

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

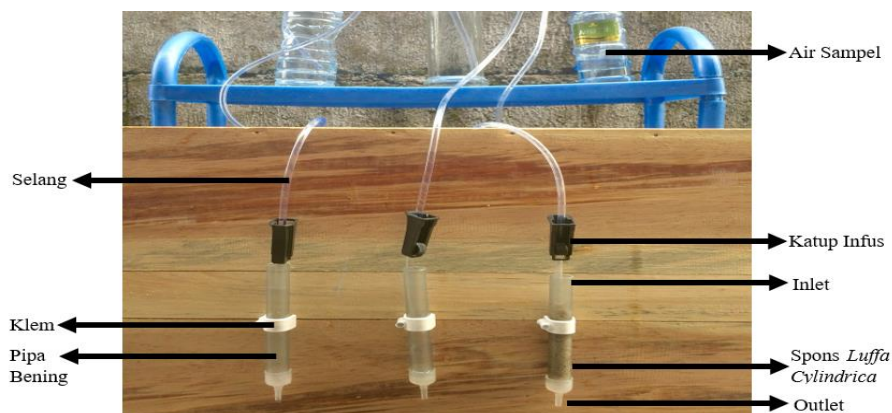
4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan Alat dan Bahan dilakukan dengan membuat reaktor skala pilot untuk mengalirkan air limbah domestik melewati media disinfeksi dan Pembuatan media uji antibakteri terdiri dari *Laktosa Broth* Tunggal, *Laktosa Broth* Ganda, serta *Brilliant Green Laktosa Broth*.

4.1.1.1 Persiapan Reaktor Skala Pilot

Reaktor skala pilot yang digunakan untuk pengujian *removal* bakteri pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Reaktor Skala Pilot

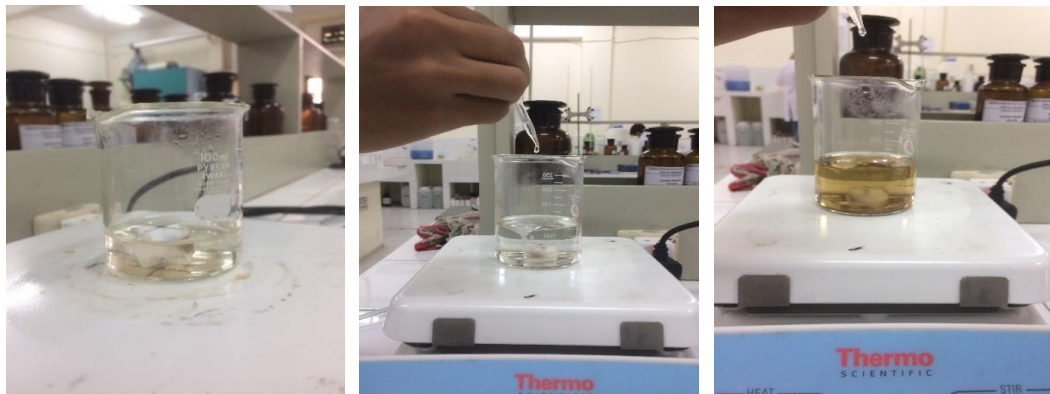
4.1.1.2 Persiapan Media Antibakteri

Pada penelitian ini dibutuhkan media *Lactosa Broth* (LB) tunggal sebanyak 252 tabung, *Lactosa Broth* (LB) ganda sebanyak 126 tabung, dan *Brilliant Green Lactosa Broth* (BGLB) sebanyak 378 tabung. Pembuatan media *Lactosa Broth* (LB) tunggal dilakukan dengan mencampurkan 32,76 gram *Lactosa Broth* (LB) dengan 2520 mL *aquadest* secara homogen untuk menghasilkan 252 tabung (10 mL tiap tabung), pembuatan media *Lactosa Broth* (LB) ganda dilakukan dengan

mencampurkan 24,57 gram *Lactosa Broth* (LB) dengan 630 mL *aquadest* secara homogen untuk menghasilkan 126 tabung (5 mL tiap tabung), dan pembuatan media *Brilliant Green Lactosa Broth* (BGLB) dilakukan dengan mencampurkan 75,6 gram *Brilliant Green Lactosa Broth* (BGLB) dengan 1890 mL *aquadest* secara homogen untuk menghasilkan 378 tabung (5 mL tiap tabung). Seluruh mulut tabung reaksi di tutup menggunakan kapas dan kertas lemak, kemudian diikat menjadi satu. Seluruh tabung reaksi disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C, 1 atm selama 15 menit. Tabung reaksi yang telah disterilisasi disimpan pada lemari pendingin.

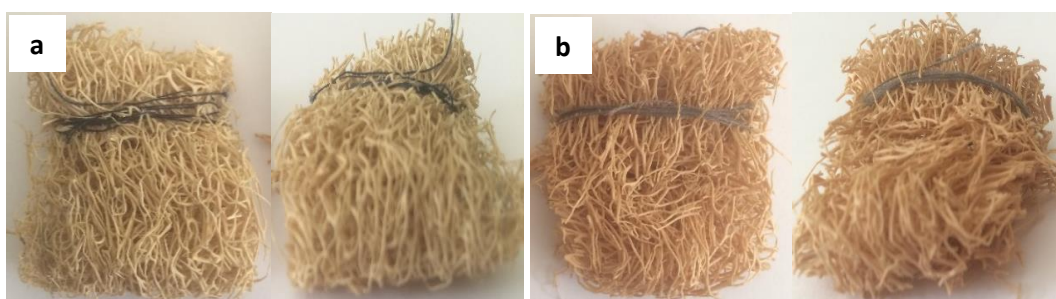
4.1.2 Preparasi Nanopartikel Perak

Preparasi nanopartikel perak pada penelitian ini menggunakan metode reduksi kimia yaitu mereduksi perak nitrat (AgNO_3) dengan trisodium sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$). Nanopartikel perak mempunyai karakteristik yang mudah beraglomerasi dan teroksidasi, sehingga pada proses pembentukannya membutuhkan senyawa lain seperti stabilisator. Pada penelitian ini trisodium sitrat sekaligus dapat berfungsi sebagai stabilisator. Menurut penelitian Soliwoda dkk. (2017), trisodium sitrat berfungsi sebagai stabilisator dikarenakan pasangan elektron bebas dalam gugus karbonil pada trisodium sitrat dapat menstabilkan nanopartikel perak elektrostatik dan dapat menjadi agen koordinasi dalam senyawa dengan atom logam yang memiliki orbital bebas. Proses preparasi nanopartikel perak pada **Gambar 4.2** dilakukan dengan menambahkan tetes demi tetes larutan trisodium sitrat kedalam larutan perak nitrat (AgNO_3) yang telah dipanaskan sampai mendidih (100 °C). Penambahan larutan trisodium sitrat secara tetes demi tetes, dikarenakan proses reduksi pada penelitian ini tidak berlangsung spontan. Menurut penelitian yang dilakukan Balu dkk. (2012), pembentukan nanopartikel perak terjadi dalam durasi 10-20 menit dan perubahan warna muncul setelah reaksi selesai. Setelah proses reduksi terbentuk koloida nanopartikel perak berwarna kekuningan atau kuning pucat dan siap dilakukan proses pelapisan (*coating*) pada spons *luffa cylindrica*. Hasil reaksi kedalam larutan perak nitrat (AgNO_3) dengan trisodium sitrat dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4. 2 Proses Reduksi Perak Nitrat dengan Trisodium Sitrat

