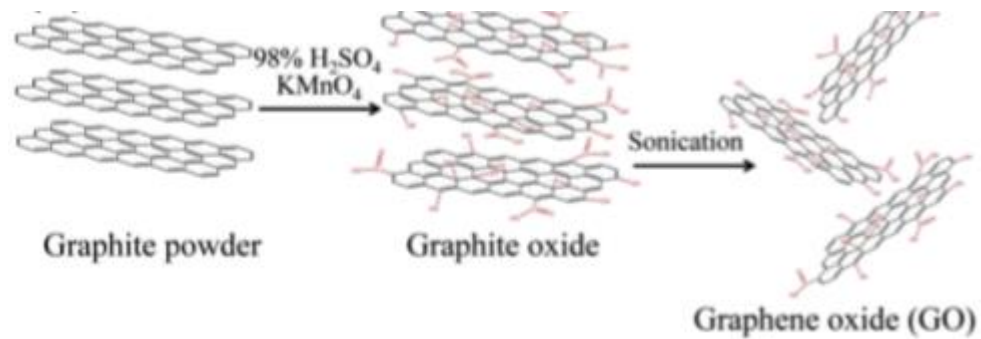


BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi *Graphene Oxide* (GO)

Graphene Oxide/Oksida grafena (GO) atau asam grafitik merupakan senyawa campuran karbon, hidrogen, dan oksigen yang diperoleh melalui proses oksidasi yang kuat dari grafit. Dengan kata lain tidak dapat diperoleh secara langsung di alam dan untuk memperolehnya diperlukan sintesis dari bubuk grafit. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya metode sintesis yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Hummers (Hummers, 1958).

Secara ringkas proses pembentukan graphene oxide (GO) dari bubuk grafit dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut:



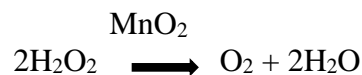
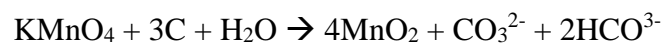
Gambar 4.1 Skema pembentukan Graphene Oxide

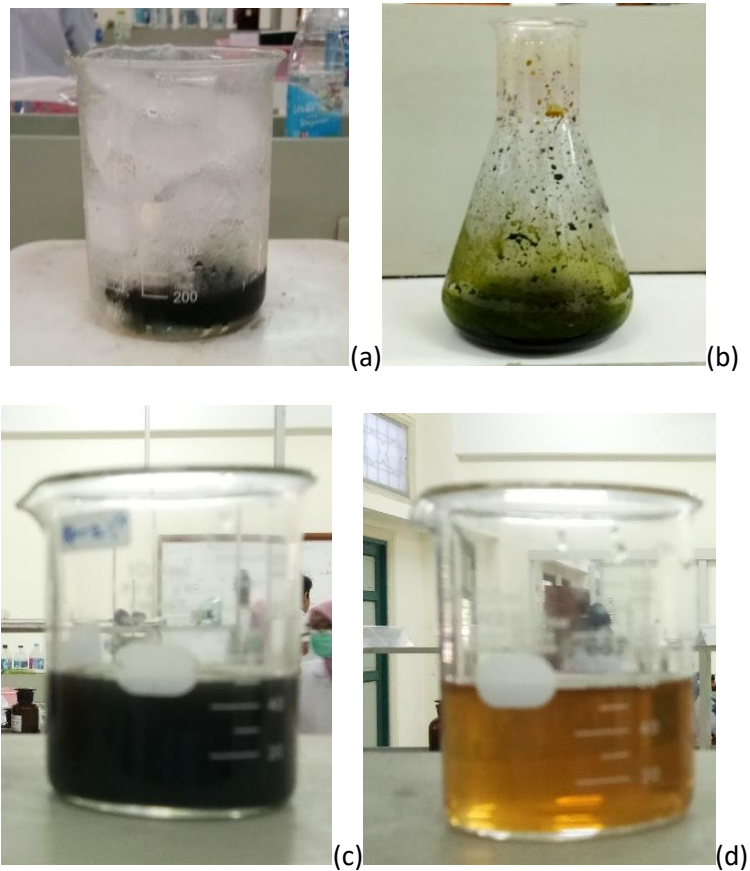
Sumber: (Song B. *et al*, 2016)

Preparasi graphene oxide (GO) dilakukan dengan mereaksikan bubuk grafit halus, NaNO₃ dan KMnO₄ ke dalam larutan H₂SO₄ pekat (96%) dalam keadaan *ice bath* untuk menjaga suhunya tidak melebihi 20° C seperti pada **Gambar 4.2** (a), *ice*

bath dilakukan untuk menghasilkan reaksi oksidasi yang baik, selain itu reaksi pembentukan senyawa karboksil yang mungkin terjadi dapat menimbulkan letupan/ledakan. Penambahan asam-asam kuat dan lamanya waktu dalam proses pembuatan *graphene oxide* bertujuan untuk menghomogenkan dan mempercepat proses pemutusan ikatan antara lapisan-lapisan dalam karbon, sebagaimana telah diketahui sebelumnya bahwa grafit tersusun atas lembaran-lembaran grafena dan memiliki sruktur ikatan yang kuat, dalam mendispersi larutan *graphene* dikenal banyak cara selain dengan pengadukan mekanis menggunakan *magnetic stirrer* yaitu dengan sonikasi, hasil disperse dengan sonikasi tentu akan berbeda. Sonikasi akan menghasilkan disperse yang lebih baik dari proses mekanik, namun dalam penelitian ini hanya dilakukan proses secara mekanik karena diasumsikan telah cukup. Hasil reaksi oksidasi terlihat sebagai suspensi berwarna hijau gelap yang dapat dilihat pada **Gambar 4.2** (b) dan merupakan bukti fisik telah terjadi proses oksidasi. Selain asam-asam kuat tersebut di akhir proses dilakukan penambahan H_2O_2 sebagai zat pengoksidasi dan berperan penting untuk membantu pemutusan ikatan menjadi satu lapisan atom, selain itu H_2O_2 berperan dalam mereduksi residu permanganat habis reaksi.

