatan arang aktif ampas nanas akan melalui proses karbonisasi yang akan dilakukan pada suhu 500°C (Kamaruzzaman *et al.*, 2020). Proses pembuatan arang aktif kulit nanas akan melalui proses aktivasi secara fisik menggunakan suhu 600°C (Chairgulprasert & Nileah, 2019). Sehingga, senyawa bioaktif yang terkandung pada kulit nanas dan ampas nanas akan hilang setelah melalui proses karbonisasi ataupun aktivasi.

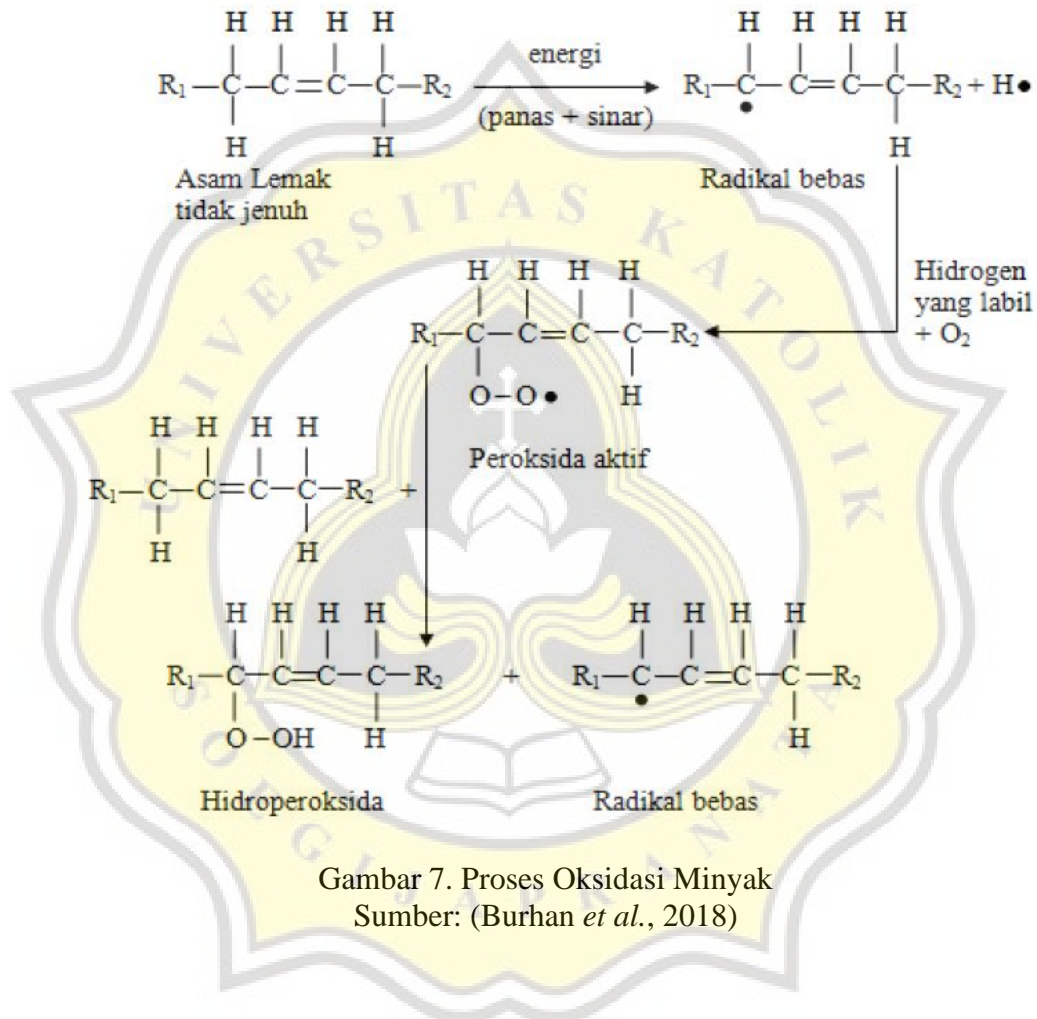
Gambar 5. menunjukkan bahwa ampas nanas mempunyai persentase penurunan asam lemak bebas yang lebih tinggi (83,22%) dibandingkan kulit nanas (81,39%). Hal ini dikarenakan jenis adsorben yang digunakan pada ampas nanas adalah arang yang teraktivasi secara kimia menggunakan asam, sedangkan kulit nanas teraktivasi secara fisik. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, arang yang teraktivasi secara fisik akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan arang yang teraktivasi secara kimia (Das *et al.*, 2015).