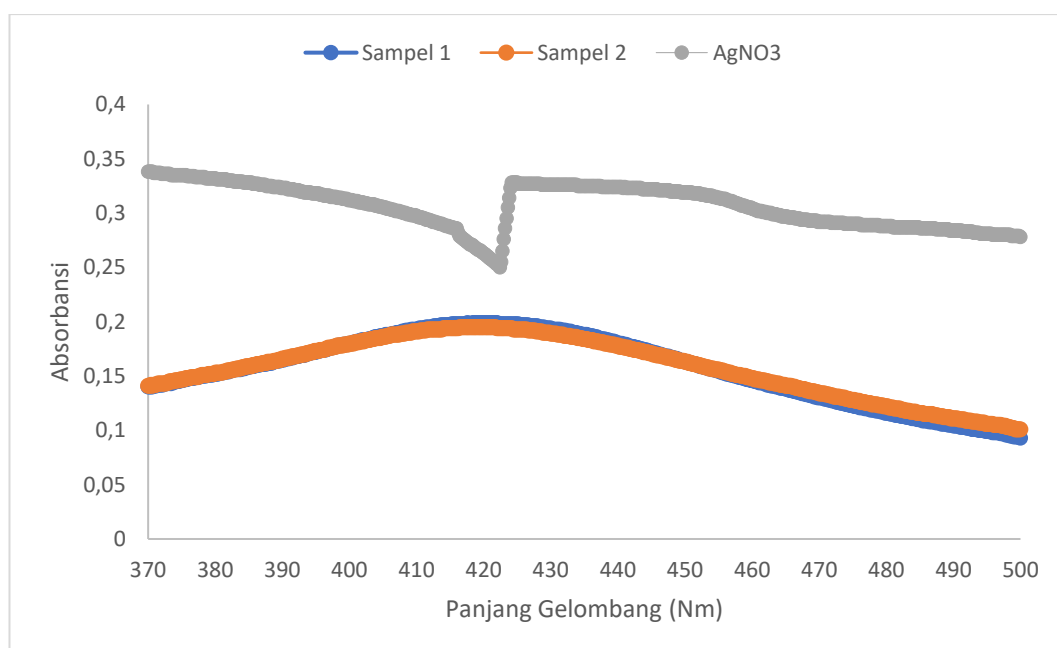
Proses pelapisan nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* dilakukan dengan merendam spons *luffa cylindrica* pada larutan koloid berwarna kekuningan tersebut selama 24 jam. Perendaman spons *luffa cylindrica* pada koloid nanopartikel perak mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Jain dan Pradeep (2005), yaitu dilakukan selama 24 jam agar koloid nanopartikel perak menempel dan terserap pada spons *luffa cylindrica*. Hal ini dilakukan karena kemampuan sebagian penyerapan permukaan media spons *luffa cylindrica* akan diperoleh dengan waktu kontak yang lama antara koloid nanopartikel perak dengan spons atau penurunan konsentrasi nanopartikel. Kemudian spons *luffa cylindrica* di bilas menggunakan *aquadest* sebanyak tiga kali dan dikeringkan di dalam desikator. Berdasarkan **Gambar 4.3** terjadi perubahan warna pada spons *luffa cylindrica* dari berwarna krem pucat menjadi berwarna kecoklatan. Perubahan warna kecoklatan pada spons *luffa cylindrica*, dikarenakan koloid nanopartikel perak telah terserap dan menempel pada spons *luffa cylindrica*.



Gambar 4. 3 Kondisi Spons *Luffa Cylindrica* Sebelum (a) dan Setelah (b) Proses Coating

4.1.3 Puncak Serapan Koloid Nanopartikel Perak

Pengukuran dilakukan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis pada koloid nanopartikel perak secara duplo. Pengukuran secara duplo karena koloid nanopartikel perak dapat beraglomerasi yang menyebabkan penambahan ukuran partikel secara cepat. Oleh karena itu, pada **Gambar 4.4** terlihat bahwa puncak serapan koloid nanopartikel perak mengalami pergeseran. Pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 370 nm – 500 nm, untuk mengetahui pada panjang gelombang berapa ion Ag^+ dan Ag^0 terbentuk. Menurut Apriandanu dkk. (2013) pada panjang gelombang 400 nm – 450 nm merupakan nanopartikel perak (Ag^0) dan pada panjang gelombang 370 nm – 400 nm merupakan ion perak (Ag^+). Hasil pengukuran koloid nanopartikel perak pada panjang gelombang 370 nm – 500 nm ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4. 4 Hasil Analisis Spektrofotometri UV-Vis Koloid Nanopartikel Perak

Pada **Gambar 4.4** larutan perak nitrat memperlihatkan puncak serapan pada panjang gelombang 424,2 nm – 425 nm. Koloid nanopartikel perak juga memperlihatkan puncak serapan pada sampel 1 berada pada panjang gelombang 418,4 nm – 422 nm, sedangkan pada sampel 2 berada pada panjang gelombang 416,4 nm – 421,8 nm. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil studi yang

dilakukan Kanchana dan Zantye (2016) , bahwa hasil sintesis koloid nanopartikel perak dengan puncak serapan ± 420 nm merupakan koloid dengan ukuran berskala nanometer.

4.1.4 Karakteristik Spons *Luffa Cylindrica* Berlapis Nanopartikel Perak

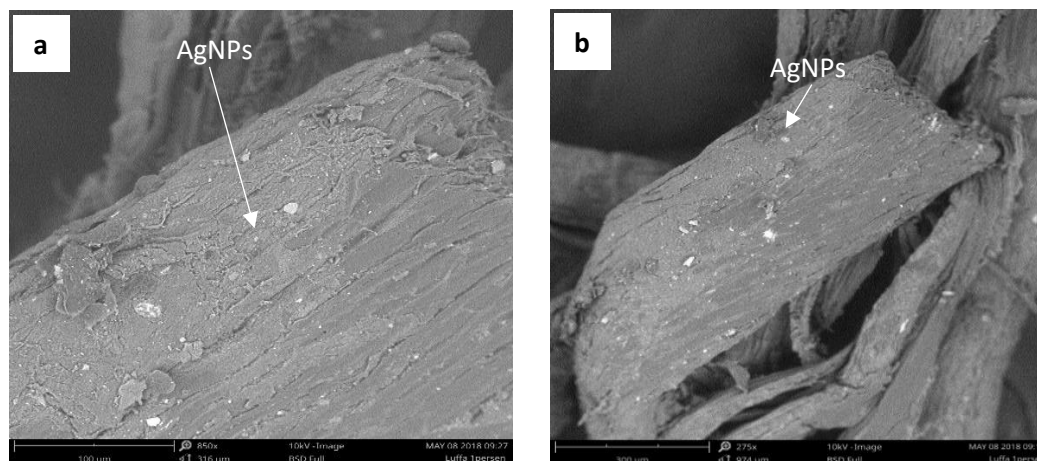
Karakterisasi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang bertujuan untuk mengetahui morfologi dari spons *luffa cylindrica* yang telah dilapisi nanopartikel perak. Berdasarkan **Gambar 4.5** bagian (a) pada perbesaran 100x dengan skala 500 μm , menurut hasil penelitian Mohanta dan Acharya (2015) bahwa permukaan spons *luffa cylindrica* mulus dan tidak terdapat bintik-bintik putih yang menempel.