Menurut (Fan *et al.* 2011) reaksi dari penambahan KMnO_4 dan H_2O_2 sebagai zat pengoksidasi adalah sebagai berikut:



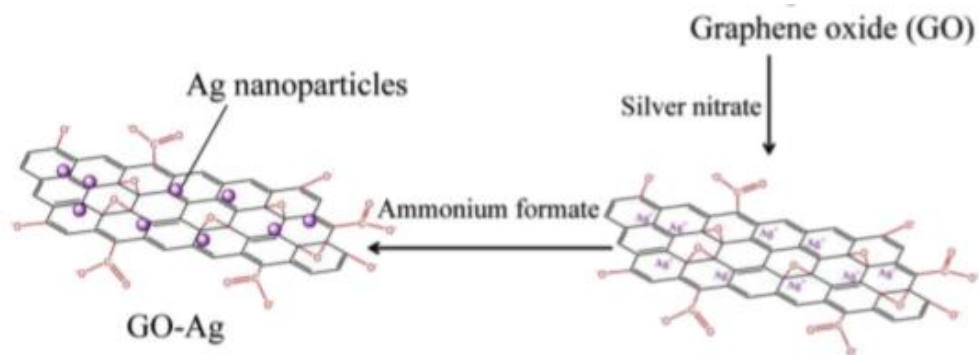


Gambar 4.2 Sintesis *Graphene Oxide* : (a) *ice bath* oksidasi grafit, (b) suspensi hijau oksidasi grafit, (c) *graphene oxide*, (d) *graphene oxide* setelah sentrifugasi

Pada perlakuan penambahan H_2O_2 seharusnya menghasilkan perubahan warna dari hitam kecoklatan (**Gambar 4.2** (c)) menjadi warna kuning kenari seperti yang terlihat pada **Gambar 4.2** (d), akan tetapi pada prosesnya tidak terjadi perubahan warna yang signifikan, hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh pengaruh suhu, semakin tinggi suhu maka proses oksidasi yang berlangsung juga akan semakin cepat sehingga perubahan warna yang dihasilkan menjadi tidak tampak (Quintana *et al.* 2012). Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan proses sentrifugasi, sentrifugasi dilakukan bertujuan untuk menghilangkan zat pengoksidasi dan menstabilkan tingkat keasaman dari ion-ion sulfat, $KMnO_4$, H_2O_2 dan senyawa-senyawa yang terdapat di dalam larutan *graphene oxide* (Bing K. Yenab & Birgit E., 2004).

4.2 Preparasi Nanopartikel Perak-Graphene Oxide (AgGO)

Nanopartikel perak (AgNP) mempunyai karakteristik yang mudah teraglomerasi dan teroksidasi, sehingga dibutuhkan penambahan senyawa lain sebagai stabilisator pada proses pembentukannya. Selain sebagai reduktor trisodium sitrat ($C_6H_5O_7Na_3$) berperan sekaligus sebagai stabilisator. Karena sifatnya yang mudah teraglomerasi tersebut proses reduksi $AgNO_3$ menjadi AgNP dilakukan dengan menambahkan tetes demi tetes larutan trisodium sitrat kedalam larutan perak nitrat ($AgNO_3$), selain itu konsentrasi trisodium sitrat juga berpengaruh pada kestabilan nanopartikel. Konsentrasi sebesar 1% dinilai cukup efektif dan stabil dalam sintesis nanopartikel (Ariyanta, 2014). Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi untuk sintesis AgGO, perbedaannya adalah sintesis AgNP dilakukan langsung di dalam larutan Graphene Oxide (Yuan et al. 2014). Diharapkan dengan mensintesis AgNP langsung pada larutan GO akan menjadikan AgNP yang terbentuk menyebar dan menempel secara merata pada lapisan-lapisan GO. Adapun skema pembentukan AgGO dengan mensintesis langsung AgNP pada larutan GO dapat dilihat pada **Gambar 4.3** berikut:



Gambar 4.3 Skema Pembentukan AgGO

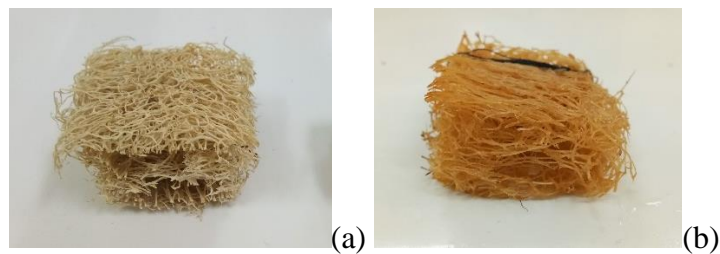
Sumber: (Song, B. et al, 2016)

AgGO yang telah terbentuk diindikasikan dengan perubahan warna larutan menjadi berwarna lebih gelap seperti pada **Gambar 4.4** jika dibandingkan dengan larutan GO pada **Gambar 4.2** (d) berikut:



Gambar 4.4 Larutan Hasil Sintesis AgGO

Potongan spons *Luffa cylindrica* dilapisi AgGO dengan cara direndam dalam larutan AgGO, untuk dapat melekat pada permukaan media spons *Luffa cylindrica* setidaknya dibutuhkan waktu tidak kurang dari 12 jam.