4.2. Perubahan Nilai Peroksida

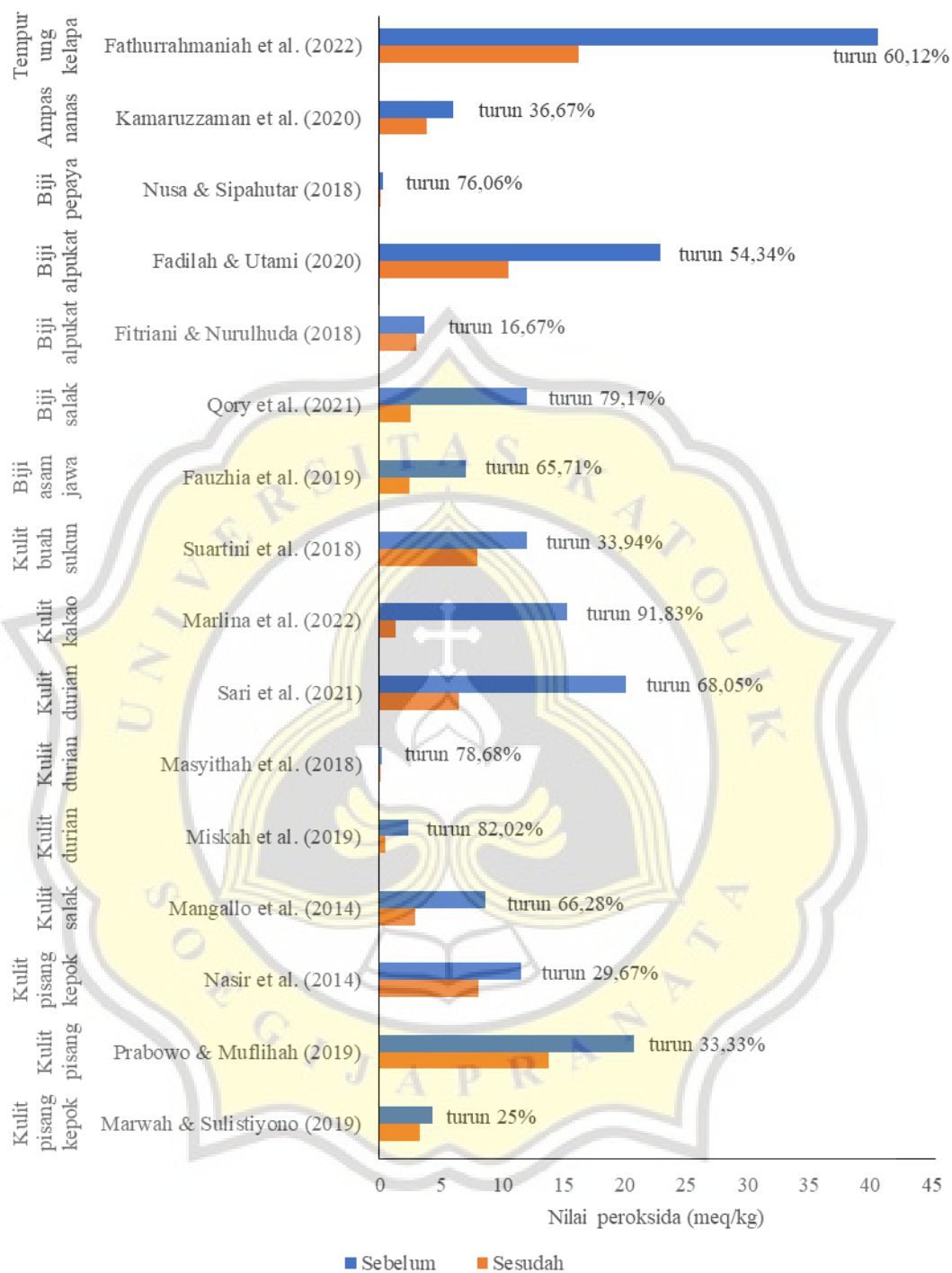
Parameter kualitas minyak yang selanjutnya adalah nilai peroksida. Nilai peroksida adalah salah satu senyawa yang terbentuk selama proses oksidasi primer. Nilai peroksida juga menjadi salah satu parameter yang menyatakan tingkat kerusakan minyak dalam satuan meq/kg (miliekuivalen oksigen per 1 kg minyak) (Ayucitra *et al.*, 2013). Minyak goreng yang mempunyai kandungan nilai peroksida yang tinggi dapat menyebabkan timbulnya bau tengik dan flavor yang tidak enak (Nurhasnawati *et al.*, 2015).

Berdasarkan Tabel 2., dapat diketahui bahwa batas mutu kritis nilai peroksida minyak goreng kelapa sawit berdasarkan SNI adalah maksimal 10 meq/kg (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Melalui data yang diperoleh pada Tabel 5. dapat diketahui bahwa seringkali minyak goreng bekas mempunyai nilai peroksida yang cukup tinggi yaitu lebih dari 10 meq/kg. Hal ini terbukti dari 20 penelitian yang ditemukan terdapat 8 data yang memiliki nilai peroksida di atas 10 meq/kg; 8 data yang nilai peroksidanya tidak melebihi 10 meq/kg; serta 4 data yang tidak terdapat data nilai peroksidanya. Tingginya kandungan peroksida pada minyak goreng bekas penggorengan dapat terjadi karena minyak mengalami proses oksidasi. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, proses oksidasi dapat terjadi ketika oksigen bereaksi dengan atom hidrogen yang terletak di samping ikatan rangkap milik asam lemak tak jenuh, sehingga membentuk peroksida dan hidroperoksida. Hasil dari proses oksidasi primer tersebut akan menyebabkan minyak mempunyai

nilai peroksida yang semakin tinggi (Khoirunnisa *et al.*, 2020; Widodo *et al.*, 2020). Terjadinya oksidasi pada minyak dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu tinggi, katalis, dan oksigen (Nurhasnawati *et al.*, 2015). Pembentukan hidroperoksida dan peroksida melalui proses oksidasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Oksidasi Minyak
Sumber: (Burhan *et al.*, 2018)



Catatan: Detail dapat dilihat pada Tabel 5.