Gambar 4.5 Hasil SEM Spons *Luffa Cylindrica* Sebelum (a) dan Sesudah (b) Coating

Pada **Gambar 4.5** bagian (b) pada perbesaran 265x dengan skala 300 μm tampak struktur morfologi sebaran nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica*. Nanopartikel perak diduga menempel pada spons *luffa cylindrica* berupa bintik-bintik putih. Nanopartikel perak menempel pada spons *luffa cylindrica* selama beberapa minggu setelah dilakukan pembilasan menggunakan *aquadest* sebanyak tiga kali. Sebaran nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* tidak merata. Hal ini dikarenakan terdapatnya nanopartikel perak yang gugur terbawa *aquadest* saat dilakukan pembilasan. Selain itu, pada **Gambar 4.6** bagian (a) perbesaran 850x dengan skala 100 μm dan bagian (b) perbesaran 275x dengan skala 300 μm terlihat bahwa ukuran partikel perak pada spons *luffa cylindrica* tidak sama. Hal ini

dikarenakan tidak meratanya pemanasan yang terjadi, sehingga saat ditetesi trisodium sitrat pembentukan nanopartikel perak menghasilkan ukuran partikel yang tidak rata.



Gambar 4. 6 Hasil SEM Spons *Luffa Cylindrica* Pada Perbesaran 850x (a) dan 275x (b)

Hasil SEM spons *Luffa Cylindrica* yang diduga nanopartikel perak berbentuk bintik-bintik putih dapat diperkirakan ukuran nanopartikel perak berdasarkan hubungan antara diameter partikel dan puncak serapan koloid nanopartikel perak. Menurut Pandoli dkk. (2015) hubungan antara diameter nanopartikel perak dan penyerapan maksimum, di mana D adalah diameter partikel dalam nm dan λ_{max} adalah puncak serapan koloid nanopartikel perak dari nanopartikel dalam nm sesuai dengan rumus 4.1.

$$D = -0,005441 \lambda_{max}^2 + 5,654 \lambda_{max} - 1367 \dots \dots \dots (4.1)$$

Tabel 4. 1 Ukuran Diameter Nanopartikel Perak

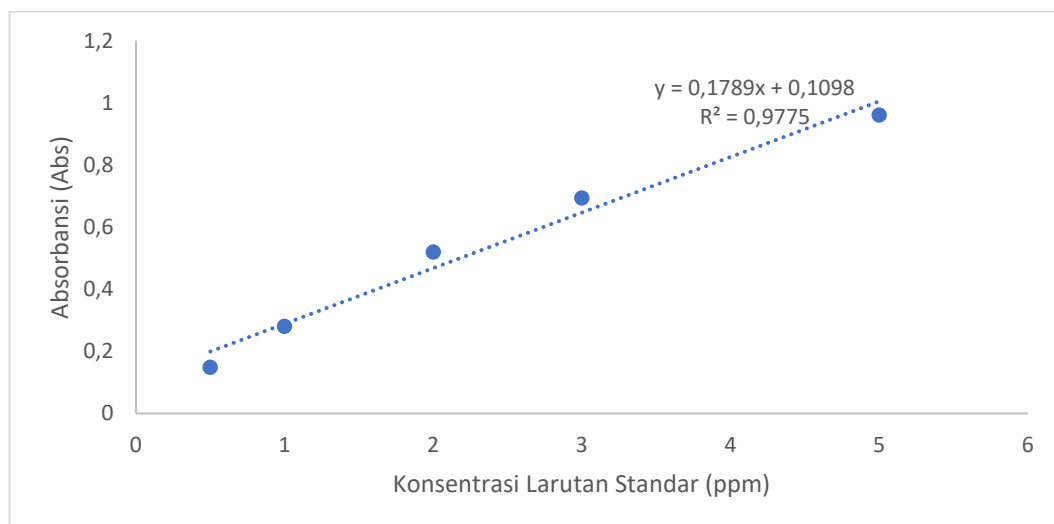
NO	Kode Sampel AgNPS	Abs	λ_{max} (nm)	Diameter (nm)
1	Sampel 1	0,199	420,2	48,1
2	Sampel 2	0,195	419	46,8

Berdasarkan **Tabel 4.1** diperoleh ukuran diameter nanopartikel perak pada sampel 1 adalah 48,1 nm dan pada sampel 2 adalah 46,8 nm. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Rivas dkk. (2001) bahwa reduksi kimia

menggunakan trisodium sitrat menghasilkan ukuran diameter nanopartikel perak sebesar 30 nm - 60 nm.

4.1.5 Uji Leaching

Pengujian *leaching* nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* dilakukan dengan merendam spons *luffa cylindrica* pada 200 mL *aquadest*. Proses rendaman dilakukan pada rentang waktu 1 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam untuk mengetahui berapa kadar perak yang terlepas jika media disinfeksi dioperasikan selama 1 hari penuh. Uji *leaching* dilakukan untuk mengetahui ketahanan nanopartikel perak menempel pada spons *luffa cylindrica*. Pengukuran kadar perak yang lepas pada air rendaman dilakukan berdasarkan SNI 06-6989.33 tahun 2005 menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) pada panjang gelombang 328,1 nm. Pada penelitian ini diperoleh persamaan regresi linier larutan standar uji perak yaitu, $y = 0,1789x + 0,1098$ dengan nilai regresi adalah 0,9775. Grafik larutan standar uji perak ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.

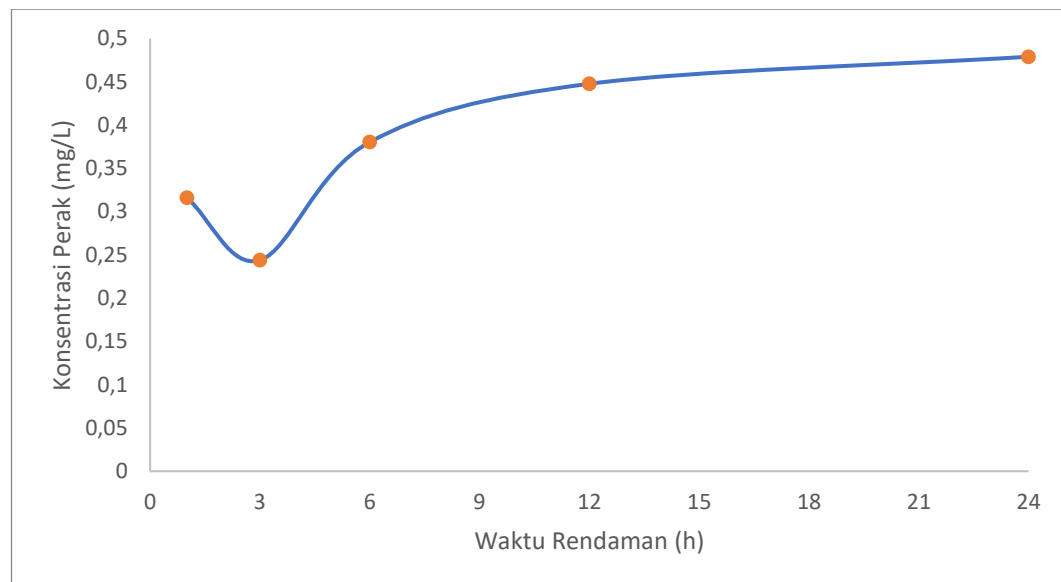


Gambar 4. 7 Grafik Larutan Uji Standar Perak

Menurut persamaan regresi linier diatas, maka diperoleh grafik kadar perak terlepas dalam rendaman air pada rentang 1 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, 24 jam pada **Gambar 4.8**.

