

IV. HASIL

IV.1. Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Berbagai metode sintesis dapat dilakukan secara fisiko-kimia, kimia, dan fisik. Proses dari awal hingga akhir pembuatan adsorben pada dasarnya memengaruhi karakteristik adsorben, yaitu luas permukaan dan gugus fungsional adsorben. Perlakuan dan tahapan sintesis atau modifikasi adsorben dari berbagai jenis limbah kulit buah disajikan pada Tabel 4.



Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Markisa (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>)	Pengeringan	Secara Kimia menggunakan NaOH (0,1 mol/L)	Pengeringan secara berkelanjutan dengan suhu 55 °C selama 24 jam, dilanjutkan pada suhu 120°C selama 90 menit.	Serbuk	300 (48mesh)	-	Hidroksil, karbonil (C=O), karboksil	Gerola <i>et al.</i> , 2013
	Penggilingan		Pencucian dengan Air deionisasi berulang Pengeringan dengan 55 °C selama 24 jam					
Markisa (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>)	Pengeringan	Secara Kimia menggunakan NaOH (0,1 mol/L) +Asam sitrat (1,2 mol/L)	Pengeringan secara berkelanjutan dengan suhu 55 °C selama 24 jam, dilanjutkan pada suhu 120°C selama 90 menit.	Serbuk	300 (48mesh)	-	Hidroksil, karbonil (C=O), karboksil	Gerola <i>et al.</i> , 2013
	Penggilingan		Pencucian dengan Air deionisasi berulang Pengeringan dengan 55 °C selama 24 jam					

Keterangan:

NaOH : Natrium hidroksida

°C : Celcius

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (µm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m ² /g)	Gugus fungsional	
Markisa	Pencucian Air deionisasi Pengeringan Oven, 40°C, 48 jam Pengecilan ukuran 250-500 µm	-	-	Serbuk natural	250-500	0,87	Hidroksil (OH), Aliphatic(C-H), Ester karbonil (C=O),	Dotto <i>et al.</i> , 2016
Markisa Konyal (<i>Passiflora ligularis</i>)	Pencucian Air Pengeringan 60°C selama 24 jam Pengecilan ukuran Knife-mill Dekolorisasi Sentrifugasi dengan air Pengeringan 60°C selama 24 jam	Secara kimia dengan menggunakan NaOH (Natrium Hidroksida) dan Ca(CH ₃ COOH) ₂ (Kalsium hidroksida) 0,8 M	Pencucian dengan Sentrifugasi bersama dengan air	Serbuk	125 -841	-	O-H, C-H, COO ⁻ , C=O, C-H, N-H, C-O (Karboksilat)	Castro <i>et al.</i> , 2021

Keterangan:

NaOH : natrium hidroksida

°C : celcius

µm : mikrometer

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permu-kaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Pisang (<i>Musa paradisiaca</i> L.)	Pencucian air							
	Pengeringan 60°C selama 24 jam							
	Pengecilan ukuran dengan knife-mill	Secara Kimia menggunakan NaOH dan $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ 0,8 M	Pencucian dengan Sentrifugasi menggunakan air	Serbuk	125 -841 μm		O-H, C-H, COO-, C=O, C-H, N-H, C-O (Karboksilat)	Castro <i>et al.</i> , 2021
	Dekolorisasi dengan sentrifugasi bersama air							
Pengeringan 60°C selama 24 jam								
Pisang	Pencucian air distilasi	Secara Kimia menggunakan H_3PO_4 (Asam Fosfat), 2 jam	Pencucian dengan Air distilasi	Arang	Satuan hingga puluhan μm	31,65	-CH ₂ dan CH ₃ (asam alkanoat), Hidroksil, Karboksil (C=O(C-O))	
	Pengecilan Ukuran 0,5-1 cm	Secara Thermal menggunakan Autoklaf PTFE, 230 °C, 2 jam	Pengeringan dengan Oven, 80 °C semalam					

Keterangan:

NaOH : natrium hidroksida

Autoklaf PTFE : autoklaf polytetrafluoroethylene

°C : celcius

 μm : mikrometer

Lanjutan tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Pisang, lemon, semangka	Pencucian air dan air distilasi Pengeringan matahari, 7 hari Dekolorisasi pencucian kembali Pengeringan oven, 70 °C selama 6 jam			Serbuk	1000		Karboksil dan hidroksil (O-H, C-H, C=O, C=C, Garam asam karboksilat, C-O-H)	Mohammed & Ibrahim, 2016
Pisang (<i>Musa spp</i>)	Pencucian air distilasi ganda Pengeringan oven, 80°C, semalam	Sintesis dengan Active Carbon menggunakan Adsorben komersial Aktivasi Termal menggunakan Muffle furnace, 500 °C , 1 jam	Penghilangan abu dengan Pencucian dengan air distilasi Pengeringan dengan 110 °C , semalam	Karbon Aktif	-		Fenolik OH, C-H, C-C, C-O	Mohammad <i>et al.</i> , 2015

Keterangan:

NaOH : natrium hidroksida

°C : celcius

 μm : mikrometer

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permu-kaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Pisang	Pencucian dengan air deionisasi, 5 kali	Merserisasi menggunakan NaOH 5 M, 24 jam, pengeringan 105 °C, 1 jam	Sentrifugasi dengan 10000 xg	Serbuk	400	8,140	O-H, C-O, C=O, -COO,	Wang <i>et al.</i> , 2021
	Pengeringan 50°C	Sintesis Asam Pentetik (Diethylenetriaminepentaacetic Acid (DTPA)) menggunakan DTPA (1:3) dilakukan di 42 mL DMF, diaduk 20 Jam, 75°C	Pencucian dengan DMF, Air deionisasi, NaHCO ₃ , Air deionisasi, 95% etanol, aseton Pengeringan dengan Oven, 50 °C					
	Pengecilan ukuran 40 mesh							
Pisang	Pencucian air distilasi	Secara Kimia menggunakan Reaksi adsorben dengan NaOH	Pencucian dengan hingga mencapai pH netral	Serbuk Magnetik	125 hingga 149	8,140	Hidroksil (O-H), CH ₃ , CH ₂ , gugus metoksi (O-CH ₃), Karbonil (C=O), C=C, C-OH, Fe-O	Almeida-Naranjo <i>et al.</i> , 2021
	Pengeringan oven 60 °C, 24 jam							
	Pengecilan ukuran dengan knife mill 125 dan 149 μm	Sintesis magnetik termal (Larutan magnetik (FeCl ₃ •6H ₂ O and FeSO ₄ •7H ₂) dan diaduk 70 °C selama 30 menit.	Pengeringan dengan 80 °C selama 12 jam					

Keterangan

NaOH : Natrium hidroksida

DMF : Dimetilformamida

NaHCO₃ : Natrium Bikarbonat (Soda Kue)

°C : celcius

µm : mikrometer

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (µm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m ² /g)	Gugus fungsional	
Delima	Pencucian Air distilasi ganda	Secara sintesis dengan Active Carbon menggunakan Adsorben komersial	Penghilangan abu dengan Pencucian menggunakan air distilasi	Activated Carbon	-		Fenolik OH, C-H, C-C, C-O	Mohammad <i>et al.</i> , 2015
	Pengeringan Oven, 80°C, semalam	Secara Aktivasi Termal menggunakan Muffle furnace, 500 °C , 1 jam	Pengeringan dengan 110 °C , semalam					
Delima	Pencucian Air distilasi	Saponifikasi menggunakan NaOH (0,05 M), suhu ruang	Pencucian dengan Air distilasi	Serbuk	<250		Fe-OH, C=C,C=O,C-O,C-O-C	Bellahsen <i>et al.</i> , 2021
	Dekolorisasi Pencucian hingga tidak berwarna Pengeringan Oven, 105 °C selama 2 jam	Pemuatan besi menggunakan Besi(III)klorida (FeCl ₃), 0,25 M, suhu ruang	Pengeringan dengan 105 °C selama 8 jam					

Keterangan

NaOH : Natrium hidroksida

DMF : Dimetilformamida

M : Molaritas

°C : celcius
 μm : mikrometer

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m ² /g)	Gugus fungsional	
Delima	Pencucian Air distilasi Pengeringan Oven, 105 °C, 24 jam	Pirolisis menggunakan N ₂ (150 cm ³ /menit), 500 °C selama 1 jam Secara kimia pengadukan KOH dalam microwave oven 105 °C, semalam untuk dehidrasi Aktivasi (CO ₂ gasifikasi) menggunakan vertical tubular reactor, N ₂ & CO ₂ untuk akhir proses Pencucian menggunakan Air distilasi panas dan HCl hingga pH netral	Pengeringan dengan 105 °C selama 12 jam	Karbon Aktif		845,96	O-H, O=C=O, C=C, C=O, C-H(alkane, alkil, aromatik), N-O, C-O dan -C≡C-H, C-Br	Ahmad <i>et al.</i> , 2020
Delima	Pencucian dengan air ultramurni Pengeringan dengan suhu ruang (2 minggu) & oven (60 °C, semalam)	Secara fisik menggunakan Serbuk dicampur air (2 gram : 10 mL) dan dibuat gumpalan kecil		Bola adsorben			C-H, -OH, C=O, C-O-H, C-O, O=C-O	Msaadi <i>et al.</i> , 2022

Pengecilan ukuran
dengan $< 80\mu\text{m}$

Liofilisasi menggunakan suhu
untuk menyublimkan es

Keterangan:

$^{\circ}\text{C}$: celcius
 μm : mikrometer



Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Jeruk (<i>Citrus aurantium</i>)	Pencucian dengan Air Pengeringan dengan 60°C selama 24 jam Pengecilan ukuran dengan Knife-mill Dekolorisasi dengan sentrifugasi dengan air Pengeringan dengan 60°C selama 24 jam	Secara Kimia menggunakan 0,8 M NaOH dan $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$	Pencucian dengan Sentrifugasi bersama dengan air	Serbuk	125 -841		O-H, C-H, COO^- , C=O, C-H, N-H, C-O (Karboksilat)	Castro <i>et al.</i> , 2021
Jeruk	Pencucian dengan Air deionisasi Pengeringan dengan Oven, 40°C , 48 jam Pengecilan ukuran dengan 250-500 μm			Serbuk	250-500	1,73	Hidroksil (OH), Aliphatic(C-H), Ester karbonil (C=O), Karboksilat (COO^-),	Dotto <i>et al.</i> , 2016

Keterangan:

NaOH

:Natrium hidroksida

 $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$

: Kalsium Hidroksida

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Jeruk	Pencucian dengan Air distilasi	Secara Kimia menggunakan Reaksi adsorben dengan NaOH	Pencucian dengan hingga mencapai pH netral	Serbuk Magnetik	125 dan 149	14,282	Hidroksil (O-H), CH_3 , CH_2 , gugus metoksi (O- CH_3), Karbonil (C=O), C=C, C-OH, Fe-O	Almeida-Naranjo <i>et al.</i> , 2021
	Pengeringan dengan Oven 60 °C, 24 jam		Pengeringan dengan 80 °C selama 12 jam					
Lemon	Pengecilan ukuran dengan Knife mill	Secara Sintesis magnetik menggunakan Adsorben limbah ditambahkan ke dalam larutan magnetik dan diaduk 70 °C selama 30 menit.	Pengeringan dengan 80 °C selama 12 jam					
	Pencucian dengan Air distilasi	Secara Kimia menggunakan NaOH 0,1 M, 6 Jam, 30 °C	Pencucian dengan air distilasi hingga pH netral	Serbuk	1250-2000		-OH, -CH, karboksil (C=O), C-O alkil (-CH _n)	Villen-Guzman <i>et al.</i> , 2019
	Pengeringan dengan Oven, 60°C, hingga konstan		Pengeringan dengan oven, 60°C, hingga berat konstan					
Penggilingan dengan 1,25-2 mm								

Keterangan:

NaOH : Natrium Hidroksida

°C : celcius

 μm : mikrometer

mm : milimeter

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Jeruk (Orange)	Pencucian dengan Air distilasi	Secara Kimia menggunakan NaOH 0,02 M	Pencucian dengan Air deionisasi hingga netral (pH 7)	Serbuk	2000(2x2 mm)		O-H, C-O, C-H,	Phuong <i>et al.</i> , 2021
	Pengecilan ukuran dengan 2x2 mm	Ekstraksi senyawa organik terlarut menggunakan Isopropanol	Pengeringan dengan Oven, 80 °C selama 24 jam					
	Pengeringan dengan Oven, 80°C							
Jeruk Mandarin	Pencucian dengan Air distilasi	Karbonisasi & Aktivasi menggunakan 105 °C selama 4 jam dengan H ₂ SO ₄ (1 M)	Pengeringan dengan Oven, 70 °C selama 1 hari	Karbon Aktif	250		O-H, C=C,C-O	Unugul & Nigiz, 2020
	Pengecilan ukuran dengan Oven, 100°C , 24 jam		Penetralkan dengan NaOH (2M)					
	Pengeringan dengan 0,25 mm		Pengeringan dengan Oven, 70 °C selama 2 jam					

Keterangan:

NaOH :Natrium Hidroksida

H₂SO₄ : Asam sulfat

M : Molaritas

°C : celcius

mm : milimeter

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permu-kaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Naga Putih (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	Pencucian dengan Air distilasi rebus Pengeringan dengan 105°C , 24 jam Pengecilan ukuran dengan $500\text{--}850\ \mu\text{m}$	-	-	Serbuk	500–850	-	OH, CH,C=O, - COO,C-O,C- O-C	Jawad <i>et al.</i> , 2018
Naga Putih (<i>Hylocereus undatus</i>)	Pengeringan dengan Oven, 60°C Pengecilan ukuran	-	-	Serbuk	<355	-	O-H, N-H, CHO,C=O, C=C,C-O,C- N	Lim <i>et al.</i> , 2020
Naga (<i>Selenicereus undatus</i>)	Pencucian dengan Air distilasi Pengeringan dengan Matahari ($30\text{--}34^\circ\text{C}$) Pengecilan Ukuran dengan grinder, 100 mesh	-	-	Serbuk	149	-	O-H, C=O, C-O	Abatal <i>et al.</i> , 2022
Naga	Pencucian dengan Air Pengecilan ukuran dengan $0,04\ \text{cm}^2(2000\ \mu\text{m})$	Saponifikasi menggunakan NaOH Pencucian menggunakan air deionisasi sonikasi menggunakan 2-Propanolol	Pencucian dengan Air Pengeringan	Serbuk	2000	-	O-H, C-H, C=O,C=C,, C-H,C-O	Mallampati <i>et al.</i> , 2015

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Salak (<i>Salacca</i>)	-	Karbonisasi menggunakan $500\text{ }^\circ\text{C}$, 1 jam. Kimia menggunakan KOH 20% (4:1 adsorben), 20 jam Pengeringan menggunakan $80\text{ }^\circ\text{C}$, 24 jam Pirolisis (Muffle furnace) menggunakan N_2 , $800\text{ }^\circ\text{C}$, 1 jam	Pencucian hingga pH 7 dengan 0,1 HCl, air distilasi	Activated Carbon	2000-2800	1939	-	Arie <i>et al.</i> , 2016
Semangka (<i>Citrullus Lanatus</i>)	Pencucian dengan Air dan air deionisasi Pengeringan dengan Matahari hingga kering	Kimia menggunakan NaOH (100mL larutan 0,1 N = 0,25M)	Pencucian dengan Air distilasi Pengeringan dengan Oven, $30\text{ }^\circ\text{C}$ hingga kering	Modifikasi serbuk	-	-	Gugus hidroksil, C-O, Fenol, C-N	Latif <i>et al.</i> , 2019
Pepaya (<i>Carica papaya</i>)	Pencucian dengan Air distilasi Pengeringan dengan Oven, $105\text{ }^\circ\text{C}$, 24 jam	Karbonisasi menggunakan $450\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 jam Oksidasi menggunakan Asam fosfat (99%), 48 jam, suhu ruang	Pendinginan dengan Suhu ruang Penetralan pH dengan NaOH	Activated Carbon	255	15,26	Karboksil, hidroksil (OH)	Abbaszadeh <i>et al.</i> , 2016

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Nangka (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	Pencucian dengan air deionisasi Pengeringan dengan Oven, 105°C , 4 jam Pengecilan Ukuran dengan 0,5mm-1 mm	Secara Kimia menggunakan NaOH(1:10), 1 jam	Pencucian dengan air distilasi, hingga pH netral Pengeringan dengan Udara	Serbuk Modifikasi	500 - 1000	-	Hidroksil (O-H), C-H, C-O, Karboksilik (C=O), NH_2	Ranasinghe <i>et al.</i> , 2018
Nangka (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	Pencucian dengan Air, air deionisasi Pengeringan dengan Oven, 105°C , 4 jam Pengecilan Ukuran dengan 0,5mm-1 mm	Secara Kimia menggunakan EDTA (1:10), 1 jam	Pencucian dengan Air Distilasi, hingga pH netral Pengeringan dengan Udara	Serbuk Modifikasi	500-1000	-	Hidroksil (O-H), C-H, C-O, Karboksilik (C=O), NH_2	Ranasinghe <i>et al.</i> , 2018

Keterangan:

NaOH : Natrium Hidroksida

EDTA : Asam etilenadiaminatetraasetat (*Ethylenediaminetetraacetic acid*) $^\circ\text{C}$: celcius

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permu-kaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Nanas (<i>Ananas comosus</i>)	Pencucian dengan Air deionisasi	Penurunan Tekanan menggunakan DIC, 3 bar, 90 detik, 30 mbar secara tiba-tiba	-	Activated Carbon	1000-2000	-	-OH, -COOCH ₃ , COOCH (Karbonil)	Romero-cano <i>et al.</i> , 2017
	Pengecilan ukuran dengan Oven, 105°C Celcius, 24 jam	Modifikasi menggunakan NaOH (0,1 mol/L, 1 jam) dan Asam Sitrat (0,6 mol/L, 2 jam)	-					
Nanas	Pencucian dengan Air deionisasi	-	-	Serbuk natural	250-500	0,75	Hidroksil (OH), Aliphatic(C-H), Ester karbonil (C=O), Karboksilat (COO-),	Dotto <i>et al.</i> , 2016
	Pengeringan dengan Oven, 40°C Celcius, 48 jam	-	-					
Durian (<i>Durio zibethinus</i>)	Pencucian dengan Air	HCl (Asam klorida) (1 M), diaduk 4 jam, suhu ruang	Pencucian dan pengeringan dengan Air deionisasi untuk pencucian dan oven 100°C semalam	Modifikasi serbuk	250 (60 mesh)	-	O-H, C=O (Keton, aldehyd, asetil dan ester), CH, C-C	Adam <i>et al.</i> , 2012
	Pengeringan dengan Oven, 100 °Celcius							

Keterangan:

NaOH : Natrium Hidroksida

DIC : *Controlled Pressure Drop*

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permukaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Kiwi	Pencucian (8 Siklus) dengan Air panas, diaduk 15 menit Pengerinan dengan Berat Konstan Pengecilan ukuran dengan 5 mm x 5 mm	-	-	Serbuk natural	5 mm x 5 mm	-	O-H, C-O	Gubitosa <i>et al.</i> , 2022
Kiwi	Pencucian dengan Air Pengerinan dengan Matahari, 2 minggu Pengecilan Ukuran dengan Partikel kecil	Secara kimia menggunakan asam fosfat, diaduk 5 jam, 85° Celcius Karbonisasi menggunakan 700° Celcius (12°C/menit), 1 jam	Pencucian dengan Air panas, hingga pH 7 Pengerinan dengan Oven 105 °Celcius, 24 jam Penyaringan dengan 0,15-0,85	Karbon aktif	-	306,18	Hidroksil (O-H), C=O, Ikatan 32hydrogen (P=O, O-C, P-O-C, P=OOH), P-O-P, P-O	Rahimnejad <i>et al.</i> , 2018
Kesemek (<i>Diospyros spp.</i>)	Pencucian dengan Air distilasi Pengerinan dengan Oven, 60°C Pengecilan ukuran dengan 0,355 – 1 μm	Pirolisis menggunakan N ₂ (Nitrogen) (10 °Celcius/ menit), 1 jam, Protherm furnace,	-	Arang (biochar)	0,355 – 1	22,4	O-H, C=O, C=C-O (ester dan keton), C-O-C, alcohol –OH (Selulosa dan hemiselulosa)	Ates & Oymak, 2020

Lanjutan Tabel 4. Proses Tahapan Sintesis dan Modifikasi Adsorben

Buah	Perlakuan awal	Modifikasi	Perlakuan Akhir	Bentuk Adsorben	Ukuran Partikel (μm)	Karakteristik Adsorben		Referensi
						Luas Permu- kaan (m^2/g)	Gugus fungsional	
Kawista (<i>Limonia acidissima</i>)	Pencucian dengan air distilasi Pengeringan dengan suhu ruang Pengecilan ukuran dengan grinder Dekolorisasi Pengeringan dengan 383 K, 24 jam	-	-	Serbuk Natural	355 (BSS 44)	-	OH, C-H, C=O, C=C, C-C, C-H	Sartape <i>et al.</i> , 2017
Matamba (<i>Strychnos spinosa</i>)	Pengeringan dengan Matahari, oven 105 °C selama 2 jam Pengecilan ukuran dengan Grinder	Pirolisis dengan 600 °C selama 2 jam.	Pencucian dengan Reverse Osmosis hingga netral, 12 jam	Arang (biochar)	250–1000	-	-	Obey <i>et al.</i> , 2022
Sawo manila	Pencucian dengan Air Pengeringan dengan Oven, 55°C Pengecilan ukuran dengan Grinder	-	-	Serbuk Natural	-	-	-	Patil <i>et al.</i> , 2021

Keterangan:

BSS : Brass

K : Kelvin

°C : Celcius

Tahapan dalam proses pembuatan adsorben terdiri dari perlakuan awal, modifikasi, dan perlakuan akhir. Secara umum, perlakuan awal terdiri dari proses pencucian untuk menghilangkan bahan pengotor, diikuti dengan proses pengeringan. Proses pencucian pada Tabel 4., menggunakan air deionisasi, air distilasi hingga air ultramurni. Sedangkan proses pengeringan dilakukan pada suhu yang beragam dari suhu 40-120°C. Suhu yang paling banyak digunakan berada di rentang 105°C. Panjang waktu yang digunakan dalam proses pengeringan pada umumnya semakin kecil suhu yang digunakan, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan.