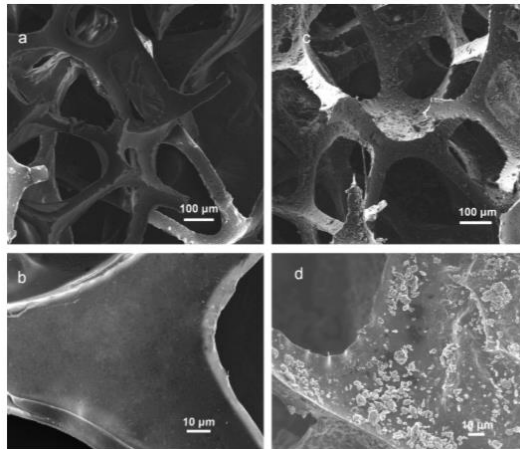


Gambar 4.5 *Luffa cylindrica* sebelum (a) dan sesudah (b) direndam AgGO

Terlihat perbedaan warna pada *Luffa cylindrica* (**Gambar 4.5**) sebelum dan sesudah dilakukan pelapisan dengan AgGO. *Luffa cylindrica* yang telah dilapisi AgGO berwarna kuning kecoklatan, menandakan lapisan AgGO telah melekat pada permukaan *Luffa cylindrica*.

4.3 Karakterisasi *Luffa cylindrica* Berlapis AgGO

Karakterisasi dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan tujuan mengetahui dan memastikan morfologi dari *Luffa cylindrica* yang telah dilapisi nanopartikel perak-graphene oxide (AgGO).

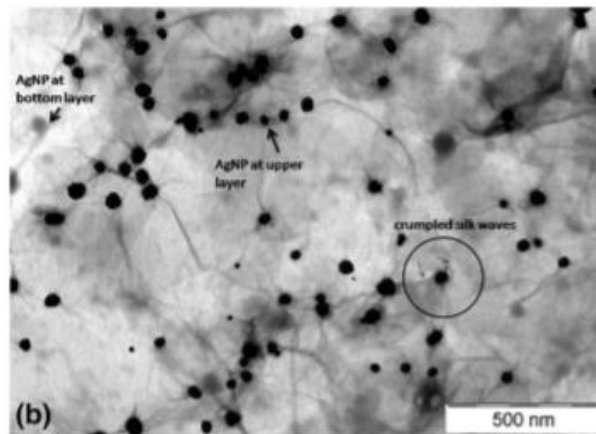


Gambar 4.6 Hasil Uji SEM pada Spons Melamin Berlapis AgNP-GO

Sumber: (Deng *et al*, 2016)

Gambar 4.6 merupakan hasil uji SEM pada spons melamin berlapis nanopartikel perak – graphene termodifikasi dengan dua variasi perbesaran. (a) dan (b) secara berurutan merupakan spons melamin tanpa coating, sedangkan (c) dan (d) merupakan spons melamin dengan coating. Sangat terlihat partikel AgNP dan Graphene melapisi spons melamin. Luffa cylindrica dalam penelitian ini disiapkan dengan cara pelapisan yang sama dengan penelitian Deng *et al* (2017) tersebut. Setelah proses pelapisan dengan cara perendaman dalam waktu tertentu, permukaan media menjadi lebih keras dan kasar, yang menandakan adanya partikel AgNP dan lapisan GO. Perubahan warna mengikuti warna larutan AgGO yang digunakan untuk pelapisan mengindikasikan sejumlah partikel AgNP dan lapisan GO melekat pada permukaan media dengan baik.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada penelitian ini larutan AgGO disintesis dengan mereduksi Ag di dalam larutan GO mengikuti penelitian Yuan *et al* (2014). AgNP dengan ukuran monodispersi terdispersi dengan baik pada permukaan *graphene oxide* (Shao *et al*, 2015). Partikel AgNP tersebar dan menempel pada permukaan lapisan-lapisan *graphene oxide*. Berikut adalah contoh hasil uji AgGO dengan Transmission Electron Microscopy (TEM):



Gambar 4.7 TEM AgGO

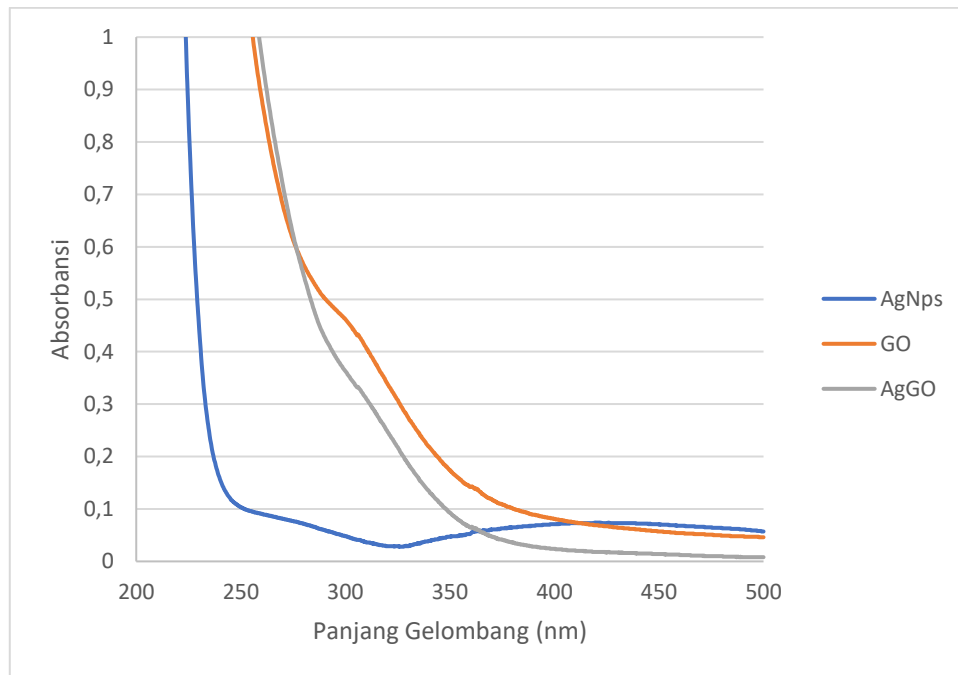
Sumber: (Chook *et al*, 2012)