Tabel 4. 2 Konsentrasi Perak Terlepas

No	Waktu (h)	Konsentrasi Perak (mg/L)
1	1	0,3161
2	3	0,2439
3	6	0,3803
4	12	0,4476
5	24	0,4789



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Waktu Rendaman dan Konsentrasi Perak Terlepas

Pada **Tabel 4.2** diperoleh konsentrasi perak terlepas waktu rendaman 3 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam secara berturut-turut adalah 0,3161 mg/L; 0,2439 mg/L; 0,3803 mg/L; 0,4476 mg/L; dan 0,4789 mg/L. Berdasarkan **Gambar 4.8** diperoleh bahwa terjadi penurunan kadar perak pada waktu rendaman 3 jam yaitu sebesar 0,2439 mg/L. Hal ini dapat terjadi karena pengukuran kadar perak merupakan akumulasi dari kadar perak pada waktu rendaman sebelumnya. Selain itu, ketika pengambilan sampel air rendaman untuk pengujian kadar perak pada botol vial ukuran 10 mL tidak dilakukan penghomogenan air rendaman yang berisi spons *luffa cylindrica*.

4.1.6 Uji Disinfeksi

Tahapan penelitian yang paling penting adalah uji disinfeksi pada spons *luffa cylindrica* yang telah dipreparasi. Uji disinfeksi dilakukan menggunakan metode *Most Probable Number* (MPN), yakni menghitung jumlah total coliform yang terbentuk pada sampel air limbah domestik yang telah dialirkan melewati spons *luffa cylindrica*. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak pada proses disinfeksi air limbah domestik. Jumlah total coliform pada penelitian ini akan dikalikan dengan faktor pengenceran yaitu 10^3 atau 1000.

Tabel 4. 3 Jumlah Total Coliform Pada Influen dan Efluen Blanko

No	Waktu (menit)	Influent				Effluent				Jumlah Coliform (Indeks JPT x Faktor Pengenceran)	
		Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks JPT	Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks JPT	Influent	Effluent
		10	1	0,1		10	1	0,1			
1	5	3	2	3	139	3	1	3	86	139000	86000
2	10	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
3	15	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
4	30	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
5	60	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
6	90	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
7	120	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000

Pada **Tabel 4.3** dilakukan pengukuran jumlah total coliform air olahan dari blanko (spons *luffa cylindrica* tanpa berlapis nanopartikel perak) pada laju alir 4 mL/menit. Pengukuran dilakukan pada laju alir paling kecil, karena laju alir paling kecil dapat menjadi acuan pengurangan total coliform paling tinggi. Sehingga apabila pada laju alir 4 mL/menit diperoleh tidak ada pengurangan total coliform, maka dapat diartikan bahwa spons *luffa cylindrica* tanpa berlapis nanopartikel tidak memiliki kemampuan disinfeksi. Pada **Tabel 4.3** diperoleh jumlah total coliform influen dan efluen dengan waktu aliran 5 menit secara berturut-turut adalah 139000 dan 86000. Pada waktu aliran 5 menit terdapat pengurangan jumlah total coliform dikarenakan spons *luffa cylindrica* memiliki kemampuan filtrasi akibat pemadatan media pada reaktor. Sedangkan pada waktu aliran 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60

menit, 90 menit, dan 120 menit tidak terjadi pengurangan total coliform dengan jumlah total coliform pada influen dan efluen adalah 1898000.

Tabel 4. 4 Jumlah Total Coliform Pada Influen dan Effluent Laju Alir 4 mL/menit

No	Waktu (menit)	Influent				Effluent				Total Coliform (Indeks MPN x Faktor Pengenceran)	
		Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks MPN	Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks MPN	Influent	Effluent
		10	1	0,1		10	1	0,1			
1	5	3	3	3	1898	1	2	3	23	1898000	23000
2	10	3	3	2	438	2	2	0	21	438000	21000
3	15	3	3	3	1898	3	2	1	95	1898000	95000
4	30	3	2	3	139	1	3	3	27	139000	27000
5	60	3	2	3	139	3	1	0	46	139000	46000
6	90	3	2	3	139	3	2	1	95	139000	95000
7	120	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000

Tabel 4. 5 Jumlah Total Coliform Pada Influen dan Effluent Laju Alir 8 mL/menit

No	Waktu (menit)	Influent				Effluent				Total Coliform (Indeks MPN x Faktor Pengenceran)	
		Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks MPN	Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks MPN	Influent	Effluent
		10	1	0,1		10	1	0,1			
1	5	3	3	2	438	2	3	2	38	438000	38000
2	10	3	3	1	271	3	0	1	39	271000	39000
3	15	3	3	2	438	3	2	0	76	438000	76000
4	30	2	3	1	33	2	2	0	21	33000	21000
5	60	3	2	0	76	3	1	2	72	76000	72000
6	90	3	0	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
7	120	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000

Pada **Tabel 4.4** dilakukan pengukuran jumlah total coliform air olahan dari spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak pada laju alir kecil yaitu 4 mL/menit. Pada **Tabel 4.4** diperoleh jumlah total coliform influen dan efluen dengan waktu aliran 5 menit secara berturut-turut adalah 1898000 dan 23000, 10 menit secara berturut-turut adalah 438000 dan 21000, 15 menit secara berturut-turut adalah 1899000 dan 95000, 30 menit secara berturut-turut adalah 139000 dan 27000, 60 menit secara berturut-turut adalah 139000 dan 46000, 90 menit secara berturut-turut adalah 139000 dan 95000, serta 120 menit secara berturut-turut adalah 1898000 dan 1898000. Berdasarkan jumlah total coliform tersebut, terlihat

bahwa terjadi pengurangan total coliform pada waktu aliran 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 90 menit, sedangkan pada waktu aliran 120 menit tidak terjadi pengurangan total coliform sama sekali.

Pada **Tabel 4.5** dilakukan pengukuran jumlah total coliform air olahan dari spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak pada laju alir sedang yaitu 8 mL/menit. Pada **Tabel 4.5** diperoleh jumlah total coliform influen dan efluen dengan waktu aliran 5 menit secara berturut-turut adalah 438000 dan 38000, 10 menit secara berturut-turut adalah 271000 dan 39000, 15 menit secara berturut-turut adalah 438000 dan 76000, 30 menit secara berturut-turut adalah 33000 dan 21000, 60 menit secara berturut-turut adalah 76000 dan 72000, 90 menit dan 120 menit secara berturut-turut adalah 1898000 dan 1898000. Berdasarkan jumlah total coliform tersebut, terlihat bahwa terjadi pengurangan total coliform pada waktu aliran 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, sedangkan pada waktu aliran 90 menit dan 120 menit tidak terjadi pengurangan total coliform sama sekali.