Perlakuan awal beberapa adsorben melibatkan proses pengecilan ukuran dan dekolorisasi (penghilangan pewarna alami) pada kulit adsorben. Beberapa modifikasi dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi adsorben. Berbagai proses yang dilakukan dalam sintesis dan modifikasi adsorben pada Tabel 4., mayoritas diantaranya menggunakan senyawa basa dan asam. Senyawa basa yang digunakan diantaranya NaOH, KOH, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$. Senyawa asam menggunakan larutan seperti HCl, H_2SO_4 , asam sitrat, asam pentetik (DTPA), asam fosfat (H_3PO_4), asam etilenadiaminatetraasetat (EDTA) Proses lain yang digunakan yaitu pembentukan arang atau karbon aktif secara termal (pirolisis dan karbonisasi) menggunakan *muffle furnace*, *vertical tubular reactor*. Modifikasi lain yang dilakukan yaitu penyisipan muatan ion besi sebagai senyawa magnetik seperti Besi(III)klorida (FeCl_3) atau FeSO_4 yang dilarutkan ke dalam air (Almeida-Naranjo *et al.*, 2021; Bellahsen *et al.*, 2021).), dan juga liofilisasi, tekanan, sonikasi. Proses ekstraksi dapat menggunakan isopropanol sebagai pelarut (Phuong *et al.*, 2021).

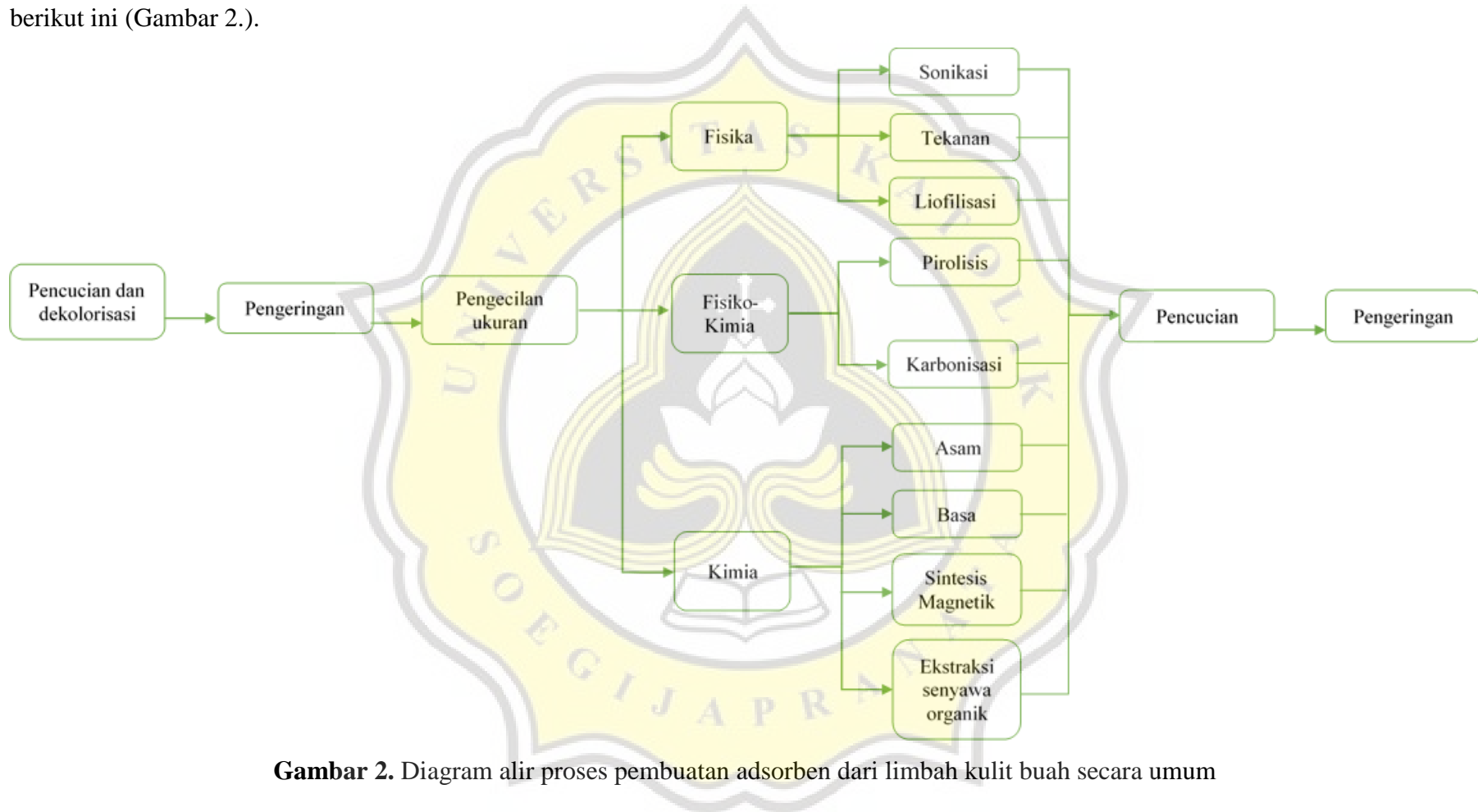
Adsorben yang ditambahkan proses modifikasi pada permukaan dan struktur kimianya, dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan adsorpsi sebuah polutan (Gerola *et al.*, 2013). Transformasi pada permukaan adsorben biasanya dilihat melalui luas permukaan area atau S_{BET} , sedangkan perubahan pada struktur kimia dilihat menggunakan alat FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) dengan melihat perubahan puncak grafik gugus fungsinya. Gugus fungsi pada Tabel 4. yang paling sering ditemukan diantaranya gugus hidroksil (O-H) dan gugus

karbonil (C-O, C=O (ester karbonil)). Gugus lain yang dapat ditemukan yaitu C=C, N-H, NH₂, C-H, C-N, C-O-H, dan gugus COO⁻. Gugus COO⁻ ditemukan bersama dengan adsorben yang diberi perlakuan NaOH. Gugus fungsi tertentu sudah ditemukan secara alami, namun beberapa gugus fungsi tertentu akan diaktifkan atau ditingkatkan dengan adanya modifikasi, seperti Fe-OH yang muncul karena adanya penambahan FeCl₃.

Proses modifikasi memengaruhi luas permukaan adsorben. Secara umum, limbah yang diproses dengan proses dasar atau tahapan awal saja memiliki luas permukaan yang lebih kecil pada adsorben yang menggunakan modifikasi kimia, fisiko-kimia. Kombinasi proses modifikasi terlihat efektif dalam meningkatkan luas permukaan. Kulit buah tanpa proses modifikasi memiliki rentang 0,87-1,73 m²/g, sedangkan yang menggunakan senyawa kimia (NaOH, magnetik) ditemukan sebesar 8,140 dan 14,282 m²/g. Kemudian, limbah yang diberi perlakuan fisiko-kimia memiliki kisaran luas permukaan 15,26-1939 m²/g. Semakin tinggi luas permukaan yang diperoleh, maka ditemukan semakin banyak tahapan modifikasi yang digunakan dan proses panas yang digunakan.

Jika dilihat melalui bahan adsorben, data yang dapat dibandingkan adalah kulit jeruk dan pisang. Adsorben kulit jeruk dan pisang yang memiliki ukuran partikel lebih kecil, memiliki luas adsorben yang semakin besar. Adsorben yang diberi perlakuan NaOH memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan jeruk tanpa perlakuan dan pisang dengan impregnasi besi magnetik dan NaOH. Penelitian dengan impregnasi besi magnetik dan NaOH membandingkan 2 buah, yaitu jeruk dan pisang, diketahui luas permukaan lebih tinggi pada jeruk. Selain itu, jeruk memiliki luas permukaan tertinggi jika dibandingkan dengan limbah buah lain seperti markisa dan nanas yang sama-sama tidak diberi perlakuan kimia, fisiko-kimia, ataupun fisik. Jeruk dalam penggunaannya secara tidak langsung, dalam kajian pustaka ini memiliki luas permukaan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan bahan lain dengan perlakuan yang hampir sama.

Secara umum, proses pembuatan dan modifikasi adsorben berbasis limbah kulit buah kajian pustaka ini dapat dirangkum dalam diagram alir berikut ini (Gambar 2.).



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan adsorben dari limbah kulit buah secara umum

IV.2. Kondisi Aplikasi dan Kemampuan Adsorpsi Kulit Buah

Setiap adsorben memiliki kondisi aplikasi yang optimal dalam proses aplikasinya. Kondisi aplikasi tertentu pada proses adsorpsi dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi yang diperoleh. Proses adsorpsi pada adsorbat yang satu dengan yang lain oleh jenis buah yang sama dapat memiliki kondisi optimal yang berbeda pula. Adsorben dari limbah buah dikelompokkan sesuai dengan polutan yang diadsorpsi. Polutan dibagi menjadi 3, yaitu polutan logam, polutan pewarna, dan polutan lain (antibiotik, insektisida, dan lain sebagainya). Dalam hasil data yang diperoleh pada Tabel 6.,7.,dan 8., terdapat 3 polutan dengan jumlah data yang terbanyak, diantaranya yaitu *methylene blue*, timbal, serta nikel. Polutan-polutan tersebut dibahas lebih lanjut dengan menggunakan grafik pada poin 4.2.1 hingga 4.2.3.

Tabel 6.,7.,8., memuat pH, konsentrasi adsorben dan adsorbat, waktu kontak, suhu, ukuran partikel, q_{max} , model adsorpsi, dan efisiensi adsorpsi dari berbagai adsorben. Satuan untuk jumlah dosis adsorben dan adsorbat telah disamakan yaitu dalam milligram per liter (mg/L). Untuk satuan di suhu, telah disamakan dalam satuan °C (Celcius).

a. Polutan Logam

Dapat dilihat pada Tabel 5., kondisi aplikasi adsorben diuraikan dan dikelompokkan berdasarkan polutan yang diserap dan dijabarkan dengan memaparkan nilai rentang kondisi aplikasi adsorben terhadap polutannya. Logam yang terdapat dalam Tabel 5. diantaranya kadmium (Cd^{2+}), nikel (Ni^{2+}), seng (Zn^{2+}), tembaga (Cu^{2+}) dan timbal (Pb^{2+}).