Dalam penelitian ini tidak dapat dilakukan uji SEM maupun TEM terhadap media *Luffa cylindrica* berlapis AgGO karena kendala peralatan uji. Namun dengan karakteristik yang telah disebutkan di atas, melalui metode persiapan yang identik, maka dapat diasumsikan AgGO telah melekat pada permukaan *Luffa cylindrica*.

4.4 Puncak Serapan Koloid AgNPs, GO dan AgGO

Pengukuran puncak serapan koloid nanopartikel perak (AgNP), *Graphene Oxide* (GO), dan nanopartikel perak graphene oxide (AgGO) dilakukan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis. Pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 200 nm – 500 nm.

Hasil pengukuran puncak serapan koloid AgNPs, GO dan AgGO dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut:



Gambar 4.8 Puncak Serapan Koloid AgNP, Go, AgGO

Analisis UV-Vis dari graphene oksida murni penelitian Li *et al* (2018) puncaknya ada pada sekitar 230 dan 310 nm sesuai dengan transisi elektronik π - π^* dari ikatan aromatik C-C dan π - π^* elektronik dari ikatan C=O. AgNP dan AgGO mempunyai puncak serapan secara berurutan pada panjang gelombang 418 nm dan 420 nm karena adanya resonansi plasmon permukaan AgNP. Fenomena resonansi ini terjadi ketika cahaya datang berinteraksi dengan electron valensi pada pita luar AgNP yang mengarah ke osilasi electron bersama dengan frekuensi sumber elektromagnetik (Evanoff, 2005). Di samping itu ada rentang penyerapan yang luas untuk sampel AgGO pada 210-240 nm, yang dapat dikaitkan dengan adanya graphene oxide (Li *et al*, 2018). Pada penelitian ini hasil puncak terbaca sesuai dengan literatur yang ada, namun tidak nampak dengan jelas, tidak terlihat signifikan antara puncak dan lembah dari grafik yang terbentuk, terutama pada AgNP dan AgGO. Untuk AgGO kemungkinan yang terjadi adalah partikel AgNP tertutup oleh lapisan-lapisan graphene oxide sehingga rentang serapannya luas dan tidak terbaca spesifik pada satu puncak serapan. Partikel

Ag tetap ada dalam koloid AgGO uji yang dibuktikan dengan lisisnya partikel Ag pada uji *leaching*.

Larutan koloidal nanopartikel perak (AgNP) yang diencerkan dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-VIS akan menghasilkan luaran berupa puncak serapan yang dengan puncak serapan tersebut ukuran nanopartikel dapat diperkirakan dengan persamaan empiris berikut:

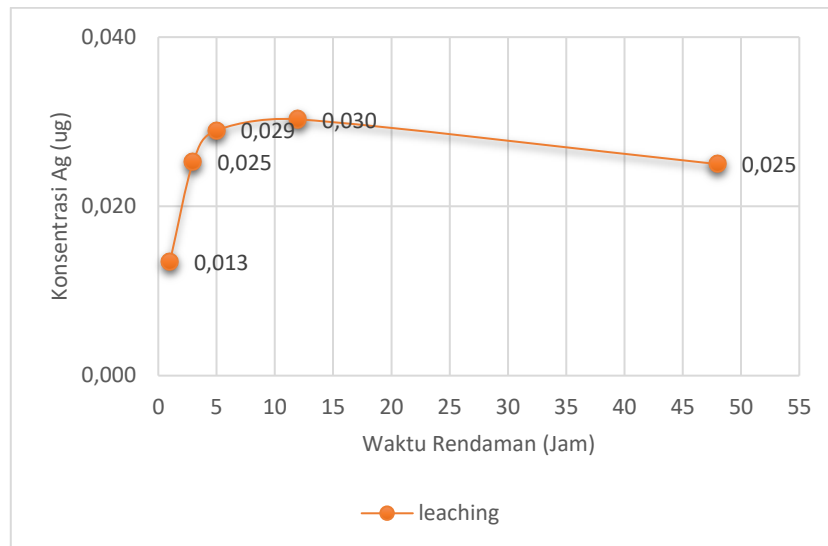
$$D = - 0,005441 \lambda^2_{\max} + 5,654 \lambda_{\max} - 1367$$

Hubungan antara diameter nanopartikel perak dan penyerapan maksimum diberikan oleh hubungan di mana D adalah diameter partikel dalam nm dan λ_{\max} adalah panjang gelombang maksimum pita *Surface Plasmon Resonance* (SPR) dari nanopartikel dalam nm (Pandoli *et al*, 2016).