Gambar 8. Perubahan Nilai Peroksida

Gambar 8. menunjukkan bahwa 16 data yang diperoleh mengalami penurunan nilai peroksida setelah dimurnikan menggunakan adsorben dari limbah buah. Bahkan terdapat 13 data yang nilai peroksidanya memenuhi SNI. Berdasarkan nilai peroksida sebelum dan sesudah pemurnian dapat diketahui persentase penurunan nilai peroksida. Rentang dari persentase penurunan nilai peroksida adalah 16,67% hingga 91,83%. Penurunan terendah diperoleh dari penelitian Fitriani & Nurulhuda (2018) menggunakan biji alpukat dengan nilai peroksida yang semula 3,6 meq/kg menjadi 3 meq/kg setelah dimurnikan. Rendahnya penurunan dapat terjadi karena jenis adsorben yang digunakan adalah adsorben yang teraktivasi asam (arang aktif) sehingga akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan adsorben yang teraktivasi basa (Marlina *et al.*, 2022). Arang yang teraktivasi kimia menggunakan asam akan cenderung mempunyai pori-pori yang lebih sedikit akibat terjadinya korosi dan runtuhnya struktur pori pada permukaan arang (Liu *et al.*, 2020). Selain karena proses aktivasinya, rendahnya penurunan juga dapat terjadi karena persentase massa adsorben yang sedikit (1,33% dari berat minyak goreng bekas). Semakin sedikit massa adsorben yang digunakan maka luas permukaan adsorben juga akan semakin kecil sehingga semakin sedikit juga nilai peroksida yang teradsorpsi (Miskah *et al.*, 2019).

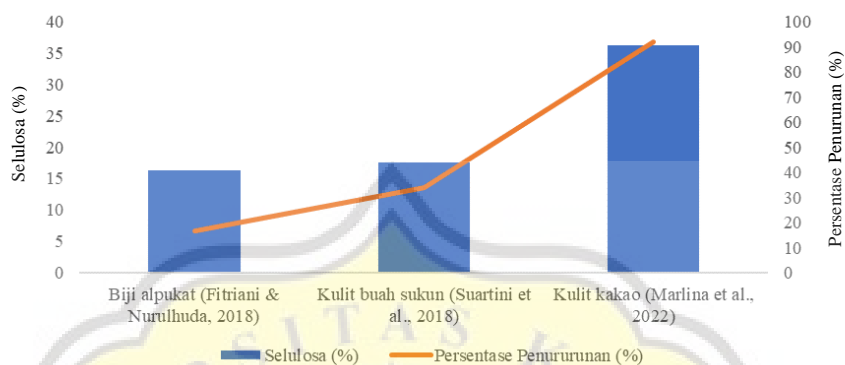
Akan tetapi, persentase massa adsorben terkecil dari 16 data yang diperoleh adalah pada penelitian Suartini *et al.* (2018) (0,2% dari berat minyak goreng bekas). Walaupun mempunyai persentase massa adsorben terkecil, arang aktif kulit buah sukun mempunyai persentase penurunan nilai peroksida yang lebih tinggi dibandingkan Fitriani & Nurulhuda (2018). Hal ini dikarenakan pada penelitian Suartini *et al.* (2018) proses pemurnian minyak goreng bekas melalui beberapa tahapan sebelum menggunakan arang aktif kulit buah sukun. Tahapan yang pertama adalah proses *despicing*, tujuan dari proses *despicing* adalah untuk menghilangkan partikel halus yang tersuspensi dalam minyak goreng bekas. Tahap selanjutnya adalah netralisasi, tujuan dari proses netralisasi adalah untuk melakukan pemisahan antara minyak dengan asam lemak bebas. Tahapan terakhir adalah *bleaching*, pada tahap ini arang aktif kulit buah sukun akan digunakan untuk mengadsorpsi zat

warna, bau tidak sedap, dan hasil degradasi minyak (nilai peroksida) (Suartini *et al.*, 2018). Selain itu, proses pemurnian minyak goreng bekas pada penelitian Suartini *et al.* (2018) dilakukan pada suhu 70-100°C. Suhu pemurnian yang semakin tinggi dapat menurunkan nilai peroksida dengan membuat energi kinetik molekul penyebab tumbukan antara partikel peroksida dengan adsorben semakin besar (Rahayu & Purnavita, 2014).

Selanjutnya, penurunan tertinggi diperoleh dari penelitian Marlina *et al.* (2022) menggunakan kulit kakao dengan nilai peroksida yang semula 15,3 meq/kg menjadi 1,25 meq/kg setelah dimurnikan. Tingginya penurunan dapat disebabkan karena jenis adsorben yang digunakan adalah adsorben yang teraktivasi basa (arang aktif) sehingga akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan adsorben yang tidak teraktivasi, diaktivasi secara fisik, ataupun yang diaktivasi asam (Das *et al.*, 2015; Marlina *et al.*, 2022; Zaini & Sami, 2016). Selain karena aktivasi adsorben menggunakan basa, penurunan nilai peroksida juga disebabkan adanya interaksi antara gugus hidroksil (-OH) adsorben dengan atom radikal bebas pada peroksida aktif. Selain itu, bilangan peroksida yang terkandung dalam minyak goreng dapat menurun karena mengandung gugus peroksida polar. Sedangkan adsorben memiliki gugus hidroksil yang bersifat polar sehingga kesamaan sifat tersebut menyebabkan bilangan peroksida diserap oleh adsorben, maka bilangan peroksida menurun (Marlina *et al.*, 2022). Gugus hidroksil (-OH) pada arang aktif diperoleh dari kandungan selulosa dari kulit kakao (Marlina *et al.*, 2022). Selulosa diketahui mempunyai tiga gugus hidroksil (-OH) aktif yang dapat mengikat komponen adsorbat (Abdullah & Yustinah, 2020).