Tabel 5. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Logam Berat menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi					Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi	
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)			Model Adsorpsi
Cd ²⁺	Jeruk Bali	Serbuk Murni	5,5	2000	10	100	29,85		13,35	Langmuir	87	Dinh <i>et al.</i> , 2020
Ni ²⁺	Markisa	Serbuk natural	6	2000	100	-	25		60,7	Langmuir	56,4	Dotto <i>et al.</i> , 2016
Ni ²⁺	Jeruk	Serbuk natural	6	2000	100	-	25		63,1	Langmuir	76	Dotto <i>et al.</i> , 2016
Ni ²⁺	Lemon	Modifikasi NaOH	5	5000	100	180	25	1250-2000	36,74	Langmuir	±99	Villen-Guzman <i>et al.</i> , 2019
Ni ²⁺	Pisang	Sintesis Modifikasi DTPA	6	1000	50	<5	25	400	29,240	Langmuir	37,26%	Wang <i>et al.</i> , 2021
Ni ²⁺	Nangka	Serbuk Modifikasi NaOH	5-6	1000	20	60	25		37,04	Langmuir	>80%	Ranasinghe <i>et al.</i> , 2018
Ni ²⁺	Nangka	Serbuk Modifikasi EDTA	5-6	1000	20	60	25		41,67	Langmuir	>80%	Ranasinghe <i>et al.</i> , 2018
Ni ²⁺	Naga Merah	Serbuk Murni	5,5	10000	100	1440	25	149	5,32	Langmuir	24	Abatal <i>et al.</i> , 2022
Ni ²⁺	Nanas	Serbuk natural	6	2000	50-300	-	25		48,1	Langmuir	52,6	Dotto <i>et al.</i> , 2016
Ni ²⁺	Hamime Ion	Modifikasi NaOH	7	10000	100	60	25		9,45		>95%	Mallampati <i>et al.</i> , 2015

Lanjutan Tabel 5. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Logam Berat menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi					Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi	
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)			Model Adsorpsi
Ni ²⁺	Alpukat	Modifikasi NaOH	7	10000	100	60	25		4,93		Mallampati <i>et al.</i> , 2015	
Zn ²⁺	Markisa Konyal	Modifikasi NaOH dan Ca(CH ₃ COOH) ₂	5	1000	50	120		125 - 841	16,61		Castro <i>et al.</i> , 2021	
Zn ²⁺	Jeruk	Modifikasi NaOH dan Ca(CH ₃ COOH) ₂	5	1000	50	120		125 - 841	27,48		Castro <i>et al.</i> , 2022	
Zn ²⁺	Pisang	Modifikasi NaOH dan Ca(CH ₃ COOH) ₂	5	1000	50	120		125 - 841	25,59		Castro <i>et al.</i> , 2021	
Cu ²⁺	Nanas	Activated Carbon & DIC, NaOH +Asam sitrat	5	10000	1200	40	25	1000-2000	64,33	Langmuir	95	Romero-cano <i>et al.</i> , 2017

Lanjutan Tabel 5. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Logam Berat menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi					Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi	
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)			Model Adsorpsi
Cu ²⁺	Lemon	Serbuk natural	8	2000	10	120		1000	8,24	Langmuir	78	Mohammed & Ibrahim, 2016
Cu ²⁺	Pisang	Serbuk natural	8	1000	10	120		1000	7,65	Langmuir	65	Mohammed & Ibrahim, 2016
Cu ²⁺	Semangka	Serbuk natural	8	1000	10	120		1000	9,54	Langmuir	90	Mohammed & Ibrahim, 2016
Pb ²⁺	Sawo Manila	Serbuk natural	5,5	4000	50	180	60	150-250			±85.92	Patil <i>et al.</i> , 2021
Pb ²⁺	Jeruk Bali	Serbuk Murni	5,5	2000	50	120	29,85		47,18	Langmuir	90	Dinh <i>et al.</i> , 2020
Pb ²⁺	Markisa	Serbuk Murni	5	10000	700	170		300 (48 mesh)	85,68		82,70	Gerola <i>et al.</i> , 2013
Pb ²⁺	Markisa	Serbuk modifikasi dengan NaOH	5	10000	700	170		300 (48 mesh)	112		97,99	Gerola <i>et al.</i> , 2013

Lanjutan Tabel 5. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Logam Berat menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi					Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi	
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)			Model Adsorpsi
Pb ²⁺	Markisa	Serbuk modifikasi dengan NaOH+Asam Sitrat	5	10000	700	170		300 (48 mesh)	204,8		93,21	Gerola <i>et al.</i> , 2013
Pb ²⁺	Pisang	Arang (biochar)	7	250	200	180	25	Satuan hingga puluhan	193	Langmuir	>90%	Zhou <i>et al.</i> , 2017
Pb ²⁺	Hamime Ion	Modifikasi NaOH	7	10000	100	60	25		7,89		>95%	Mallampati <i>et al.</i> , 2015
Pb ²⁺	Alpukat	Modifikasi NaOH	7	10000	100	60	25		9,82		>95%	Mallampati <i>et al.</i> , 2015
Pb ²⁺	Kiwi	Modifikasi Arang Asam Fosfat	6	600	1	90	20		0,158		±96	Rahimneja <i>d et al.</i> , 2018
Pb ²⁺	Pepaya	Activated carbon	5	5000	200	120	25	355	38,31	Langmuir	93,2	Abbaszadeh <i>et al.</i> , 2016

Keterangan:

µm : micrometer

mm :milimeter

ppm :Part per Million

°C :Celcius

NaOH :Natrium Hidroksida

H₂SO₄ : Asam Sulfat

Secara umum, efisiensi yang diperoleh oleh adsorben dalam Tabel 5. terhadap polutan logam memiliki rentang antara 99%- 24%. Rentang yang lebih rendah biasanya ditemukan pada adsorben yang tanpa diberikan modifikasi, ataupun bentuk modifikasi yang masih tergolong jarang, dan banyak ditemukan dalam kemampuan menyerap polutan nikel.

Polutan kadmium (Cd^{2+}) tidak memiliki data pembanding. Pada pH 5,5, konsentrasi adsorben yang digunakan 2000 mg/L, adsorbat 10 mg/L, Waktu kontak 100 menit, suhu yang digunakan 29,85, nilai q_{max} sebesar 13,35 dengan menggunakan model Langmuir, efisiensi 87%. Polutan nikel memiliki pH 5-7, dengan dosis adsorben yang digunakan 2000-10000 mg/L, dosis adsorbat yang digunakan 20-300 mg/L, rentang waktu kontak 5-1440 menit. Untuk hasil kapasitas maksimum yang diperoleh berdasarkan nilai Q_{max} Langmuir dan uji aktual yaitu 4,9– 63,1 mg/g. Efisiensi yang diperoleh berkisar antara 24-99%. Efisiensi terendah pada adsorben dari kulit buah naga merah murni, sedangkan efisiensi tertinggi pada adsorben lemon modifikasi NaOH. Nilai kapasitas adsorpsi terendah berasal dari data adsorben naga merah murni, sedangkan kapasitas tertinggi diperoleh pada kulit jeruk serbuk natural.

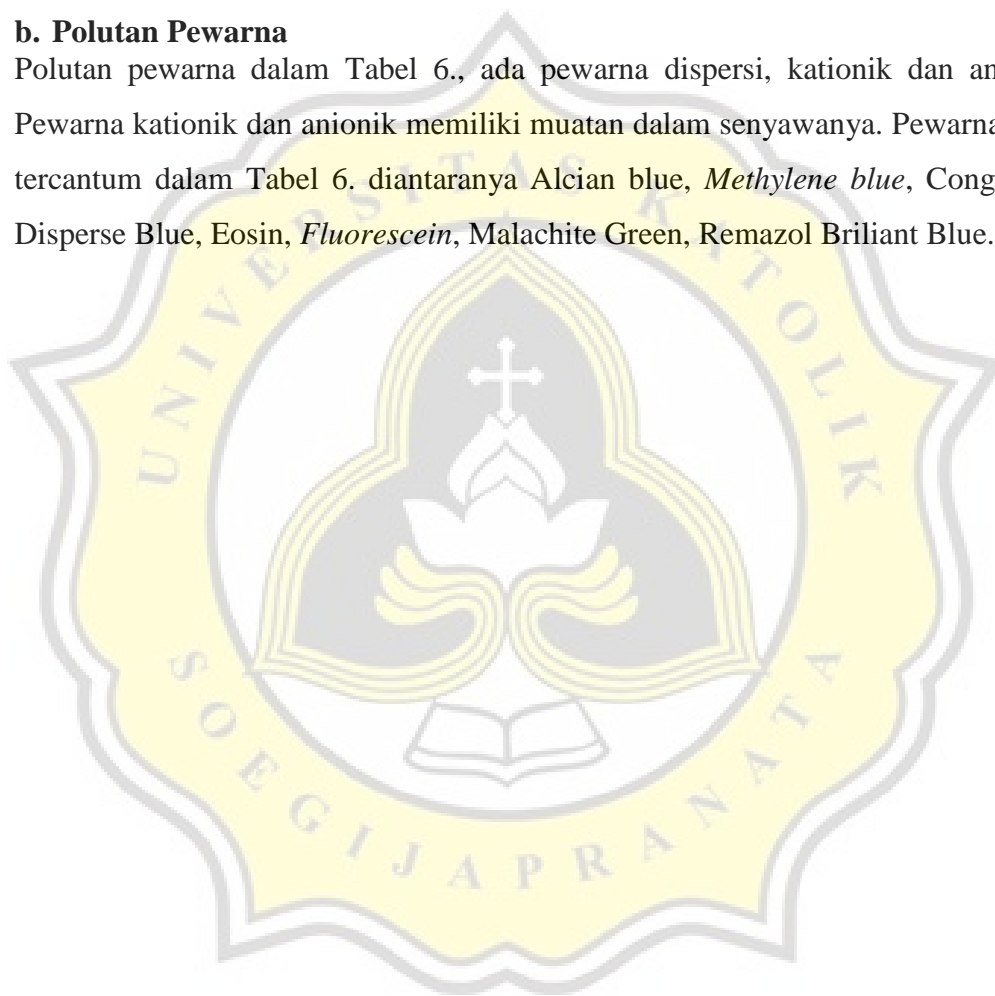
Polutan seng (Zn^{2+}) memiliki kapasitas adsorpsi paling tinggi pada adsorben kulit jeruk dengan modifikasi NaOH, yaitu sebesar 27,48 mg/g dengan efisiensi 97,13. Polutan oksamil memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar pada adsorben kulit delima (17,84,22 mg/g), namun efisiensi yang lebih tinggi ada pada adsorben dengan kulit pisang 95,8%.