Hasil perkiraan ukuran nanopartikel perak dengan puncak serapan sebesar 420 nm menggunakan rumus empiris tersebut adalah 47.8 nm. Hasil perkiraan tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel yang dihasilkan dan digunakan dalam penelitian untuk melapisi media *Luffa cylindrica* ini masih dalam rentang nanopartikel yaitu 1-100 nm. Sedangkan untuk nanopartikel *graphene oxide* belum dapat diperkirakan ukuran partikelnya dalam penelitian ini. Rumus empiris tersebut adalah rumu yang digunakan untuk nanopartikel perak.

4.5 Uji Leaching

Uji *leaching*/lisis dilakukan untuk mengetahui ketahanan daya lekat nanopartikel perak - graphene oxide (AgGO) pada *Luffa cylindrica*. Pengukuran kadar perak yang lepas dilakukan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) pada panjang gelombang 328.1 nm. Hasil uji tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.7** berikut:



Gambar 4.9 Konsentrasi Partikel Ag

Dari **Gambar 4.7** diketahui konsentrasi *leaching* Ag dari *Luffa cylindrica* secara berurutan untuk waktu rendaman 1 jam, 3 jam, 5 jam, 12 jam dan 48 jam adalah 0.013 mg/l, 0.025 mg/l, 0.029 mg/l, 0.030 mg/l dan 0.025 mg/l. Diketahui bahwa *Luffa cylindrica* berlapis AgGO mengalami proses lisis dan melepas partikel Ag yang berbanding lurus dengan lamanya waktu rendaman. Semakin lama *Luffa cylindrica* terkena kontak dengan air maka semakin besar lisis partikel Ag.

Semakin lama waktu rendaman *Luffa cylindrica* berlapis AgGO maka semakin tinggi konsentrasi perak yang terlepas. Fenomena ini terjadi dikarenakan pengaruh gaya tarik partikel, yaitu adhesi – gaya tarik antar partikel yang tidak sejenis. Dalam kasus ini dapat kita ketahui bahwa kekuatan adhesi nanopartikel perak – graphene oxide (AgGO) ke *Luffa cylindrica* ditentukan oleh kuat lemahnya gaya van der Waals, seperti kasus yang terjadi pada pengujian leaching Ag pada kaca berlapis AgNPs yang dilakukan oleh Brobbey *et al* (2018). Selain itu, penyebaran AgGO dalam air rendaman menyebabkan pelepasan ion Ag^+ . Leaching Ag juga bergantung pada konsentrasi perak yang melekat pada *Luffa cylindrica* (Mecha *et al*, 2014).

Lisis Ag tertinggi pada waktu 12 jam adalah 0.030 mg/l atau sama dengan itu berarti dalam partikel Ag yang terlepas dari *Luffa cylindrica* dalam kurun waktu

tersebut tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan untuk air minum yaitu sebesar 100 ppb (WHO, 2014).

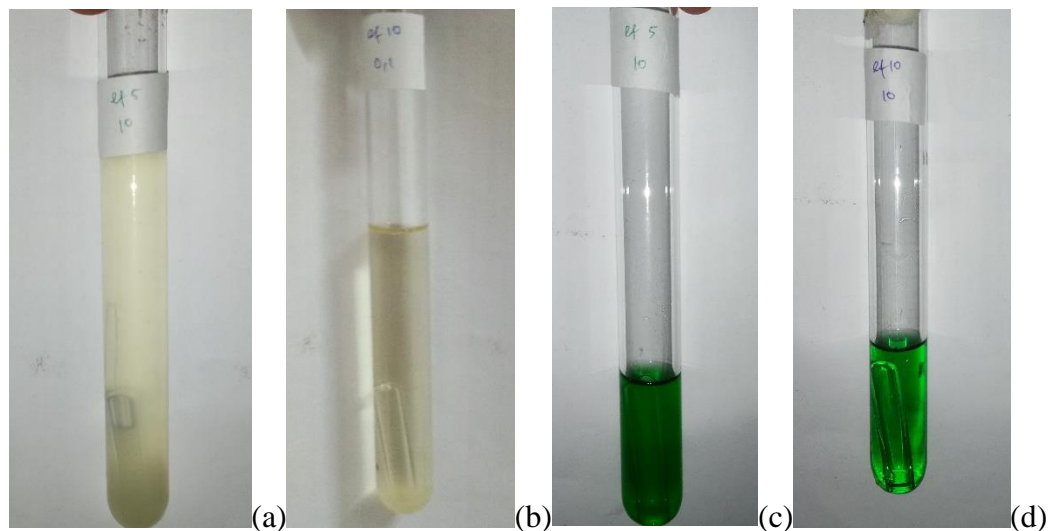
Dalam bentuk larutan ion Ag bersifat sangat toksik terhadap biota air dan dapat membunuh organisme air yang sensitif dengan konsentrasi sekitar 1-5 mg/l (Nelson *et al*, 1979). Toksisitas akut Ag terhadap biota air sangat dipengaruhi oleh bentuk kimia dan korelasinya dengan ion Ag yang terlepas (Wood *et al*, 1994). Dalam ekosistem perairan alami, ion Ag lebih mudah dikomplekskan dan diserap oleh bahan yang terlarut, Ag yang terkompleks dan terserap di perairan alami satu orde lebih rendah toksisitasnya dibanding ion Ag terhadap biota air (Rodgers *et al*, 1994). Garam perak larut, khususnya AgNO₃, mempunyai dosis mematikan dalam konsentrasi hingga 2g (0.070 oz). Senyawa perak dapat secara perlahan diserap oleh jaringan tubuh. Sebagai contohnya perak nitrat yang sangat terdisosiasi sangat beracun bagi ikan trout pelangi; Nilai LC50 7 hari adalah 9.1 µg / liter (Wood *et al*, 1994). Nanopartikel dapat bersifat toksik bagi makhluk hidup terutama manusia hanya jika terserap melalui tiga jalur yaitu mulut, pernapasan dan kulit. Nanopartikel perak dapat terserap baik dalam bentuk Ag amupun ion Ag, namun untuk saat ini masih studi mengenai *risk assessment* nanopartikel perak masih terbatas, hanya diasumsikan dapat menyerang organ hati, paru-paru dan kekebalan tubuh, belum adanya penelitian dengan variasi terkontrol terkait ukuran nanopartikel dan korelasi toksisitasnya, serta efek genotoksiknya (Wijnhoven *et al*, 2009).