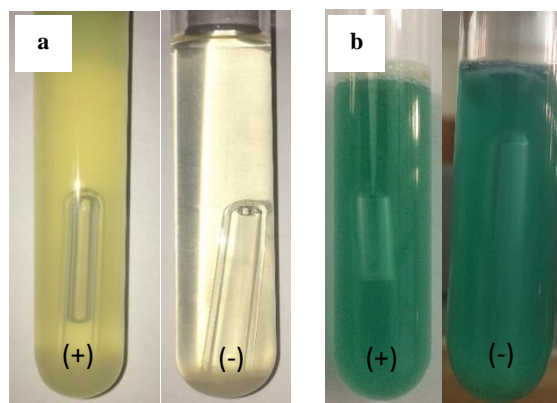
Tabel 4. 6 Jumlah Total Coliform Pada Influen dan Effluent Laju Alir 17 mL/menit

No	Waktu (menit)	Influent				Effluent				Total Coliform (Indeks MPN x Faktor Pengenceran)	
		Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks MPN	Jumlah Tabung Positif			Nilai Indeks MPN	Influent	Effluent
		10	1	0,1		10	1	0,1			
1	5	3	2	1	95	1	3	3	27	95000	27000
2	10	3	2	3	139	2	3	3	44	139000	44000
3	15	2	3	1	33	0	3	2	16	33000	16000
4	30	2	3	3	44	2	3	2	38	44000	38000
5	60	2	3	3	44	2	3	3	44	44000	44000
6	90	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000
7	120	3	3	3	1898	3	3	3	1898	1898000	1898000

Sedangkan pada **Tabel 4.6** dilakukan pengukuran jumlah total coliform air olahan dari spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak pada laju alir tinggi yaitu 17 mL/menit. Pada **Tabel 4.6** diperoleh jumlah total coliform influen dan efluen dengan waktu aliran 5 menit secara berturut-turut adalah 95000 dan 27000, 10 menit secara berturut-turut adalah 139000 dan 44000, 15 menit secara berturut-turut adalah 33000 dan 16000, 30 menit secara berturut-turut adalah 44000 dan

38000, 60 menit secara berturut-turut adalah 44000 dan 44000, 90 menit dan 120 menit secara berturut-turut adalah 1898000 dan 1898000. Berdasarkan jumlah total coliform tersebut, terlihat bahwa terjadi pengurangan total coliform pada waktu aliran 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, sedangkan pada waktu aliran 60 menit, 90 menit, dan 120 menit tidak terjadi pengurangan total coliform sama sekali.

Berdasarkan tabung positif pada tahap uji perkiraan, dilanjutkan uji pendugaan menggunakan media *Brilliant Green Lactosa Broth* (BGLB). Sesuai dengan **Gambar 4.9** tabung positif ditandai dengan terbentuknya gelembung pada durham, sedangkan tabung negatif tidak terbentuk gelembung pada durham. Gelembung pada durham menandakan bahwa terdapat aktivitas fermentasi berupa gas yang dihasilkan oleh bakteri. Sehingga dapat diartikan bahwa tabung positif menandakan bahwa terdapat bakteri pada air sampel.



Gambar 4. 9 Tabung Positif dan Negatif Pada Media LB (a) dan BGLB (b)

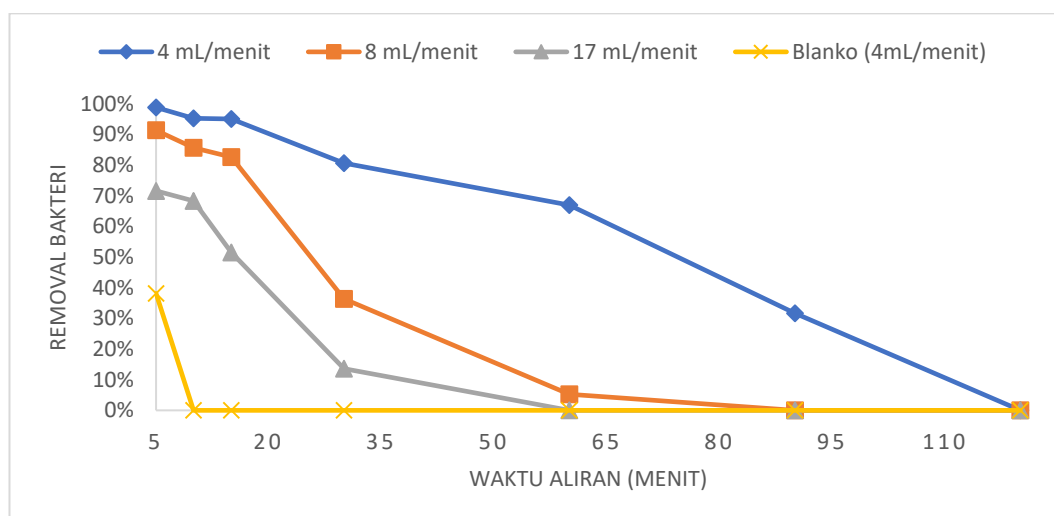
Proses pengujian kemampuan disinfeksi dari spons *luffa cylindrica* yang telah dilapisi nanopartikel perak (AgNPs) dilakukan secara kuantitatif. Secara kuantitatif digunakan untuk menghitung persentase removal bakteri (R%) oleh *luffa cylindrica* yang telah dilapisi nanopartikel perak (AgNPs). Persentase removal bakteri merupakan perbandingan Total Coliform pada influen dan effluen air limbah domestik. Besarnya % removal bakteri (R%) dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$R (\%) = \left(\frac{C_{in} - C_{eff}}{C_{in}} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (4.2)$$

Tabel 4. 7 Removal Bakteri Pada Laju Alir 4 mL/menit, 8 mL/menit, dan 17 mL/menit

No	Waktu (menit)	% Removal			
		4 mL/menit	8 mL/menit	17 mL/menit	Blanko
1	5	98,79 %	91,32 %	71,58 %	38,13 %
2	10	95,21 %	85,61 %	68,35 %	0 %
3	15	94,99 %	82,65 %	51,52 %	0 %
4	30	80,58 %	36,36 %	13,64 %	0 %
5	60	66,91 %	5,26 %	0 %	0 %
6	90	31,65 %	0 %	0 %	0 %
7	120	0 %	0 %	0 %	0 %

Berdasarkan hasil pengujian removal Total Coliform tertinggi terdapat pada laju alir 4 mL/menit dengan waktu aliran 5 menit yaitu mencapai 98,79 %. Pada **Tabel 4.7** menunjukkan bahwa pada laju alir 4 mL/menit mampu meremoval 80%-99% selama 30 menit waktu aliran, sedangkan pada laju alir 8 mL/menit mampu meremoval 80%-90% selama 15 menit waktu aliran. Berbeda dengan laju alir 4 mL/menit dan 8 mL/menit, laju alir tertinggi yaitu 17 mL/menit hanya mampu meremoval 50%-70% selama 15 menit waktu aliran. Hal ini selaras dengan **Gambar 4.10** bahwa semakin cepat laju alir maka semakin rendah performa removal bakteri, karena laju alir cepat memberikan pergerakan bakteri melewati media spons *luffa cylindrica* juga cepat. Sehingga bakteri belum berkesempatan melakukan kontak dengan media spons *luffa cylindrica* yang berlapis nanopartikel perak.