Polutan tembaga (Cu^{2+}) dalam Tabel 5., diadsorpsi dengan menggunakan adsorben nanas, lemon, pisang dan semangka. Adsorben nanas dibandingkan adsorben lain seperti lemon, pisang, dan semangka memiliki kapasitas adsorpsi yang paling besar yaitu 64,3 mg/g dan efisiensi 95%. Hal ini memungkinkan terjadi karena pH yang digunakan lebih rendah yaitu 5 jika dibandingkan dengan adsorben lain, dan jumlah adsorbat yang lebih banyak yaitu 1200 mg/L. Adsorben lemon, pisang dan semangka menggunakan pH 8 dan dosis adsorbat 10 mg/L.

Polutan timbal (Pb^{2+}) memiliki rentang pH 5-7, dengan dosis adsorben yang digunakan 4000-10000 mg/L, dosis adsorbent yang digunakan 50-700 mg/L, rentang waktu kontak 60-180 menit. Untuk hasil kapasitas maksimum yang diperoleh berdasarkan nilai Q_{max} Langmuir dan uji aktual yaitu 0,158 – 204,8 mg/g. Efisiensi yang diperoleh berkisar antara 82,70-97,99%.

b. Polutan Pewarna

Polutan pewarna dalam Tabel 6., ada pewarna dispersi, kationik dan anionik. Pewarna kationik dan anionik memiliki muatan dalam senyawanya. Pewarna yang tercantum dalam Tabel 6. diantaranya Alcian blue, *Methylene blue*, Congo red, Disperse Blue, Eosin, *Fluorescein*, Malachite Green, Remazol Brilliant Blue.



Tabel 6. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Pewarna Menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi					Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi	
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)			Model Adsorpsi
Alcian Blue	Naga	Modifikasi NaOH	7	10000	20	60	25		71,85		Mallampati <i>et al.</i> , 2015	
Congo Red	Naga Putih	Serbuk murni	5,2	2000	100	180		<355	59,3	Langmuir	Lim <i>et al.</i> , 2020	
<i>Disperse Blue</i>	Durian	Modifikasi Serbuk	9	1000	50	60	30		54,6	Langmuir	97	Adam <i>et al.</i> , 2012
Eosin	Semangka	Modifikasi Serbuk NaOH	2	2000	50	25	29,85		14,613		79,31	Latif <i>et al.</i> , 2019
<i>Fluorescein</i>	Semangka	Modifikasi Serbuk NaOH	2	4000	50	20	49,85		20,545		78,2	Latif <i>et al.</i> , 2019
Iodin	Matamba	Arang (biochar)	7,5	10200	0,1mol/L	30	20	250–1000				Obey <i>et al.</i> , 2022
Malachite Green	Kawista	Serbuk murni	7,5-9	400	100	210	-	355 (BSS 44)	34,56	Langmuir	98,87	Sartape <i>et al.</i> , 2017
<i>Methylene blue</i>	Delima	Bola Liofilisasi	7	2500	40	120	28		15,8	Aktual	98,8	Msaadi <i>et al.</i> , 2022
<i>Methylene blue</i>	Naga	Modifikasi NaOH	7	10000	20	60	25		62,58		>95%	Mallampati <i>et al.</i> , 2015
<i>Methylene blue</i>	Kesemek	Arang (biochar)	7	2000	50	180	25		303	Langmuir	96,5	Ates & Oymak, 2020
<i>Methylene blue</i>	Jeruk (Orange)	Modifikasi adsorben	5	10000	200	-	30	2x2 mm	294	Langmuir	97%	Phuong <i>et al.</i> , 2021

Lanjutan Tabel 6. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Pewarna Menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi					Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi	
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)			Model Adsorpsi
<i>Methylene blue</i>	Jeruk Mandarin	Modifikasi Karbon H ₂ SO ₄	6,9	5000	5 mg/L	180	25		196,08	Langmuir	99,77	Unugul & Nigiz, 2020
<i>Methylene blue</i>	Delima	Modification Activated carbon		1000		1440	29,85		250	Langmuir	84,40	Ahmad <i>et al.</i> , 2021
<i>Methylene blue</i>	Naga Putih	Serbuk murni	5	600	100	120	29,85	500–850	192,31	Langmuir	±81	Jawad <i>et al.</i> , 2018
<i>Methylene blue</i>	Salak	Activated carbon	6	400	10-50 ppm		25		6,674			Arie <i>et al.</i> , 2016
Remazol Brilliant Blue R	Delima	Modification Activated carbon		1000	25	1440	30				81,35	Ahmad <i>et al.</i> , 2020

Keterangan:

µm : micrometer
 mm :milimeter
 ppm :*Part per Million*
 °C :Celcius
 BSS :Brass
 NaOH :Natrium Hidroksida
 H₂SO₄ : Asam Sulfat

Polutan pewarna yang terdapat pada Tabel 6., memiliki rentang pH dari 2-9. pH 2 merupakan kondisi aplikasi yang dimiliki saat adsorpsi polutan eosin dan *fluorescein*. Sedangkan pH 9 ditemukan pada adsorpsi polutan pewarna disperse blue dan malachite green. Polutan pewarna yang banyak dalam data Tabel 6. adalah *methylene blue* memiliki pH 5-7, dengan dosis adsorben yang digunakan 600-10000 mg/L, dosis adsorbat yang digunakan 20-200 mg/L, rentang waktu kontak 60-1440 menit. Untuk hasil kapasitas maksimum yang diperoleh berdasarkan nilai Q_{max} Langmuir dan uji aktual yaitu 6,674 – 294 mg/g. Efisiensi yang diperoleh berkisar antara 84,4-99,7%.

c. Polutan Lainnya

Polutan lain seperti iodin, kafein dan $(PO_4)^{3-}$ tidak memiliki adsorben pembanding, sehingga untuk kondisi aplikasi, kapasitas maksimum dan efisiensi adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 7. Model adsorpsi yang digunakan dalam menentukan nilai q_{max} pada polutan oksamil menggunakan D-R isotherm model, sedangkan yang lainnya menggunakan Langmuir. Nilai q_{max} pada D-R isotherm model terlihat lebih besar jika dibandingkan dengan model Langmuir.

Tabel 7. Kondisi Aplikasi dan Efisiensi Adsorpsi Polutan Lain Menggunakan Kulit Buah

Polutan	Limbah Buah	Modifikasi Adsorben	Proses Adsorpsi						Kapasitas Adsorpsi		Efisiensi adsorpsi (%)	Referensi
			pH	Konsentrasi adsorben (mg/L)	Konsentrasi Adsorbat (ppm)	Waktu kontak (menit)	Suhu (°C)	Ukuran partikel (µm)	Qmax (mg/g)	Model Adsorpsi		
(PO ₄) ³⁻	Delima	Modifikasi Serbuk dengan muatan Besi	9	3000	40	60	25	<250	49,12	Langmuir	90	Bellahsen <i>et al</i> , 2021
Kafein	Pisang	Magnetik adsorben	6,9	5500	30	60	22,7	-	11,67	Langmuir	85,9	Almeida-Naranjo <i>et al</i> , 2021
Oksamil	Pisang	Sintesis Activated carbon	6,7	1000	500	180	25		1769,9	D-R isotherm model	95,8	Mohammad <i>et al</i> , 2014
Oksamil	Delima	Sintesis Activated carbon	6,7	1000	500	180	25		1784,2 2	D-R isotherm model	88,18	Mohammad <i>et al</i> , 2014
Propanolo 1	Kiwi	Serbuk Murni	5,5	3333	10	50	24,8 5		2		50	Gubitosa <i>et al</i> , 2022