4.6 Uji Removal Bakteri

Uji removal bakteri dilakukan dengan menggunakan bantuan reaktor yang telah dibuat sebelumnya, reaktor ini berfungsi mengatur waktu kontak *Luffa cylindrica* tanpa coating dan *Luffa cylindrica* berlapis AgGO dengan bakteri yang ada di air limbah, kemudian untuk menghitung removal bakteri sebelum (influen) dan sesudah (efluen) kontak dengan *Luffa cylindrica* berlapis AgGO digunakan metode Most Probable Number (MPN). Waktu tinggal air limbah dengan *Luffa cylindrica* tiap laju alir rendah

(4ml/menit), sedang (8ml/menit) dan tinggi (17ml/menit) adalah 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit.

Penentuan jumlah positif bakteri tiap sampel berdasarkan metode *Most Probable Number* (MPN). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, MPN terdiri dari tahap uji perkiraan dan tahap penetapan. Pada tahap uji perkiraan digunakan media laktosa tunggal dan ganda. Sampel yang dinilai positif mengandung bakteri coliform ditandai dengan terbentuknya gelembung udara di dalam tabung durham. Sampel yang diperkirakan positif mengandung bakteri kemudian dipindahkan ke dalam media Brilliant Green Lactose Broth (BGLB) untuk dilakukan tahap uji penetapan, pada tahap ini prinsipnya masih sama, sampel dinyatakan positif jika terbentuk gelembung udara pada tabung durham. Gelembung udara yang terbentuk untuk menentukan positif dan negative bakteri coliform dapat dilihat pada **Gambar 4.7** berikut:



Gambar 4.10 Media pertumbuhan bakteri (a) LB: Positif coliform, (b) LB: Negatif coliform, (c) BGLB: Positif coliform, (d) BGLB: Negatif coliform

Uji kemampuan removal bakteri coliform *Luffa cylindrica* berlapis AgGO ini dilakukan secara kuantitatif dengan perhitungan persen removal bakteri (R) dengan membandingkan jumlah bakteri yang ada sebelum dan sesudah kontak dengan *Luffa*

cylindrica berlapis AgGO dalam reaktor. Adapun hasil perhitungan removal bakteri coliform dapat dilihat pada tabel berikut:

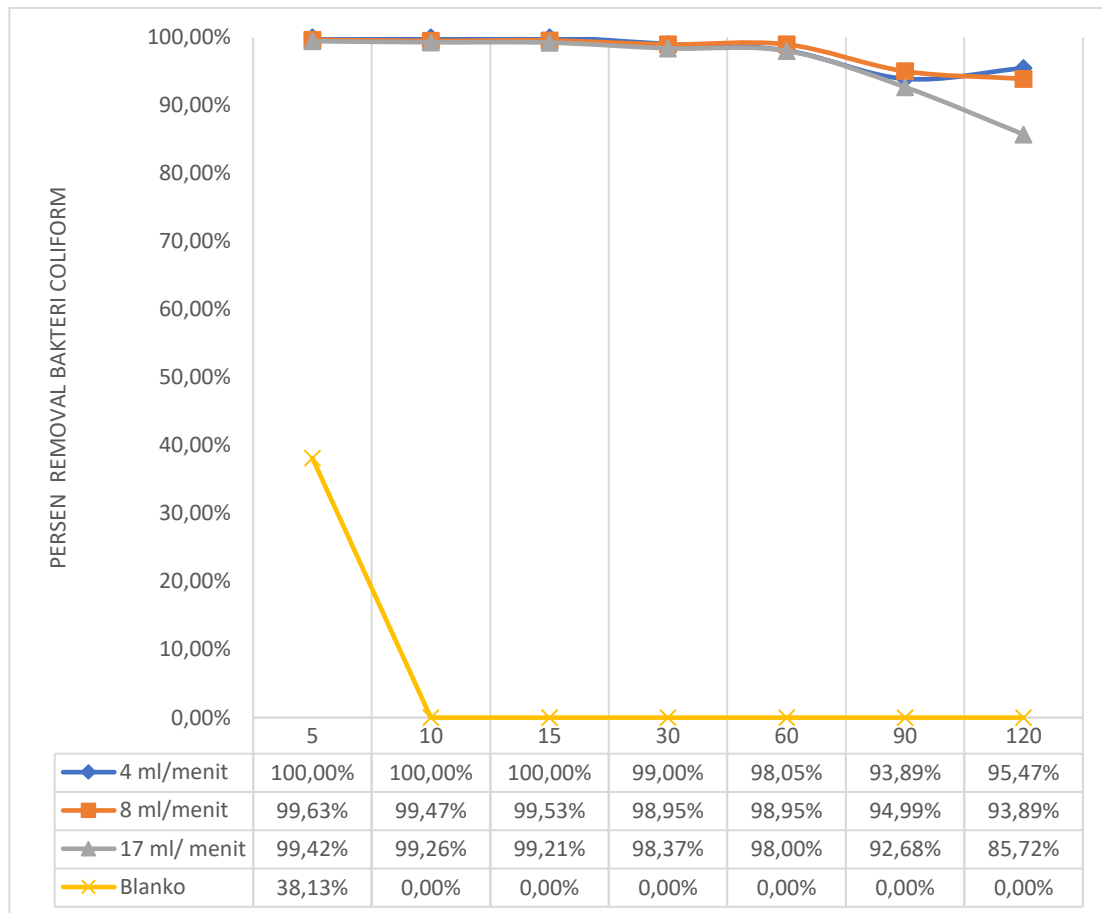
Tabel 4.1 Persen Removal Bakteri Coliform