Keberadaan gugus hidroksil (-OH) tidak hanya ditemukan pada kulit kakao saja tetapi juga pada kulit durian, kulit buah sukun, dan biji alpukat. Meskipun mempunyai gugus hidroksil persentase penurunan nilai peroksida dari kulit durian, kulit buah sukun, dan biji alpukat tetap di bawah kulit durian pada penelitian Marlina *et al.* (2022). Hal ini dapat terjadi karena kandungan selulosa dari kulit

kakao (36,23%) lebih tinggi daripada kulit buah sukun (17,59%) dan biji alpukat (16,36%) (Diana *et al.*, 2018; Marlina *et al.*, 2022; Suartini *et al.*, 2018).



Gambar 9. Hubungan Selulosa terhadap Nilai Peroksida

Gambar 9. menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan selulosa maka semakin besar juga luas permukaan adsorben (Tapia-Orozco *et al.*, 2016). Luas permukaan adsorben yang semakin besar akan meningkatkan kemungkinan terjadinya tumbukan antara permukaan aktif adsorben dengan partikel peroksida (Qory *et al.*, 2021). Maka, semakin banyak nilai peroksida yang teradsorpsi, sehingga persentase penurunan semakin besar (Marlina *et al.*, 2022). Selain karena kandungan selulosa, proses aktivasi juga mempengaruhi persentase penurunan nilai peroksida. Tabel 5. menunjukkan bahwa kulit buah sukun dan biji alpukat merupakan adsorben yang diaktivasi secara kimia menggunakan asam. Sedangkan, pada penelitian Marlina *et al.* (2022) kulit kakao diaktivasi secara kimia menggunakan basa. Proses aktivasi arang secara kimia (asam) akan mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan arang yang teraktivasi basa. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya bahwa arang yang teraktivasi kimia menggunakan asam akan cenderung mempunyai pori-pori yang lebih sedikit akibat terjadinya korosi dan runtuhnya struktur pori pada permukaan arang (Liu *et al.*, 2020).

Namun, pada penelitian Sari *et al.* (2021) yang menggunakan kulit durian juga diaktivasi secara kimia menggunakan basa. Namun, persentase penurunan nilai peroksidanya tetap lebih rendah dibandingkan kulit kakao (aktivasi basa) pada

penelitian Marlina *et al.* (2022). Hal ini dapat terjadi karena minyak goreng bekas pada penelitian Marlina *et al.* (2022) mengalami penggorengan berulang dengan menggunakan suhu yang tinggi sehingga banyak terbentuk senyawa peroksida rantai karbon pendek yang cenderung bersifat polar (Fauzhia *et al.*, 2019). Arang aktif kulit kakao juga memiliki gugus hidroksil (-OH) yang bersifat polar. Kesamaan polaritas tersebut memudahkan penyerapan peroksida oleh adsorben sehingga nilai peroksida menurun (Marlina *et al.*, 2022). Selain karena polaritas, kulit kakao pada penelitian Marlina *et al.* (2022) juga mempunyai ukuran partikel (120 mesh) yang lebih kecil dibandingkan kulit durian pada penelitian Sari *et al.* (2021) (100 mesh). Semakin kecil ukuran partikel adsorben menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan adsorben. Adsorben dengan luas permukaan yang besar akan meningkatkan kemungkinan terjadinya tumbukan antara permukaan aktif adsorben dengan partikel peroksida sehingga nilai peroksida alami penurunan (Qory *et al.*, 2021). Kemudian, pada penelitian Marlina *et al.* (2022) juga mempunyai waktu kontak antara arang aktif kulit kakao dengan minyak goreng bekas (8 jam) yang lebih lama daripada waktu kontak pada penelitian Sari *et al.* (2021) (1 jam). Semakin lama waktu kontak akan menyebabkan penurunan nilai peroksida. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu kontakannya maka semakin sering interaksi antara permukaan adsorben dengan adsorbat (Miskah *et al.*, 2019).

Gambar 8. dapat diketahui bahwa arang aktif biji salak pada penelitian Qory *et al.* (2021) mempunyai persentase penurunan nilai peroksida yang lebih tinggi dibandingkan arang aktif kulit salak pada penelitian Mangallo *et al.* (2014). Hal ini sama seperti hasil dari persentase penurunan asam lemak bebas yang juga cenderung lebih tinggi pada saat menggunakan arang aktif biji salak daripada kulit salak. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, biji salak dan kulit salak mempunyai kandungan flavonoid dan tanin yang merupakan senyawa fenolik (Karta *et al.*, 2015; Shabir *et al.*, 2018).