Keterangan

µm

: micrometer

ppm

: Part per Million

°C

: celcius

D-R isotherm model

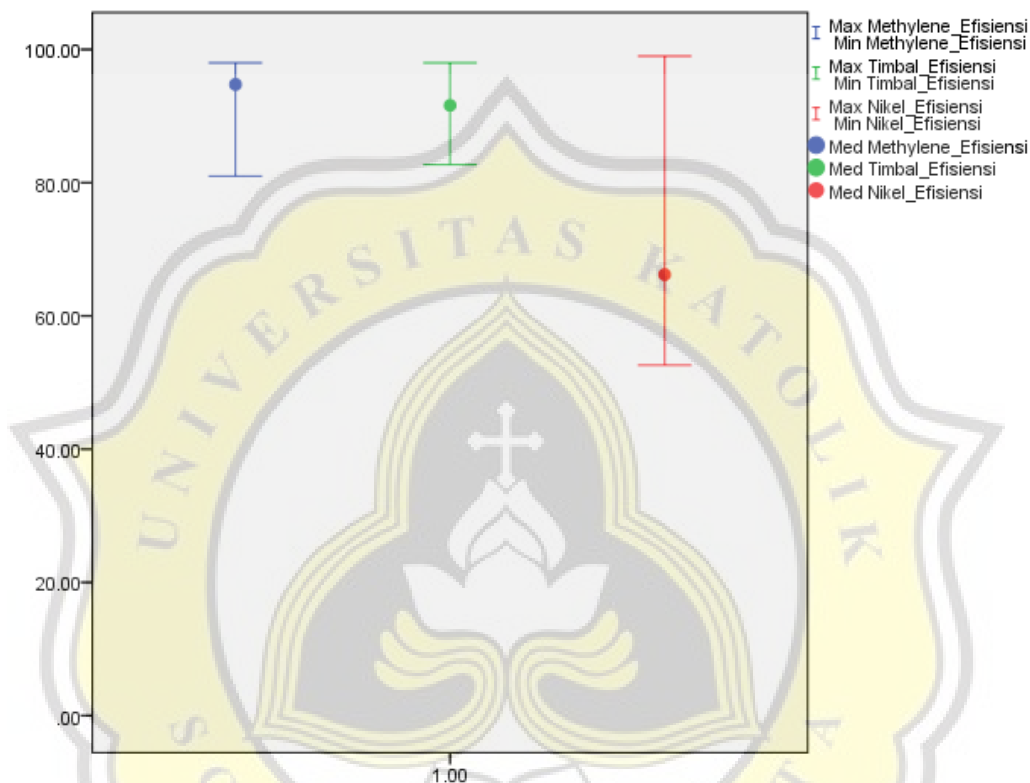
: Dubinin-Radushkevich Isotherm Model

PO₄³⁻

: Fosfat

IV.2.1. Efisiensi adsorben dalam proses adsorpsi

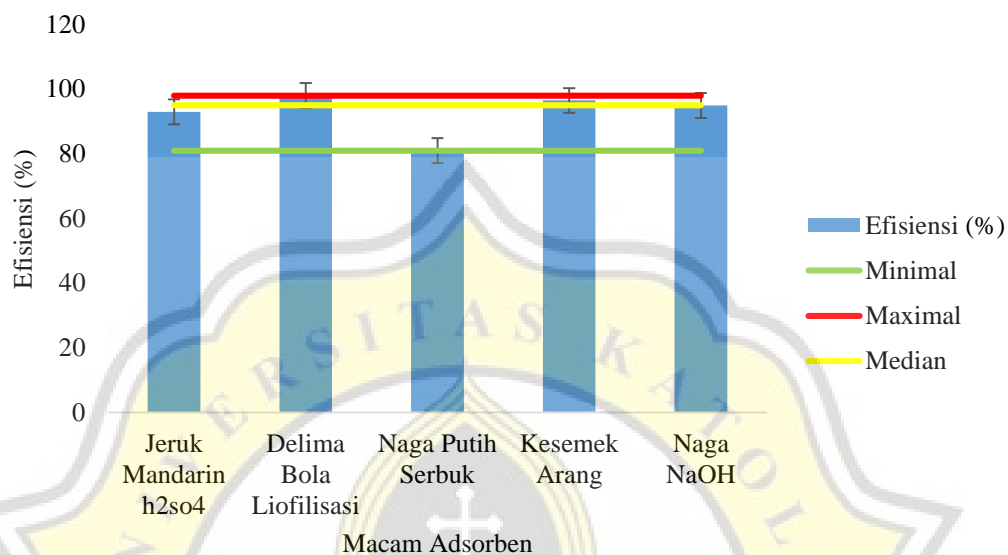
Data kondisi aplikasi dan efisiensi yang telah di sajikan pada Tabel 5-7., memiliki 3 kontaminan utama diantaranya *methylene blue*, timbal dan nikel. Rentang efisiensi proses adsorpsi polutan utama tersebut oleh berbagai adsorben dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan efisiensi proses adsorpsi pada 3 kontaminan utama

Efisiensi proses adsorpsi nikel memiliki rentang yang paling besar, jika dibandingkan dengan rentang efisiensi proses adsorpsi *methylene blue* dan timbal. Efisiensi adsorpsi timbal memiliki rentang yang paling kecil. Nilai median dari proses adsorpsi *methylene blue*, timbal dan nikel berada di antara nilai tertinggi dan terendah. Nilai median pada *methylene blue* lebih cenderung ke arah nilai maksimal, sedangkan pada timbal lebih cenderung ke arah nilai minimal.

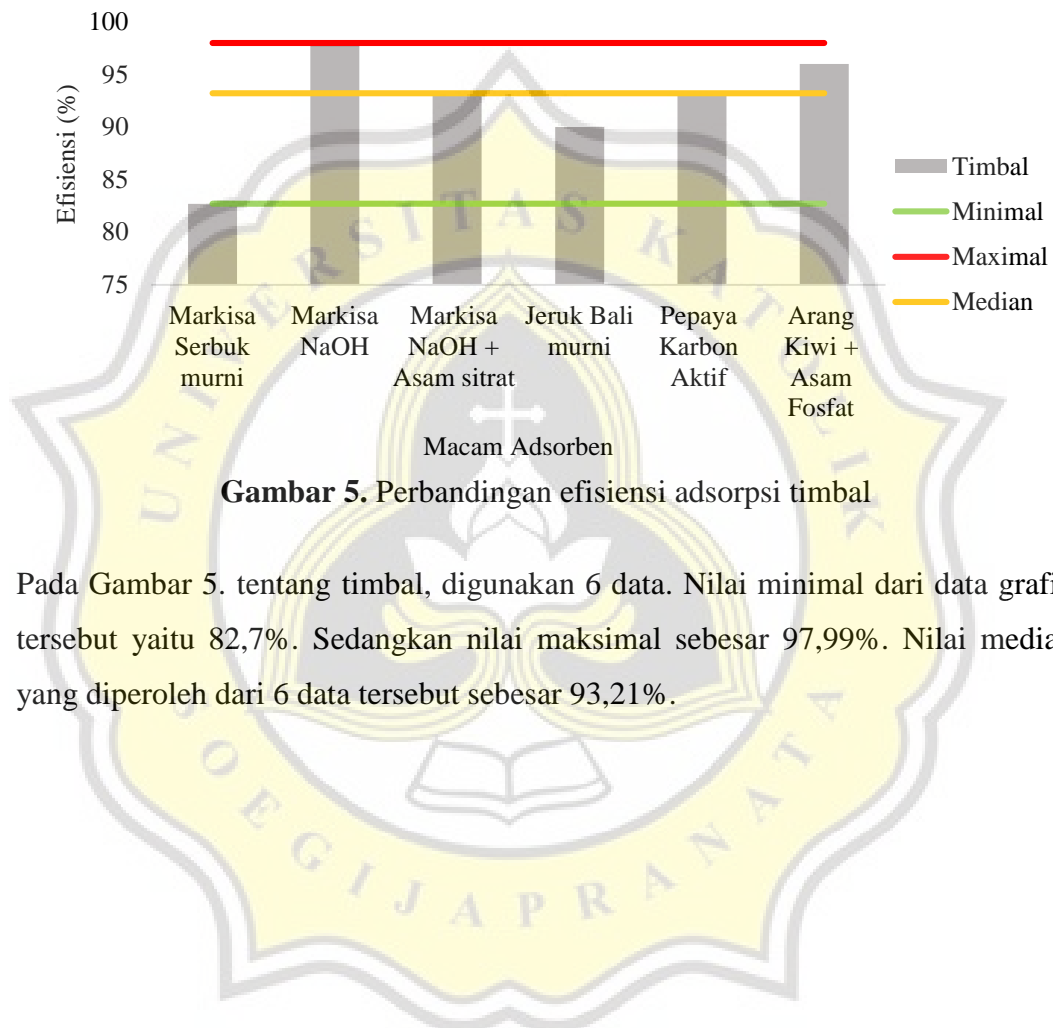
Efisiensi proses adsorpsi *methylene blue* oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 4. Dalam Gambar 4., ditampilkan juga nilai minimum, nilai maksimum dan nilai median.



Gambar 4. Perbandingan efisiensi adsorpsi *methylene blue*

Pada grafik *methylene blue* digunakan 4 data yang dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai minimal dari data grafik tersebut yaitu 81% oleh adsorben naga putih serbuk. Nilai maksimal sebesar 98% terdapat pada adsorben delima bola liofilisasi. Nilai median yang diperoleh sebesar 94,75%.

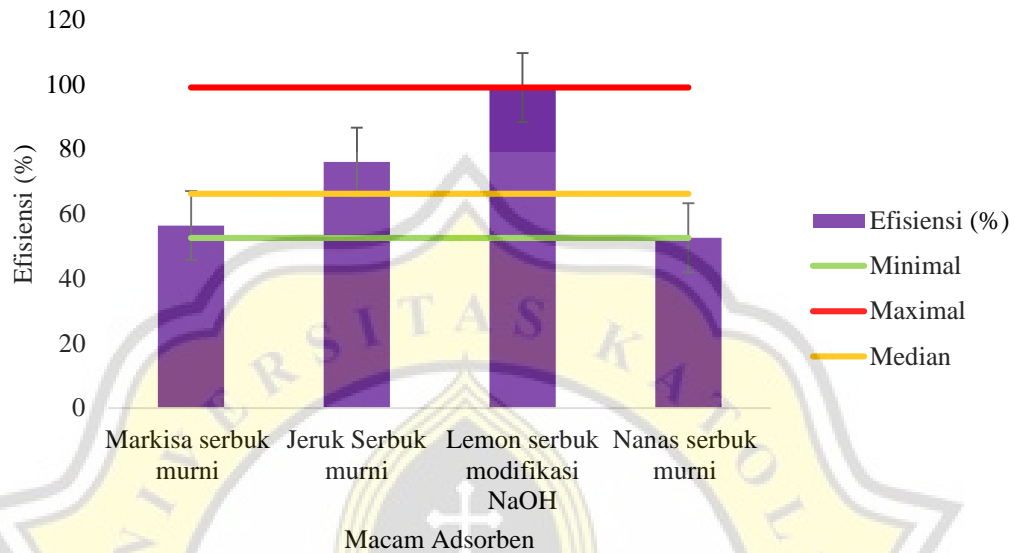
Efisiensi proses adsorpsi timbal oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 5. Dalam Gambar 5., ditampilkan juga nilai minimum, nilai maksimum dan nilai median.



Gambar 5. Perbandingan efisiensi adsorpsi timbal

Pada Gambar 5. tentang timbal, digunakan 6 data. Nilai minimal dari data grafik tersebut yaitu 82,7%. Sedangkan nilai maksimal sebesar 97,99%. Nilai median yang diperoleh dari 6 data tersebut sebesar 93,21%.

Efisiensi proses adsorpsi nikel oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 6. Dalam Gambar 6., ditampilkan juga nilai minimum, nilai maksimum dan nilai median.



Gambar 6. Perbandingan efisiensi adsorpsi nikel

Pada Gambar 6., perbandingan efisiensi adsorpsi nikel menggunakan 4 data. Nilai minimal dari data grafik tersebut yaitu 52,6%. Sedangkan nilai maksimal sebesar 99%. Nilai median yang diperoleh dari 4 data tersebut sebesar 66,20%.

IV.2.2. Perbandingan pH aplikasi dalam proses adsorpsi

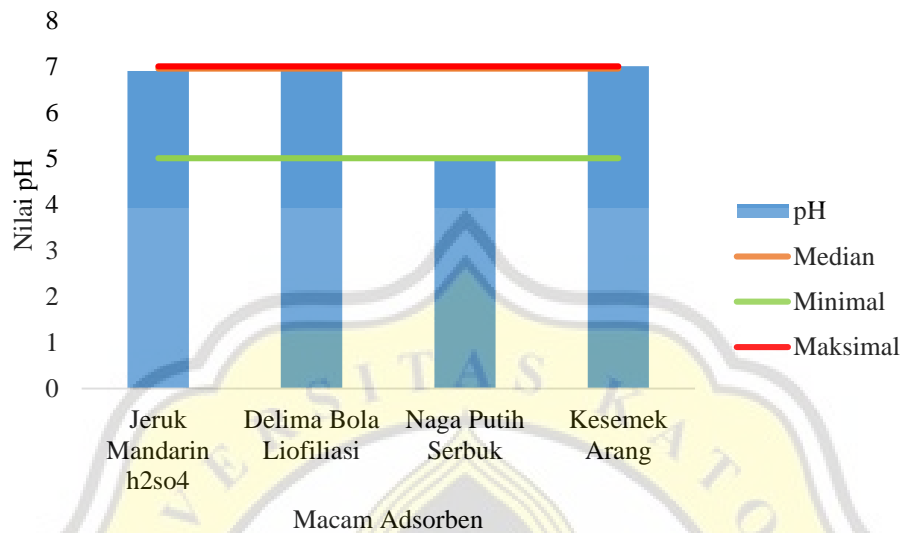
Pada Gambar 7., terdapat grafik menggambarkan nilai minimal, maksimal dan median dari kondisi pH aplikasi saat proses adsorpsi 3 kontaminan diantaranya *methylene blue*, nikel, dan timbal.