Waktu (menit)	% Removal Bakteri		
	4 ml/menit	8 m l/menit	17 ml/menit
5	100%	100%	99%
10	100%	99%	99%
15	100%	100%	99%
30	99%	99%	98%
60	98%	99%	98%
90	94%	95%	93%
120	95%	94%	86%

Terlihat waktu kontak dan laju alir air limbah terhadap *Luffa cylindrica* mempunyai pengaruh terhadap besarnya removal bakteri, hal tersebut juga berbanding lurus dengan adanya *leaching* partikel Ag, semakin banyak *leaching* yang terjadi maka performa *Luffa cylindrica* sebagai antibakteri dalam hal ini disinfektan untuk pengolahan air limbah akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan semakin cepat laju alir dan semakin lama waktu aliran menyebabkan AgGO pada *Luffa cylindrica* terlepas. Leaching yang terjadi mengurangi kadar AgGO pada media disinfeksi. Hal ini menyebabkan menurunnya kinerja spons luffa *cylindrica* sebagai media disinfeksi sesuai dengan **Tabel 4.1**. Pada waktu aliran 120 menit di ketiga laju alir media disinfeksi *Luffa cylindrica* cenderung mengalami penurunan performa dalam menghilangkan bakteri coliform. Hasil uji antibakteri tersebut tidak selaras dengan kadar Ag yang dihasilkan pada uji *leaching* di **Gambar 4.7**. Pada hasil uji leaching, rentang waktu 48 jam masih terdeteksi partikel Ag yang lisis. Fenomena ini terjadi karena pelepasan kadar Ag dengan proses rendaman tidak sama dengan pelepasannya pada proses aliran. Pada saat perendaman, partikel Ag pada *Luffa cylindrica* tidak

mengalami tekanan, sehingga proses pelepasan partikel Ag pada *Luffa cylindrica* berjalan lambat / *slow release*.

Unjuk kerja *Luffa cylindrica* berlapis AgGO secara lebih jelas dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Removal Bakteri Terhadap Laju Alir dan Waktu Tinggal

Dapat terlihat bahwa meskipun terjadi naik turun performa *Luffa cylindrica*, namun dapat terlihat garis besar dan trennya. Semakin lama waktu kontak maka persen removal bakteri semakin baik, namun semakin lama waktu tinggal maka persen removal semakin rendah. Hal ini dikarenakan kemampuan media *Luffa cylindrica* berlapis AgGO pada penelitian ini mengalami penurunan kinerja apabila dialiri air

limbah secara terus menerus. Karakteristik *Luffa cylindrica* yang berpori memungkinkan adanya bakteri yang hanya tertahan di media dan terus menumpuk pada media yang kemudian menyebabkan bakteri ikut mengalir pada air olahan.

Perhitungan kuantitatif kemampuan antibakteri maka dapat ditentukan dengan Metode perhitungan Log Removal Value (LRV). Penggunaan LRV dilakukan dengan mengambil logaritma dari perbandingan konsentrasi bakteri pathogen pada sampel influen dan efluen. Berikut merupakan hasil perhitungan unjuk kerja anti bakteri dari *Luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak-graphene oxide (AgGO):

Tabel 4.2 Log Removal Value (LRV) Antibakteri *Luffa cylindrica*

Log Removal Value (LRV)			
Waktu (menit)	4 ml/ menit	8 ml/ menit	17 ml/menit
5	2,4	2,5	2,3
10	2,4	2,4	2,2
15	2,4	2,6	2,2
30	2,1	2,1	1,8
60	2,1	2,1	1,7
90	1,1	1,2	0,9
120	1,2	1,2	0,7

LRV dengan nilai 1, 2, dan 3 secara berurutan akan setara dengan persen removal sebesar 90%, 99%, dan 99,9% dari patogen target. Dari data yang didapat rata-rata kemampuan *Luffa cylindrica* berlapis AgGO dapat menghilangkan bakteri lebih dari 99% dan mengalami persen removal terendah pada laju lair tertinggi yaitu 17 ml/menit (waktu kontak terendah) dengan waktu tinggal 90 menit dan 120 menit yang secara berurutan LRV nya sebesar 0.9 dan 0.7 atau kurang dari 90%. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa media spons *Luffa cylindrica* mempunyai performa yang baik dan mampu bersaing dengan media *coating* yang pernah digunakan/diteliti seperti ada **Tabel 4.3** berikut:

Tabel 4.3 Perbandingan Efisiensi Removal dan LRV Antar Media Coating

Media	Nanopartikel	Parameter	Efisiensi Removal (LRV)	Efisiensi Removal (%)	Referensi
<i>Ceramic</i>	<i>AgNP</i>	<i>Total Coliform</i>	1,9	<99%	(Mikelonis <i>et al</i> , 2016)
<i>Rice Husk Ash</i>	<i>AgNP</i>	<i>Escherecia Coli</i>	1,7	>90%	(He D. <i>et al</i> , 2013)
<i>Polyurethane foams</i>	<i>AgNP</i>	<i>Escherecia Coli</i>	2	99%	(Jain P. <i>et al</i> , 2005)
<i>Polyurethane foams</i>	<i>AgGO</i>	<i>Total Coliform</i>	2,3	>99%	(Andita R., 2018)
<i>Luffa cylindrica</i>	<i>AgNP</i>	<i>Total Coliform</i>	0,5	>90%	(Wigati A., 2018)
<i>Luffa cylindrica</i>	<i>AgGO</i>	<i>Total Coliform</i>	2,6	>99%	Penelitian ini