**Gambar 4. 10** Grafik Hubungan Removal Bakteri Terhadap Laju Alir dan Waktu Aliran

Selain persentase removal bakteri, terdapat metode lain untuk menghitung total coliform yaitu *Total Plate Count* (TPC). TPC mengukur total coliform dengan menumbuhkan coliform pada media agar, namun pengukuran menggunakan TPC sangat tidak akurat. Hal ini dikarenakan TPC memungkinkan dapat mengurangi jumlah total coliform yang sebenarnya dan hanya dapat mengukur jumlah populasi mikroba 30-300 koloni apabila lebih kecil/lebih besar dari jumlah populasi yang ditetapkan maka kurang akurat. Secara kuantitatif pengujian kemampuan antibakteri dapat ditentukan melalui *Log Removal Values* (LRV). *Log Removal Values* (LRV) adalah ukuran kemampuan suatu proses pengolahan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen. LRV ditentukan dengan mengambil logaritma dari ratio konsentrasi patogen pada influen dan effluen air dari proses pengolahan, sehingga lebih akurat. Rumus perhitungan menggunakan *Log Removal Values* (LRV) adalah sebagai berikut :

$$LRV = \log_{10} \left(\frac{C_{in}}{C_{eff}} \right) \dots \dots \dots (4.3)$$

Sesuai dengan rumus 4.3 diperoleh hasil *Log Removal Value* (LRV) hasil uji kemampuan disinfeksi secara kuantitatif pada spons *luffa cylindrica* yang telah dilapisi nanopartikel perak (AgNPs) terhadap Total Coliform dapat dilihat pada **Table 4.8**.

Tabel 4. 8 LRV Pada Laju Alir 4 mL/menit, 8 mL/menit, 17 mL/menit, dan Blanko

No	Waktu (menit)	LRV			
		4 mL/menit	8 mL/menit	17 mL/menit	Blanko
1	5	1,9	1,1	0,5	0
2	10	1,3	0,8	0,5	0
3	15	1,3	0,8	0,3	0
4	30	0,7	0,2	0,1	0
5	60	0,5	0	0	0
6	90	0,2	0	0	0
7	120	0	0	0	0

Pada **Tabel 4.8** hasil uji removal Total Coliform pada blanko diperoleh nilai LRV 0 untuk semua waktu aliran. Laju alir 4 mL/menit diperoleh nilai LRV pada waktu aliran 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit secara berturut-turut adalah 1,9; 1,3; 1,3; 0,7; 0,5; 0,2; dan 0. Laju alir 8 mL/menit diperoleh nilai LRV pada waktu aliran 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit secara berturut-turut adalah 1,1; 0,8; 0,8; 0,2 dan pada waktu aliran 60 menit, 90 menit, dan 120 menit adalah 0. Sedangkan Laju alir 17 mL/menit diperoleh nilai LRV pada waktu aliran 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit secara berturut-turut adalah 0,5; 0,5; 0,3; 0,1 dan pada waktu aliran 60 menit, 90 menit, dan 120 menit adalah 0. Data LRV dengan nilai 1 setara dengan meremoval 90%, nilai 2 setara dengan meremoval 99%, dan nilai 3 setara dengan meremoval 99,9% dari patogen target. Hal ini dapat diartikan bahwa nanopartikel perak dapat menempel dengan baik pada spons *luffa cylindrica* selama 15 menit waktu aliran. Setelah 15 menit, performa removal total coliform oleh spons *luffa cylindrica* menurun.

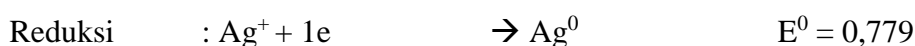
4.2 Pembahasan

4.2.1 Reduksi Perak Nitrat oleh Trisodium Sitrat

Reduksi kimia dilakukan menggunakan Perak Nitrat (AgNO_3) dengan Trisodium Sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$). Menurut beberapa literatur, jenis reduktor mempengaruhi pembentukan nanopartikel perak. Selain itu, ukuran partikel perak juga mempengaruhi aktivitas disinfeksi. Haryono dkk. (2008) menyatakan bahwa ketika perak nitrat (AgNO_3) dilarutkan ke dalam air, maka terjadi disosiasi menjadi ion perak positif (Ag^+) dan ion nitrat negatif (NO_3^-). Untuk mengubah ion perak positif menjadi perak padat (logam perak) diperlukan proses reduksi. Trisodium sitrat memiliki keunggulan dibandingkan reduktor lain yaitu memiliki fungsi ganda sebagai reduktor dan stabilisator serta salah satu reduktor dengan harga murah dan mudah ditemukan. Reaksi kimia yang terjadi pada proses reduksi perak nitrat (AgNO_3) menggunakan reduktor trisodium sitrat sebagai berikut:



Pada saat preparasi nanopartikel perak melalui reaksi diatas dipengaruhi oleh adanya kontak antara perak yang terbentuk dengan oksigen selama reaksi berlangsung. Oksidasi akan terjadi apabila adanya kontak perak dengan oksigen, sehingga biasanya membentuk senyawa kompleks. Senyawa kompleks yang terbentuk adalah perak-sitrat. Reaksi diatas dapat ditulis harga energi potensialnya, sehingga dapat diketahui energi potensial sel sebagai berikut:



$$E^0 \text{ sel} = E^0 \text{ reduksi} - E^0 \text{ oksidasi}$$

$$E^0 \text{ sel} = 0,779 - 1,224$$

$$E^0 \text{ sel} = - 0,445 \dots \dots \dots (4.5)$$

Berdasarkan energi potensial diatas, diperoleh hasil energi potensial sel yang berharga negatif. Energi potensial sel yang berharga negatif menandakan bahwa reaksi yang terjadi merupakan reaksi yang tidak spontan. Reaksi diatas seharusnya tidak dapat berlangsung, tetapi ion Ag^+ bereaksi dengan ion $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^-$ membentuk senyawa kompleks perak-sitrat $[\text{Ag}^+ \text{-----} \text{sitrat}^-]$ atau $[\text{Ag}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_{n+1}]^{3n-}$. Berikut ini reaksi pembentukan senyawa kompleks dalam reaksi tersebut:



Senyawa ini menyebabkan reduksi Ag^+ menjadi Ag^0 secara lambat sehingga reaksi dapat berlangsung.

4.2.2 Pengaruh Reduktor (Trisodium Sitrat) Terhadap Pembentukan Nanopartikel Perak

Pada penelitian yang telah dilakukan, reduktor yang digunakan pada proses reduksi perak nitrat (AgNO_3) adalah trisodium sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$) yang termasuk

reduktor kuat. Pada **Gambar 4.2** penambahan tetes demi tetes trisodium sitrat menyebabkan perubahan warna larutan secara bertahap dari berwarna jernih menjadi kuning pucat hingga kuning kecoklatan. Pada saat penambahan reduktor trisodium sitrat kedalam larutan, hanya membutuhkan waktu kurang dari 5 menit hingga larutan berubah warna. Perubahan warna menjadi kuning pucat hingga kuning kecoklatan dikarenakan adanya efek quantum, yaitu adanya perubahan bentuk dan warna ketika menjadi ukuran nanopartikel. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Ahmad dkk. (2011) yang mengindikasikan terjadinya pembentukan nanopartikel perak (Ag) di dalam larutan. Nanopartikel perak (Ag) memberikan warna khas yang diakibatkan oleh adanya absorpsi plasmon pada permukaan perak. Adanya perbedaan warna yang dihasilkan pada larutan sampel, dikarenakan adanya pengaruh jenis reduktor yang digunakan. Reduksi ion perak (Ag) dalam larutan biasanya menghasilkan larutan koloid perak dengan diameter partikel berupa nanometer (Herianto, 2018).