Gugus hidroksil (-OH) yang terdapat pada senyawa fenolik dapat membantu mengadsorpsi partikel peroksida minyak goreng bekas (Marlina *et al.*, 2022). Akan

tetapi, senyawa flavonoid dan tanin tidak dapat bertahan pada suhu diatas 80°C (Oematan, 2015; Wahyusi *et al.*, 2020). Sedangkan, proses pembuatan arang aktif biji dan kulit salak akan melalui tahapan karbonisasi yang akan dilakukan pada suhu $300\text{-}350^{\circ}\text{C}$. Sehingga dapat diketahui bahwa senyawa flavonoid dan tanin yang terkandung dalam biji dan kulit salak akan hilang setelah melalui proses karbonisasi menjadi arang (Ardiyansyah & Silalahi, 2021; Qory *et al.*, 2021). Oleh karena itu, keberadaan senyawa tanin dan flavonoid tidak mempengaruhi penurunan nilai peroksida. Penyebab biji salak pada penelitian Qory *et al.* (2021) mempunyai persentase penurunan yang lebih tinggi karena menggunakan arang yang diaktivasi secara kimia (asam). Sedangkan, kulit salak pada penelitian Mangallo *et al.* (2014) aktivasi arangnya dilakukan secara fisik. Sesuai dengan teori arang yang teraktivasi secara fisik akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan arang yang teraktivasi secara kimia (Das *et al.*, 2015).

Gambar 8. menunjukkan bahwa diantara 3 data kulit pisang dapat diketahui bahwa persentase penurunan tertinggi adalah 33,33% pada penelitian Prabowo & Muflihah (2019). Arang aktif kulit pisang pada penelitian Prabowo & Muflihah (2019) mempunyai penurunan nilai peroksida yang lebih tinggi daripada kulit pisang kepok pada penelitian Nasir *et al.* (2014) (29,67%). Hal ini dikarenakan suhu karbonisasi yang lebih tinggi ($600^{\circ}\text{C} > 400^{\circ}\text{C}$), waktu karbonisasi yang lebih lama (3 jam $>$ 2 jam), ukuran partikel yang lebih kecil (200 mesh $<$ 100 mesh), dan konsentrasi aktivator yang lebih tinggi (1N $>$ 0,5N). Semakin tinggi suhu karbonisasi dan semakin lama waktu karbonisasi akan menghasilkan arang aktif yang lebih halus dan lebih besar luas permukaannya (Prabowo & Muflihah, 2019). Semakin kecil ukuran partikel adsorben menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan adsorben (Qory *et al.*, 2021). Semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan akan meningkatkan luas permukaan adsorben (Fathurrahmaniah *et al.*, 2022). Luas permukaan adsorben yang semakin besar akan meningkatkan kemungkinan terjadinya tumbukan antara permukaan aktif adsorben dengan partikel peroksida (Qory *et al.*, 2021). Maka, semakin banyak nilai peroksida yang teradsorpsi, sehingga persentase penurunan semakin besar (Marlina *et al.*, 2022).

Arang aktif kulit pisang pada penelitian Marwah & Sulistiyono (2019) juga mempunyai persentase penurunan nilai peroksida yang lebih rendah (25%) daripada kulit pisang pada penelitian Prabowo & Muflihah (2019) (33,33%). Seperti yang sudah disebutkan pada parameter asam lemak bebas bahwa walaupun menggunakan arang yang teraktivasi basa persentase penurunan nilai peroksidanya tetap rendah. Hal ini dikarenakan proses pembuatan arang aktif pada penelitian Marwah & Sulistiyono (2019) tidak melalui proses pengecilan ukuran adsorben, sehingga cenderung untuk mempunyai ukuran partikel yang besar dan luas permukaan yang kecil (Zulkifli *et al.*, 2018). Akibat dari luas permukaan yang kecil yaitu semakin sedikit nilai peroksida yang teradsorpsi oleh adsorben (Zulkifli *et al.*, 2018). Maka, semakin banyak nilai peroksida yang teradsorpsi, sehingga persentase penurunan semakin besar (Marlina *et al.*, 2022).

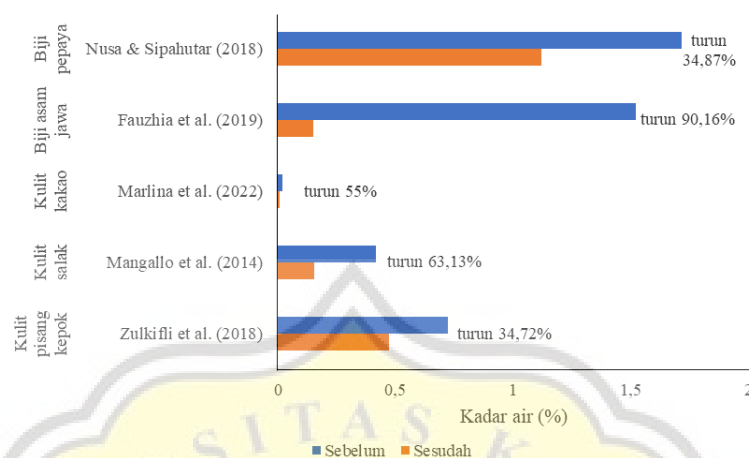
Gambar 8. terlihat juga arang aktif biji alpukat pada penelitian Fadilah & Utami (2020) mempunyai persentase penurunan nilai peroksida yang lebih tinggi dibandingkan arang aktif biji alpukat pada penelitian Fitriani & Nurulhuda (2018). Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian Fadilah & Utami (2020) akan menggunakan suhu karbonisasi (400°C) dan waktu karbonisasi (2 jam) sedangkan pada penelitian Fitriani & Nurulhuda (2018) hanya melalui pengeringan dengan menggunakan sinar matahari. Tingginya suhu dan lamanya waktu karbonisasi dapat menghasilkan arang aktif yang lebih halus dan lebih besar luas permukaannya (Prabowo & Muflihah, 2019). Selain suhu dan waktu karbonisasi, konsentrasi aktivator pada penelitian Fadilah & Utami (2020) juga lebih tinggi (1,4N) dibandingkan pada penelitian (Prabowo & Muflihah, 2019) (1N). Semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan akan meningkatkan luas permukaan adsorben (Fathurrahmaniah *et al.*, 2022). Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, luas permukaan adsorben yang semakin besar akan meningkatkan kemungkinan terjadinya tumbukan antara permukaan aktif adsorben dengan partikel peroksida, sehingga persentase penurunan semakin besar (Marlina *et al.*, 2022; Qory *et al.*, 2021)