Gambar 7. pH aplikasi proses adsorpsi untuk 3 kontaminan utama

Rentang pH aplikasi yang digunakan dalam proses adsorpsi polutan nikel memiliki rentang pH yang paling kecil yaitu pH 5-6. Rentang pH pada proses adsorpsi *methylene blue* dan timbal memiliki rentang yang sama yaitu pH 5-7. Nilai median pH yang ditemukan dalam proses adsorpsi *methylene blue* dan nikel berada pada nilai tertinggi (puncak rentang). Nilai median pada proses adsorpsi timbal berada diantara nilai tertinggi dan terendah.

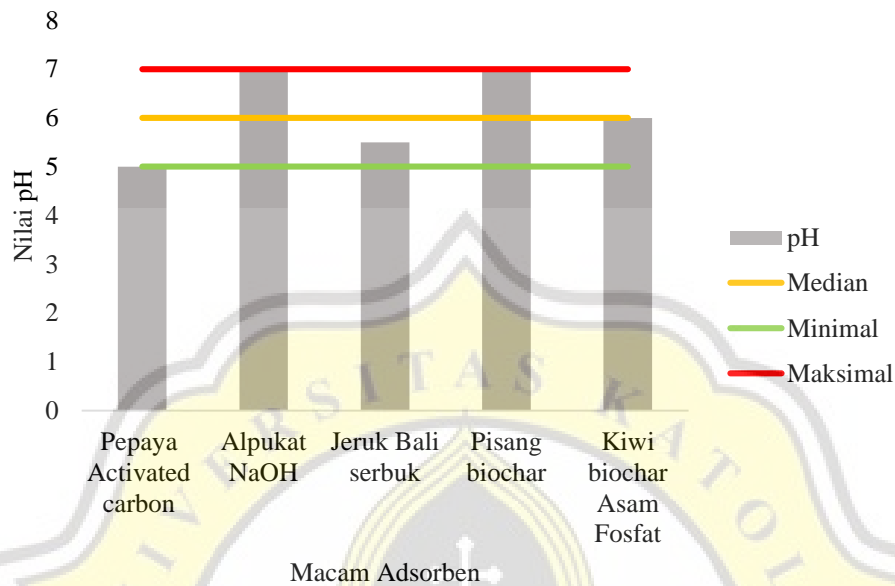
pH proses adsorpsi *methylene blue* oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan pH aplikasi proses adsorpsi *methylene blue*

Jumlah data yang digunakan untuk membuat grafik pH aplikasi proses adsorpsi *methylene blue* pada Gambar 8., sebanyak 4 data. Nilai minimal dari data grafik *methylene blue* tersebut pada pH 5. Nilai maksimal berada pada pH 7. Nilai median yang diperoleh dari data tersebut yaitu pH 6,95.

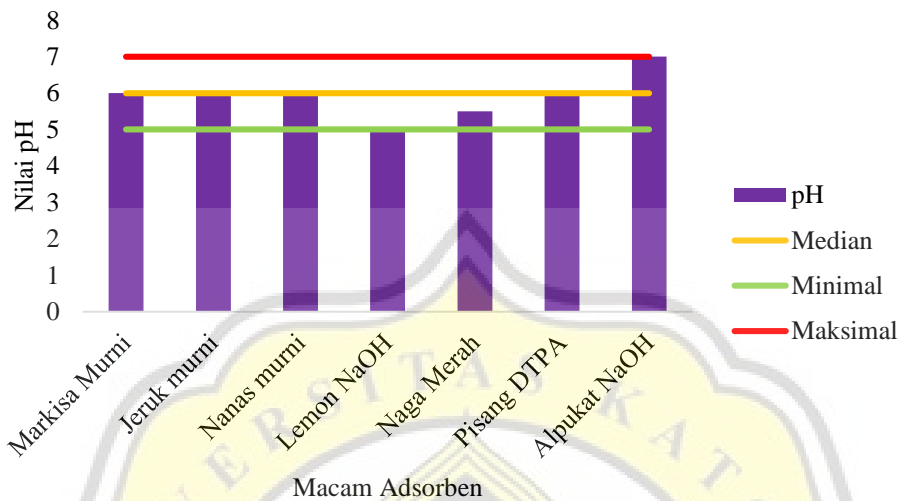
pH aplikasi yang optimal dalam proses adsorpsi timbal oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan pH aplikasi proses adsorpsi timbal

Jumlah data yang digunakan untuk membuat grafik pH aplikasi proses adsorpsi timbal pada Gambar 9., sebanyak 5 data. Nilai minimal dari pH tersebut yaitu pH5. Nilai maksimal berada pada pH 7. Nilai median yang diperoleh dari data tersebut adalah pH 6.

pH aplikasi yang optimal dalam proses adsorpsi nikel oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan pH aplikasi proses adsorpsi nikel

Jumlah data yang digunakan dalam membuat grafik pH aplikasi adsorpsi nikel pada Gambar 10, adalah tujuh data. Nilai minimal dari data grafik tersebut yaitu pH 5. Nilai maksimal pada pH 7. Nilai median yang diperoleh dari data tersebut yaitu pada pH 6.

IV.2.3. Waktu kontak optimal adsorpsi polutan

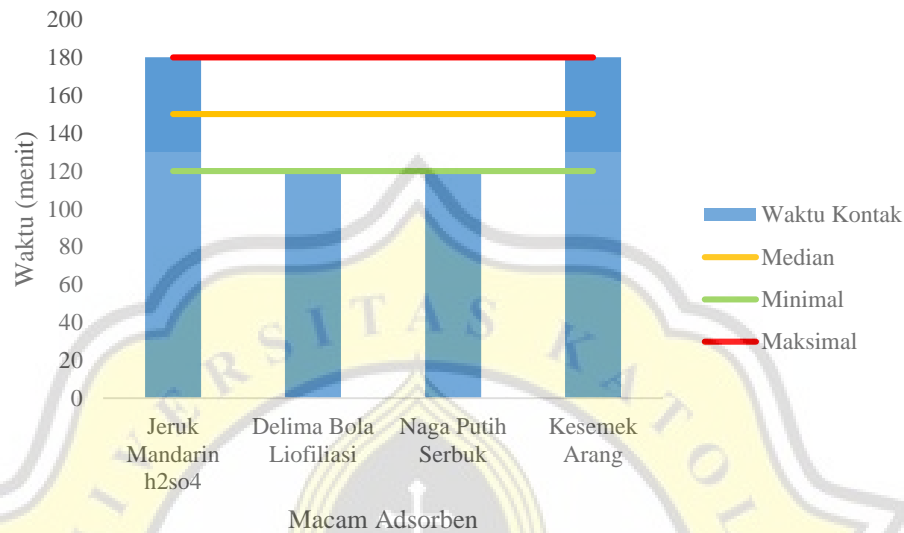
Perbandingan rentang waktu kontak optimal proses adsorpsi 3 polutan utama, yaitu *methylene blue*, timbal dan nikel disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Waktu kontak proses adsorpsi 3 kontaminan utama

Rentang waktu kontak optimal yang digunakan dalam proses adsorpsi polutan *methylene blue* memiliki rentang paling kecil yaitu 120-180 menit. Rentang waktu kontak proses adsorpsi *methylene blue* dan timbal sama yaitu 60-180 menit. Nilai median waktu kontak yang ditemukan dalam proses adsorpsi *methylene blue* dan timbal berada diantara nilai tertinggi dan terendah. Nilai median waktu kontak adsorpsi nikel berada pada nilai mendekati titik minimum (60 menit).

Waktu kontak proses adsorpsi *methylene blue* oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 12. Dalam Gambar 12., ditampilkan juga nilai minimum, nilai maksimum dan nilai median.



Gambar 12. Perbandingan waktu kontak proses adsorpsi *methylene blue*

Jumlah data yang digunakan dalam waktu kontak proses adsorpsi *methylene blue* pada Gambar 12., sebanyak empat data. Nilai minimal dari data grafik tersebut yaitu 120 menit. Sedangkan nilai maksimal sebesar 180 menit. Nilai median atau nilai tengah dari data tersebut sebesar 150 menit.

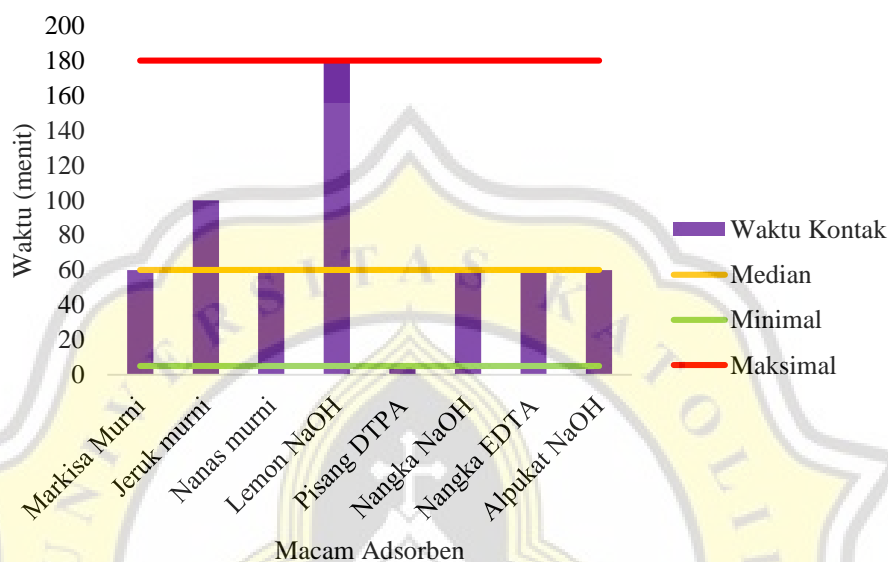
Waktu kontak proses adsorpsi timbal oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 13. Dalam Gambar 13., ditampilkan juga nilai minimum, nilai maksimum dan nilai median.



Gambar 13. Perbandingan waktu kontak proses adsorpsi timbal

Jumlah data yang digunakan dalam pada Gambar 13., sebanyak lima data. Nilai minimal dari data grafik tersebut diperoleh pada adsorben dari kulit buah alpukat yang diberi modifikasi NaOH (60 menit).. Nilai maksimal diperoleh adsorben dari limbah kulit buah pisang yang dimodifikasi menjadi biochar (180 menit). Adsorben pepaya yang dimodifikasi menjadi karbon aktif (*activated carbon*) dan adsorben jeruk bali serbuk murni memiliki waktu kontak mendekati nilai median yang diperoleh sebesar 120 menit.