Ukuran nanopartikel perak dapat dikontrol dengan berbagai cara. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah mengatur jenis atau konsentrasi dari reduktor. Setelah ion perak direduksi, maka logam perak akan terbentuk sesuai dengan persamaan 4.3 dan mulai tumbuh membesar. Ukuran partikel perak akan berhenti pada posisi keseimbangan antara ion perak (Ag^+) dan logam perak (Ag^0). Nanopartikel perak berukuran kecil digunakan karena memiliki luas permukaan yang besar, sehingga kontak dengan bakteri semakin besar pula. Apabila kontak dengan bakteri semakin besar, maka performa removal bakteri akan baik. Nanopartikel perak berukuran kecil dihasilkan oleh agen pereduksi yang cepat. Reaksi reduksi yang cepat akan membentuk nanopartikel yang banyak pada permukaan spons *luffa cylindrica*. Menurut Haryono dkk. (2008) jumlah nanopartikel perak yang banyak akan menghambat pertumbuhan nanopartikel perak yang besar. Konsentrasi larutan yang homogen dapat membantu terbentuknya nanopartikel yang homogen.

Trisodium sitrat membantu proses reduksi perak nitrat secara cepat. Selain jenis reduktor, konsentrasi reduktor juga mempengaruhi pembentukan nanopartikel perak secara cepat. Pada penelitian ini, digunakan reduktor trisodium sitrat

sebanyak 1 %. Berdasarkan konsentrasi yang digunakan, menyebabkan ukuran nanopartikel perak yang terbentuk semakin kecil. Hal ini ditandai oleh terjadinya kecenderungan beraglomerasi, karena partikel berukuran nanometer cenderung memiliki stabilitas yang sedikit kurang baik. Kestabilan yang sedikit kurang baik ini diperlihatkan pada **Gambar 4.4** bahwa koloid nanopartikel perak pada sampel 1 dan sampel 2 mengalami pergeseran puncak serapan. Menurut Ariyanta dkk. (2014) aglomerasi dapat terjadi karena partikel berukuran nanometer memiliki luas permukaan yang besar. Sehingga ikatan kimia antar partikel pada luas permukaan yang besar membentuk dipol listrik yang kuat. Oleh karena itu reduktor sekaligus stabilisator dalam sintesis nanopartikel perak memiliki peran yang sangat penting.

4.2.3 Hubungan Puncak Serapan Koloid Terhadap Ukuran Partikel

Analisa absorbansi (serapan) dapat sekaligus menunjukkan sifat optik dari suatu material. Analisa spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk memperkirakan ukuran dan bentuk nanopartikel. Selain itu, analisa absorbansi merupakan jenis analisa tercepat dan termudah untuk mengetahui terbentuknya nanopartikel. Pada penelitian ini, pengukuran menggunakan Spektrofotometri UV-Vis koloid nanopartikel perak memberikan puncak absorpsi pada panjang gelombang 420 nm yang merupakan puncak serapan nanopartikel perak. Hal ini sesuai dengan sebuah studi penelitian tentang pengurangan sakarida Ag^+ ion oleh proses Tollens yang dimodifikasi mengungkapkan bahwa partikel terkecil terbentuk pada konsentrasi amonia terendah. Secara khusus, glukosa dan konsentrasi amonia terendah 0,005 M, menghasilkan ukuran partikel rata-rata terkecil 57 nm dengan maksimum intens penyerapan plasmon permukaan pada 420 nm (Sharma dkk, 2008).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Apriandanu dkk. (2013) sampel hasil sintesis yang terbentuk pada panjang gelombang 400 nm – 450 nm merupakan nanopartikel perak (Ag^0), sedangkan sampel hasil sintesis yang terbentuk pada panjang gelombang 370 nm – 400 nm merupakan ion perak (Ag^+). Pada **Gambar 4.4** pengujian puncak serapan pada sampel larutan yang dilakukan secara duplo merupakan nanopartikel perak (Ag^0). Hal ini dikarenakan kedua sampel

memperoleh puncak serapan panjang gelombang sekitar 420 nm. Selaras dengan **Tabel 4.1** menunjukkan hubungan puncak serapan dengan diameter nanopartikel perak berdasarkan rumus 4.1, yaitu ukuran diameter nanopartikel perak pada sampel 1 adalah 48,1 nm dan pada sampel 2 adalah 46,8 nm.

4.2.4 Pengaruh Lama Waktu Rendaman Terhadap Ketahanan Lapisan Nanopartikel Perak Pada Spons *Luffa Cylindrica* Sebagai Media Disinfeksi

Pada uji *leaching* yang telah dilakukan, lama waktu rendaman terhadap ketahanan lapisan nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* sangat berpengaruh. Pada **Tabel 4.2** diperoleh konsentrasi perak terlepas terendah pada waktu rendaman 3 jam sebesar 0,2439 mg/L dan konsentrasi perak terlepas terendah pada waktu rendaman 24 jam sebesar 0,4789 mg/L. Hal ini dikarenakan selama proses pelapisan, terdapat pencucian spons *luffa cylindrica* dengan *aquadest* sebanyak tiga kali. Sehingga kemungkinan kadar perak yang menempel pada spons *luffa cylindrica* hanya sedikit. Berdasarkan **Gambar 4.8** semakin lama waktu rendaman spons *luffa cylindrica* maka semakin tinggi konsentrasi perak yang terlepas. Hal ini dikarenakan kekuatan adhesi antara nanopartikel perak (AgNPs) dan spons *luffa cylindrica* sangat lemah. Adhesi adalah gaya tarik-menarik antar partikel yang tidak sejenis. Selain itu, pemisahan nanopartikel perak dalam air menyebabkan pelepasan ion perak. *Leaching* perak juga tergantung pada konsentrasi perak dalam media spons *luffa cylindrica* (Mecha dkk, 2014).

Proses *Leaching* yang terjadi mengurangi jumlah nanopartikel perak pada media disinfeksi. Hal ini menyebabkan menurunnya kinerja spons *luffa cylindrica* sebagai media disinfeksi sesuai dengan **Tabel 4.7**. Pada **Tabel 4.7** ketiga variasi laju alir saat waktu aliran 2 jam, spons *luffa cylindrica* sudah tidak mampu meremoval bakteri lagi. Hasil uji disinfeksi tersebut tidak selaras dengan kadar perak yang dihasilkan pada uji *leaching*. Pada saat uji *leaching*, rentang waktu hingga 24 jam masih menghasilkan nanopartikel perak yang terlepas. Hal ini dikarenakan pelepasan kadar perak pada proses perendaman berbeda dengan proses pengaliran. Pada saat proses perendaman, nanopartikel perak pada spons *luffa*

cylindrica tidak mengalami tekanan. Sehingga proses pelepasan nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* berjalan lambat.