Gambar 8. menunjukkan bahwa diantara 3 data kulit durian dapat diketahui bahwa persentase penurunan tertinggi adalah 82,02% pada penelitian Miskah *et al.* (2019). Tingginya penurunan dapat terjadi karena pada penelitian Miskah *et al.* (2019) proses pemurnian minyak goreng bekas melalui beberapa tahapan sebelum menggunakan arang aktif kulit durian. Tahapan yang dilalui sama seperti pada penelitian Suartini *et al.* (2018) yaitu *despicing*, netralisasi, dan pemurnian menggunakan kulit durian. Dengan bantuan kedua tahapan tersebut arang aktif kulit durian pada penelitian Miskah *et al.* (2019) dapat memperoleh penurunan persentase nilai peroksida yang lebih tinggi daripada kulit durian pada penelitian Masyithah *et al.* (2018) & Sari *et al.* (2021).

4.3. Perubahan Kadar Air

Selain asam lemak bebas dan nilai peroksida, beberapa penelitian juga menentukan persentase kadar air sebagai parameter kualitas dari minyak goreng bekas. Kadar air pada minyak goreng adalah salah satu komponen yang tidak diinginkan keberadaannya karena dapat menyebabkan terjadinya proses hidrolisis (Zulkifli *et al.*, 2018). Sedangkan, hasil dari proses hidrolisis adalah asam lemak bebas yang dapat menurunkan kualitas dari minyak goreng kelapa sawit (Zulkifli *et al.*, 2018).

Berdasarkan Tabel 2., dapat diketahui bahwa batas mutu kritis kadar air minyak goreng kelapa sawit berdasarkan SNI adalah maksimal 0,1% (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Melalui data yang diperoleh pada Tabel 5. dapat diketahui bahwa kadar air dari minyak goreng bekas banyak yang melebihi 0,1%. Hal ini terbukti dari 20 penelitian yang ditemukan terdapat 4 data yang memiliki kadar air di atas 0,1%; 1 data yang kadar airnya tidak melebihi 0,1%; serta 15 data yang tidak terdapat persentase kadar airnya. Tingginya kadar air pada minyak goreng dapat terjadi karena proses penggorengan atau tempat penyimpanan minyak goreng yang lembab. Selama proses penggorengan kadar air dari makanan akan keluar dan berpindah ke minyak goreng, sehingga menyebabkan meningkatnya kadar air pada minyak goreng bekas penggorengan (Zulkifli *et al.*, 2018).



Catatan: Detail dapat dilihat pada Tabel 5.

Gambar 10. Perubahan Persentase Kadar Air

Gambar 10. menunjukkan bahwa 5 data yang diperoleh mengalami penurunan kadar air setelah dimurnikan menggunakan adsorben dari limbah buah. Akan tetapi, hanya terdapat 1 data yang kadar airnya memenuhi SNI. Berdasarkan kadar air sebelum dan sesudah pemurnian dapat diketahui persentase penurunan kadar air. Rentang dari persentase penurunan kadar air adalah 34,72% hingga 90,16%. Penurunan terendah diperoleh dari penelitian Zulkifli *et al.* (2018) menggunakan kulit pisang kepok dengan hasil kadar air setelah pemurnian sebesar 0,47%. Rendahnya penurunan dapat terjadi karena jenis adsorben yang digunakan adalah adsorben yang teraktivasi secara fisik (arang aktif) sehingga akan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan adsorben yang teraktivasi secara kimia (Das *et al.*, 2015). Pada tabel 5. dapat diketahui bahwa Mangallo *et al.* (2014) menggunakan adsorben kulit salak yang juga teraktivasi secara fisik. Namun, pada penelitian Mangallo *et al.* (2014) mempunyai persentase penurunan yang lebih tinggi daripada Zulkifli *et al.* (2018). Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian Mangallo *et al.* (2014) proses pemurnian minyak goreng bekas dilakukan pada suhu 100°C. Suhu pemurnian yang semakin tinggi dapat menurunkan kadar air dengan membuat energi kinetik molekul penyebab tumbukan antara partikel kadar air dengan adsorben semakin besar (Rahayu & Purnavita, 2014).