Pada penelitian Wigati A. (2018) efisiensi removal media *Luffa cylindrica* berlapis AgNP tercatat sebesar 0.5 lebih kecil dibandingkan efisiensi removal *Luffa cylindrica* berlapis AgGO dengan LRV 2.6, hal tersebut dimungkinkan terjadi karena pada *Luffa cylindrica* berlapis AgGO adanya lapisan graphene oxide menjadikan leaching partikel Ag lebih sedikit, kemudian didukung sifat graphene oxide yang memperluas dan meningkatkan intensitas kontak partikel Ag dengan bakteri (Liu *et al*, 2011), selain itu lapisan graphene oxide menghambat pengambilan nutrien oleh bakteri dari lingkungan sekitarnya (Zhang *et al*, 2011). Pada penelitian Andita R. (2018) AgGO digunakan sebagai pelapis media spons polyurethane dengan LRV tercatat sebesar 2.3 masih lebih kecil dibandingkan media *Luffa cylindrica* berlapis AgGO hal ini dimungkinkan terjadi karena pada media *Luffa cylindrica* tanpa coating telah

mampu mencapai efisiensi removal sebesar 38% sedangkan media polyurethane sebesar 0%.

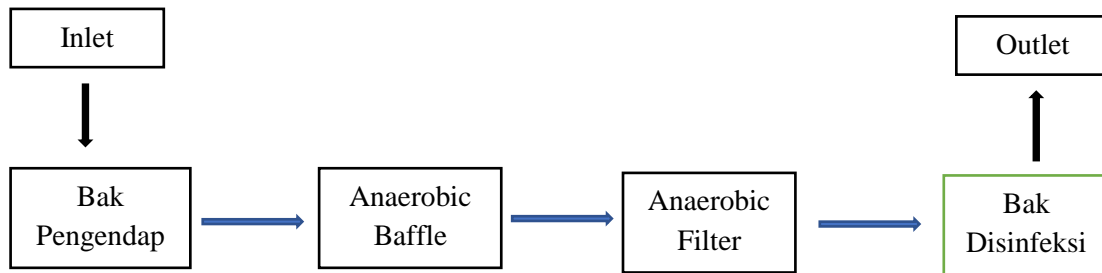
Pada penelitian ini, sebagian besar air limbah yang melalui proses disinfeksi pada kenyatannya masih melebihi baku mutu total coliform mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 yaitu 3000 MPN/100 mL. Hal ini dikarenakan limbah yang digunakan sebagai sampel uji merupakan efluen IPAL Komunal Mendiro yang masih memerlukan pengenceran sebanyak tiga kali (per 10 ml). Artinya, setiap hasil air olahan yang melewati media *Luffa cylindrica* harus dikalikan 1000. Sehingga total coliform yang diperoleh pada saat melewati *Luffa cylindrica* berlapis AgGO masih melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Seperti yang terlihat pada **Tabel 4.4** berikut ini:

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Uji dengan Baku Mutu

waktu aliran	Total Coliform x 10 ³ MPN/100 ml								Baku Mutu
	blanko		4ml/menit		8ml/menit		17ml/menit		
	in	ef	In	ef	In	ef	In	Ef	
5	139	86	1898	0	1898	7	1898	11	3x10 ³ MPN/100 ml
10	1898	1898	1898	0	1898	10	1898	14	
15	1898	1898	1898	0	1898	9	1898	15	
30	1898	1898	1898	19	1898	20	1898	31	
60	1898	1898	1898	37	1898	20	1898	38	
90	1898	1898	1898	116	1898	95	1898	139	
120	1898	1898	1898	86	1898	116	1898	271	

Dari **Tabel 4.4** terlihat bahwa hanya pada laju alir 4ml/menit dan waktu maksimal 15 menit pada proses disinfeksi dengan *Luffa cylindrica* mampu memenuhi baku mutu. Artinya, teknologi ini harus diaplikasikan dengan waktu kontak yang lama dan laju alir yang rendah pada *post treatment* IPAL Komunal. Optimalisasi desain sangat dibutuhkan untuk mencapai waktu kontak yang optimum untuk unit disinfeksi pada IPAL komunal. Debit aliran pada pengolahan air limbah cenderung fluktuatif

sehingga pengaturan agar waktu kontak optimum dibutuhkan dengan mengatur faktor lain yang mempengaruhi waktu kontak selain debit, misalnya dengan mengoptimalkan faktor luas permukaan atau jumlah unit yang dibutuhkan. Waktu kontak minimum dapat dioptimalkan dengan mengatur luas permukaan kontak dan jumlah unit yang digunakan (Ugrina M. *et al*, 2017).



Gambar 4.12 Skema Aplikasi Disinfeksi di IPAL Komunal

Menimbang bahwa air yang digunakan pada penelitian ini adalah air limbah dengan kandungan total coliform tinggi dan removal bakteri coliform yang tinggi pada penggunaan *Luffa cylindrica* berlapis AgGO, maka penggunaan teknologi disinfeksi ini sedianya relatif lebih baik digunakan dalam mengolah air dengan kandungan coliform yang tidak terlalu tinggi, semisal air tanah untuk keperluan air minum.