Waktu kontak proses adsorpsi nikel oleh berbagai jenis adsorben ditampilkan dalam Gambar 14. Dalam Gambar 14., ditampilkan juga nilai minimum, nilai maksimum dan nilai median.

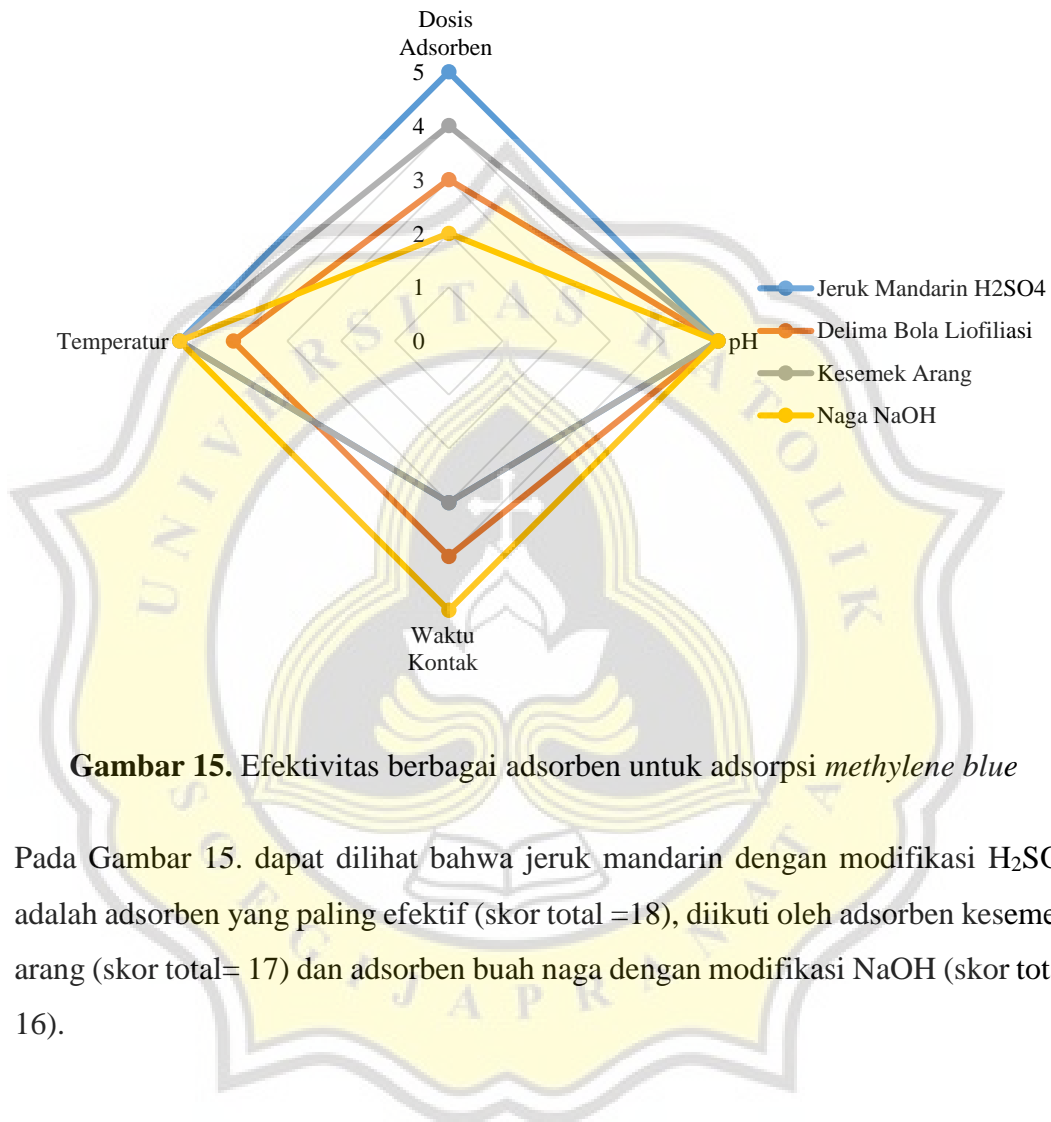


Gambar 14. Perbandingan waktu kontak proses adsorpsi nikel

Jumlah data yang digunakan pada Gambar 14., sebanyak tujuh data. Nilai minimal dari data grafik tersebut diperoleh adsorben dari kulit buah pisang yang diberi modifikasi EDTA (5 menit). Nilai maksimal diperoleh adsorben dari limbah kulit buah lemon yang diberi NaOH (180 menit). Adsorben dari buah markisa, nanas, nangka dengan NaOH, nangka dengan EDTA, dan alpukat berada di nilai median (120 menit).

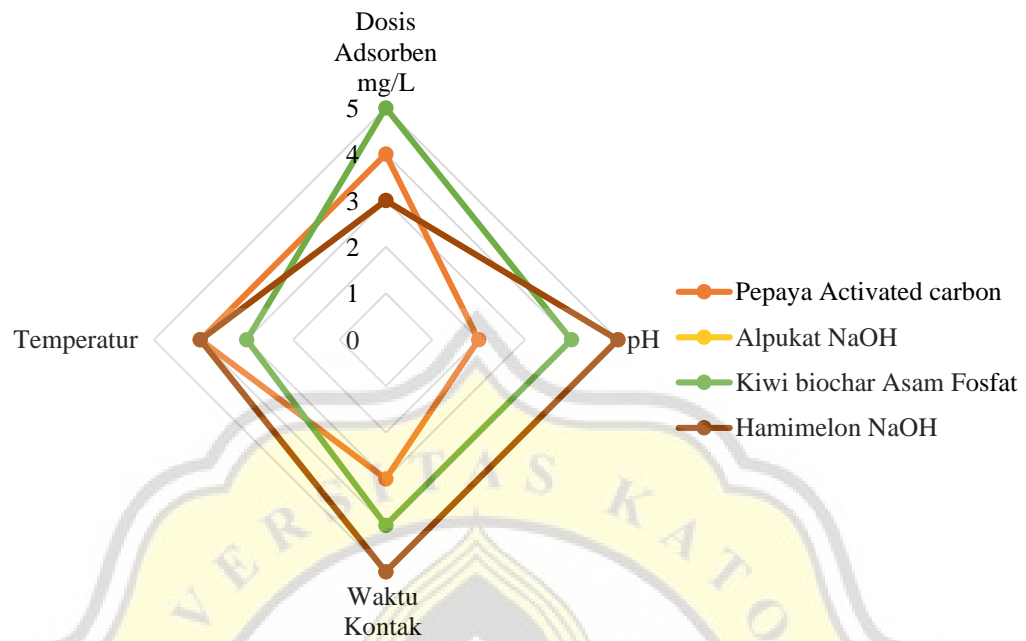
IV.3. Perbandingan Efektivitas Adsorben untuk 3 Polutan Utama

Radar diagram untuk efektivitas adsorben untuk 3 polutan utama (*methylene blue*, timbal dan nikel) ditampilkan pada Gambar 15. sampai dengan Gambar 17.



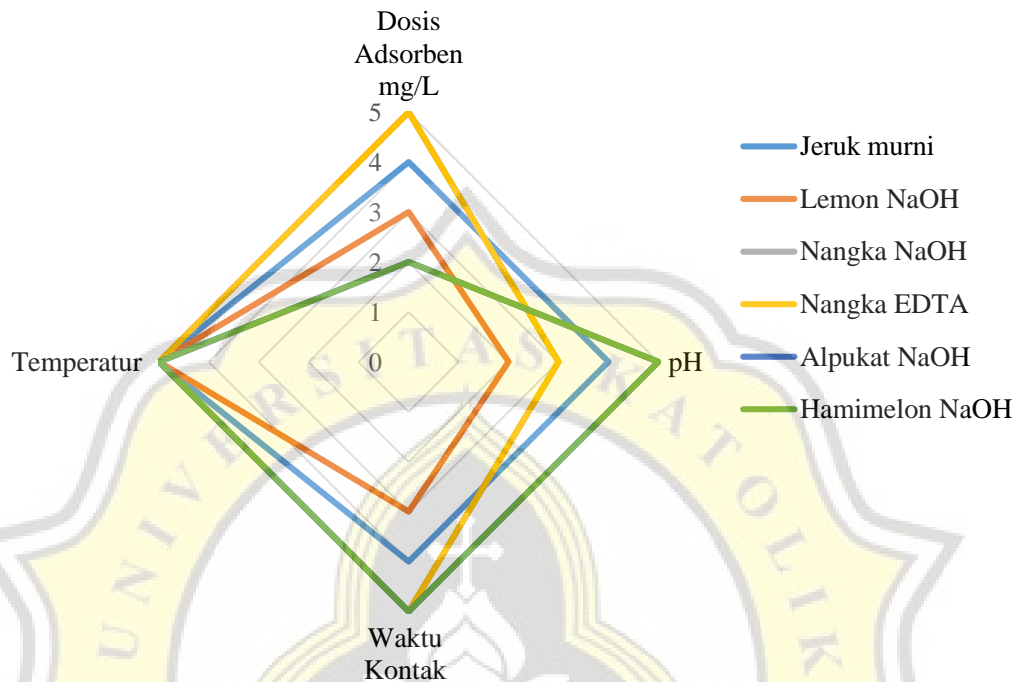
Gambar 15. Efektivitas berbagai adsorben untuk adsorpsi *methylene blue*

Pada Gambar 15. dapat dilihat bahwa jeruk mandarin dengan modifikasi H₂SO₄ adalah adsorben yang paling efektif (skor total =18), diikuti oleh adsorben kesemek arang (skor total= 17) dan adsorben buah naga dengan modifikasi NaOH (skor total 16).



Gambar 16. Efektivitas berbagai adsorben untuk adsorpsi timbal

Pada Gambar 16. dapat dilihat bahwa alpukat dengan modifikasi NaOH, Kiwi berbentuk *Biochar* dengan aktivasi asam Fosfat, dan Hamimelon yang dimodifikasi menggunakan NaOH sama-sama efektif (skor total =15), Adsorben yang kurang efektif adalah pepaya yang dimodifikasi menjadi *activated carbon* (skor total =11).



Gambar 17. Efektivitas berbagai adsorben untuk adsorpsi nikel

Berdasarkan Gambar 17., dapat dilihat bahwa nangka yang dimodifikasi dengan NaOH dan EDTA memiliki efektivitas yang sama (skor total =18). Adsorben yang memiliki efektivitas lebih rendah dari buah nangka modifikasi yaitu adsorben jeruk murni (skor total= 17), alpukat NaOH(skor total= 17), Hamimelon NaOH (skor total= 17), dan Lemon NaOH (skor total =13).