Selanjutnya, penurunan tertinggi diperoleh dari penelitian Fauzhia *et al.* (2019) menggunakan biji asam jawa dengan hasil kadar air setelah pemurnian sebesar 0,1495%. Tingginya penurunan dapat terjadi karena pada penelitian Fauzhia *et al.* (2019) proses pemurnian minyak goreng bekas melalui beberapa tahapan sebelum menggunakan arang aktif biji asam jawa. Tahapan yang pertama adalah proses *despicing*, tujuan dari proses *despicing* adalah untuk menghilangkan partikel halus yang tersuspensi dalam minyak goreng bekas. Tahap selanjutnya adalah netralisasi, tujuan dari proses netralisasi adalah untuk melakukan pemisahan antara minyak dengan asam lemak bebas. Tahapan terakhir adalah *bleaching*, pada tahap ini arang aktif biji asam jawa akan digunakan untuk mengadsorpsi zat warna, bau tidak sedap, dan hasil degradasi minyak (Fauzhia *et al.*, 2019; Suartini *et al.*, 2018). Kemudian, proses adsorpsi minyak goreng bekas pada penelitian Fauzhia *et al.* (2019) dilakukan pada suhu 120-130°C. Rachmawati & Suswandi (2022) menyatakan bahwa kadar air minyak goreng bekas akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu pemurnian. Suhu pemurnian yang semakin tinggi dapat menurunkan kadar air dengan membuat energi kinetik molekul penyebab tumbukan antara partikel kadar air dengan adsorben semakin besar (Rahayu & Purnavita, 2014). Selain itu, pada penelitian Fauzhia *et al.* (2019) menggunakan arang aktif biji asam jawa yang diaktivasi asam dengan konsentrasi yang cukup tinggi yaitu 4N. Fathurrahmaniah *et al.* (2022) menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator yang digunakan akan meningkatkan luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan maka semakin banyak kadar air yang teradsorpsi, sehingga terjadi penurunan kadar air (Marlina *et al.*, 2022).

Tabel 5. menunjukkan bahwa diantara 5 data penurunan kadar air dapat diketahui bahwa persentase penurunan kadar air terendah kedua adalah 34,87% pada penelitian Nusa & Sipahutar (2018). Hal ini dapat terjadi karena pada penelitian Nusa & Sipahutar (2018) mempunyai ukuran partikel yang lebih besar yaitu 60 mesh. Semakin besar ukuran partikel adsorben menunjukkan bahwa semakin kecil luas permukaan adsorben. Adsorben dengan luas permukaan yang kecil akan

menyebabkan semakin sedikit kemungkinan terjadinya tumbukan antara permukaan aktif adsorben dengan partikel kadar air sehingga persentase penurunan kadar air rendah (Qory *et al.*, 2021).

4.4. Perubahan Warna dan Bau

Pada beberapa penelitian juga mencantumkan parameter kualitas minyak goreng bekas secara fisik yaitu warna dan bau. Warna dari minyak goreng kelapa sawit baru adalah kuning cerah. Warna minyak goreng yang kuning cerah disebabkan oleh keberadaan α and β -carotene atau *xanthophyll* (Prabowo & Muflihah, 2019). Akan tetapi, setelah mengalami proses penggorengan berulang minyak goreng akan mengalami perubahan warna menjadi lebih coklat gelap dan keruh (Prabowo & Muflihah, 2019). Berdasarkan Tabel 2., dapat diketahui bahwa batas mutu kritis warna minyak goreng kelapa sawit berdasarkan SNI adalah mempunyai warna kuning sampai jingga (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Melalui data yang diperoleh pada Tabel 5. dapat diketahui bahwa warna dari minyak goreng bekas adalah coklat gelap dan keruh. Hal ini terbukti dari 20 penelitian yang ditemukan terdapat 5 data yang menyatakan bahwa minyak goreng bekas memiliki warna coklat gelap ataupun keruh, sedangkan 15 data yang lainnya tidak mencantumkan warna dari minyak goreng bekasnya. Warna pada minyak goreng bekas akan menjadi semakin gelap dan coklat serta keruh disebabkan oleh proses penggorengan yang membuat degradasi pewarna alami dan oksidasi. Pada beberapa makanan juga mengandung protein dan gula yang cukup tinggi sehingga menyebabkan terjadinya reaksi pencoklatan seperti *Maillard* dan karamelisasi (Prabowo & Muflihah, 2019).

Bau dari minyak goreng kelapa sawit baru adalah normal/ tidak mengeluarkan bau tidak sedap. Namun, setelah mengalami proses penggorengan berulang akan terjadi perubahan bau minyak menjadi tengik. Berdasarkan Tabel 2., dapat diketahui bahwa batas mutu kritis bau minyak goreng kelapa sawit berdasarkan SNI adalah mempunyai bau yang normal (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Melalui data yang diperoleh pada Tabel 5. dapat diketahui bahwa bau dari minyak goreng bekas

adalah tengik. Hal ini terbukti dari 20 penelitian yang ditemukan terdapat 3 data yang menyatakan bahwa minyak goreng bekas memiliki bau tengik, sedangkan 17 data yang lainnya tidak mencantumkan bau dari minyak goreng bekasnya. Bau tengik dan keruhnya minyak goreng bekas dapat disebabkan oleh perubahan asam lemak tak jenuh menjadi aldehid, keton, pengotor, gugus peroksida, dan asam lemak bebas akibat dari pemanasan berlebihan (Sari *et al.*, 2021). Minyak goreng bekas dengan kandungan asam lemak bebas dan nilai peroksida yang tinggi akan cenderung mempunyai bau yang tengik (Miskah *et al.*, 2019). Selain itu, adanya gugus aldehid dan keton yang terbentuk selama proses oksidasi juga menjadi indikasi bau tengik pada minyak goreng bekas (Nusa & Sipahutar, 2018).

Akan tetapi, setelah melalui proses pemurnian seluruh data yang diperoleh menunjukkan perubahan warna minyak goreng menjadi kuning cerah/ lebih cerah dan jernih serta bau minyak goreng yang lebih tidak tengik dan normal. Hal ini dapat terjadi karena adsorben arang aktif yang digunakan telah berhasil mengadsorpsi zat warna dan suspensi koloid penyebab bau tengik pada minyak goreng bekas (Mangallo *et al.*, 2014; Suartini *et al.*, 2018). Kemampuan adsorpsi arang aktif terhadap warna dan bau tengik dari minyak diperoleh dari jumlah pori-pori yang besar serta adanya perbedaan energi potensial antara permukaan adsorben dengan adsorbat (Suartini *et al.*, 2018).

4.5. Keterkaitan antar Parameter Minyak Goreng

Minyak goreng bekas mempunyai 5 parameter utama yaitu asam lemak bebas, nilai peroksida, kadar air, warna, dan bau. Antara parameter satu dengan lainnya mempunyai keterkaitan yang dapat mempengaruhi kualitas minyak goreng bekas. Minyak goreng kelapa sawit harus mempunyai asam lemak bebas, nilai peroksida, kadar air, warna, dan bau yang sesuai dengan SNI 7709:2019 agar dapat menghasilkan minyak goreng kelapa sawit yang berkualitas. Namun, minyak goreng bekas penggorengan akan mempunyai asam lemak bebas, nilai peroksida, dan kadar air yang cenderung tinggi. Warna dari minyak goreng bekas cenderung gelap dan keruh, serta mempunyai bau yang tengik (Sari *et al.*, 2021).

Minyak goreng bekas dengan kadar air yang tinggi dapat memicu terjadinya proses hidrolisis. Proses hidrolisis dapat terjadi pada saat senyawa trigliserida pada minyak bereaksi dengan air menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol (Nurhasnawati *et al.*, 2015). Semakin tinggi kadar air pada minyak goreng bekas maka kemungkinan untuk terbentuknya asam lemak bebas akan semakin besar (Fauzhia *et al.*, 2019). Pembentukan asam lemak bebas melalui proses hidrolisis dapat dilihat pada Gambar 4. Peningkatan asam lemak bebas tidak hanya melalui proses hidrolisis melainkan juga proses oksidasi. Pada proses oksidasi juga akan terbentuk senyawa peroksida yang menyebabkan minyak goreng bekas mempunyai nilai peroksida yang tinggi. Proses oksidasi terjadi ketika oksigen bereaksi dengan atom hidrogen yang terletak di samping ikatan rangkap milik asam lemak tak jenuh, sehingga membentuk peroksida dan hidroperoksida (mempunyai sifat tidak stabil). Pembentukan hidroperoksida dan peroksida melalui proses oksidasi dapat dilihat pada Gambar 7. Kemudian, peroksida dan hidroperoksida tersebut akan terkonversi menjadi produk oksidasi tersier yaitu asam lemak bebas, aldehid, dan keton (Khoirunnisa *et al.*, 2020; Octarya & Fernando, 2016).

Hasil dari proses hidrolisis (asam lemak bebas) dan proses oksidasi (asam lemak bebas, peroksida, keton, dan aldehid) dapat mempengaruhi kualitas dari minyak goreng bekas. Bau dan rasa tengik pada minyak goreng dapat terjadi karena tingginya kandungan asam lemak bebas, nilai peroksida, keton, dan aldehid (Miskah *et al.*, 2019; Suroso, 2013). Semakin tinggi kandungan asam lemak bebas, nilai peroksida, keton, dan aldehid pada minyak menunjukkan kualitas minyak yang semakin rendah (Nurhasnawati *et al.*, 2015). Warna gelap dan keruh pada minyak goreng bekas dapat disebabkan karena hasil dari proses oksidasi yaitu senyawa peroksida yang mengalami dekomposisi menjadi senyawa karbonil. Beberapa dari senyawa karbonil tersebut akan membentuk polimerisasi yang mengakibatkan minyak menjadi berwarna gelap dan keruh. Maka, semakin tinggi nilai peroksida akan menyebabkan minyak goreng bekas mempunyai warna yang gelap dan keruh (Suroso, 2013).

Proses polimerisasi pada minyak juga dapat mengakibatkan perubahan karakteristik minyak goreng bekas yaitu mengalami peningkatan viskositas. Parameter viskositas memang tidak terdapat pada SNI 7709:2019. Namun, viskositas/kekentalan minyak goreng juga menjadi salah satu faktor yang penting untuk menggambarkan hambatan saat mengalir. Minyak goreng bekas yang viskositasnya tinggi akan ditandai dengan tingginya kandungan asam lemak bebas. Oleh karena itu, proses pemurnian minyak goreng bekas dengan adsorben limbah buah dapat membantu mengurangi viskositas minyak yang ditandai dengan penurunan nilai asam lemak bebasnya (Sugiharta *et al.*, 2021).

Penggunaan minyak goreng bekas yang telah dimurnikan sebagai media penggorengan dilakukan dengan berbagai tujuan yaitu untuk menghemat biaya, memanfaatkan limbah, dan mengurangi pencemaran lingkungan. Hal ini didukung dengan kebiasaan masyarakat Indonesia yang cenderung menggunakan minyak goreng secara berulang-ulang dengan tujuan untuk menghemat biaya (Suroso, 2013).