4.2.5 Pengaruh Kecepatan Laju Alir dan Waktu Aliran Terhadap Kemampuan Disinfeksi Pada Spons *Luffa Cylindrica*

Pada **Tabel 4.7** hasil removal total coliform pada blanko (spons *luffa cylindrica* tanpa nanopartikel perak) diperoleh 38,13% pada waktu aliran 5 menit dan pada waktu aliran 10-120 menit diperoleh 0%. Hasil removal total coliform tertinggi pada laju alir 4 mL/menit dengan waktu aliran 5 menit adalah 98,79%, Untuk laju alir 8 mL/menit adalah 91,32, Sedangkan untuk laju alir 17 mL/menit adalah 71,58%. Blanko (spons *luffa cylindrica* tanpa lapisan nanopartikel perak) hanya mampu meremoval bakteri pada 5 menit pertama akibat adanya daya filtrasi. Pada **Gambar 4.10** kemampuan *removal* bakteri oleh spons *luffa cylindrica* , semakin cepat laju alir dan semakin lama waktu aliran menunjukkan penurunan kemampuan *removal* bakteri. Hal ini dikarenakan semakin cepat laju alir dan semakin lama waktu aliran menyebabkan nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* lepas. Sesuai dengan uji *leaching* sebelumnya, ketika spons *luffa cylindrica* yang di rendam dengan *aquadest* pada rentang waktu 1 jam, 3 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam mengalami *leaching*. Proses *leaching* ini menyebabkan kemampuan media spons *luffa cylindrica* untuk meremoval bakteri menjadi turun. Menurut Hendrayani, dkk. (2013) laju alir yang tinggi dapat menyebabkan pergerakan bakteri yang cukup kuat. Pergerakan bakteri yang kuat dapat mengakibatkan bakteri tersebut lolos dan terbawa aliran air hasil olahan. Ketika laju aliran lambat, maka bakteri dapat berkesempatan menempel pada permukaan media yang mengandung nanopartikel perak. Sehingga proses *removal* bakteri terjadi dengan baik.

Waktu aliran juga mempengaruhi kemampuan disinfeksi pada spons *luffa cylindrica*. Hal ini dikarenakan kemampuan media spons *luffa cylindrica* yang berlapis nanopartikel perak pada penelitian ini mengalami penurunan kinerja apabila dialirkan secara terus menerus. Pada **Gambar 4.6** nanopartikel perak pada spons *luffa cylindrica* tidak menempel secara merata, sehingga tidak keseluruhan

bakteri mampu diremoval oleh spons tersebut. Sehingga apabila dialirkan air limbah secara terus menerus, terdapat bakteri yang hanya tertahan di media dan terus menumpuk pada media. Hal ini menyebabkan bakteri ikut mengalir pada air olahan.

Pada **Tabel 4.7** menunjukkan kemampuan removal yang baik pada ketiga variasi laju alir pada rentang waktu aliran 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Selaras dengan LRV pada **Tabel 4.8** bahwa pada rentang waktu aliran 5 menit, 10 menit, dan 15 menit memperoleh nilai 1 dan 2 yang menandakan kemampuan removal bakteri berada pada rentang 90%-99%. Kecepatan laju alir yang optimum pada penelitian ini adalah 4 mL/menit dan waktu kontak spons *luffa cylindrica* dengan air limbah adalah 15 menit. Hal ini dikarenakan ketika menggunakan laju alir 4 mL/menit dan waktu kontak 15 menit diperoleh removal bakteri hingga 99%. Selain dipengaruhi oleh kecepatan laju alir dan waktu aliran, air limbah yang digunakan pada penelitian ini menggunakan air limbah domestik pada influen IPAL Mendirol. Karena penelitian ini hanya menggunakan reaktor skala pilot sedangkan air limbah yang digunakan sangat tinggi kandungan Total Coliform, sehingga menyebabkan efisiensi removal bakteri berkurang.

1.2.6 Efektivitas Spons *Luffa Cylindrica* Berlapis Nanopartikel Perak (AgNPs) Sebagai Media Disinfeksi

Spons *Luffa Cylindrica* pada penelitian ini digunakan sebagai media disinfeksi pada pengolahan air limbah domestik dengan dilapisi nanopartikel perak (AgNPs). Pada **Tabel 4.8** memperlihatkan bahwa spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak memperoleh nilai Log Removal Value (LRV) sebesar 1,99. Nilai 1,99 yang diperoleh menandakan bahwa kemampuan removal bakteri oleh spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak adalah 99%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan He dkk. (2014) nilai LRV untuk *Rice Husk Ash* sebesar 1,7. Nilai 1,7 yang diperoleh menandakan bahwa kemampuan removal bakteri oleh *Rice Husk Ash* berlapis nanopartikel perak adalah $90% < 1,7 > 99%$. Pada penelitian yang dilakukan Kallman dkk. (2011) nilai LRV untuk Ceramic materials (*clay mixed with sawdust*) sebesar 1,02. Nilai 1,02 yang diperoleh menandakan bahwa

kemampuan removal bakteri oleh Ceramic materials (*clay mixed with sawdust*) berlapis nanopartikel perak adalah 90%. Sedangkan penelitian yang dilakukan Oyanedel-Craver dkk. (2008) nilai LRV untuk Ceramic filters (*manufactured by combining 40 % soil, 10 % flour, and 50 % grog*) sebesar 1,97. Nilai 1,97 yang diperoleh menandakan bahwa kemampuan removal bakteri oleh Ceramic filters (*manufactured by combining 40 % soil, 10 % flour, and 50 % grog*) berlapis nanopartikel perak adalah 99% Data perbandingan efektivitas spons *luffa cylindrica* sebagai media disinfeksi dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.

Pada **Tabel 4.9** memperlihatkan bahwa spons *luffa cylindrica* mampu menjadi media disinfeksi yang baik dibandingkan *Rice Husk Ash*, Ceramic materials (*clay mixed with sawdust*), dan Ceramic filters (*manufactured by combining 40 % soil, 10 % flour, and 50 % grog*). Spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak pada penelitian ini, memiliki nilai LRV yang sama dengan Ceramic filters (*manufactured by combining 40 % soil, 10 % flour, and 50 % grog*) yaitu 2 yang setara dengan 99% removal bakteri. Spons *luffa cylindrica* masih menjadi pilihan yang efektif sebagai media disinfeksi daripada Ceramic filters (*manufactured by combining 40 % soil, 10 % flour, and 50 % grog*), hal ini dikarenakan harga spons *luffa cylindrica* lebih murah, mudah dibuat dan mudah ditemukan.

Tabel 4.9 Perbandingan Efektivitas Spons *Luffa Cylindrica* Sebagai Media Disinfeksi

No	Media Disinfeksi	LRV	Sumber
1	Spons <i>Luffa Cylindrica</i>	1,99	Penelitian ini
2	<i>Rice Husk Ash</i>	1,7	He, D., Ikeda-Ohno, A., Boland, D. D., Waite, T. D. (2014)
3	Ceramic materials (<i>clay mixed with sawdust</i>)	1,02	Kallman, E. N., Oyanedel-Craver, V. A., Smith, J. A. (2011)
4	Ceramic filters (<i>manufactured by combining 40 % soil, 10 % flour, and 50 % grog</i>)	1,97	Oyanedel-Craver, V., Smith, J. A. (2008)

4.2.7 Aplikasi Spons *Luffa Cylindrica* Berlapis Nanopartikel Perak (AgNPs) Sebagai Media Disinfeksi

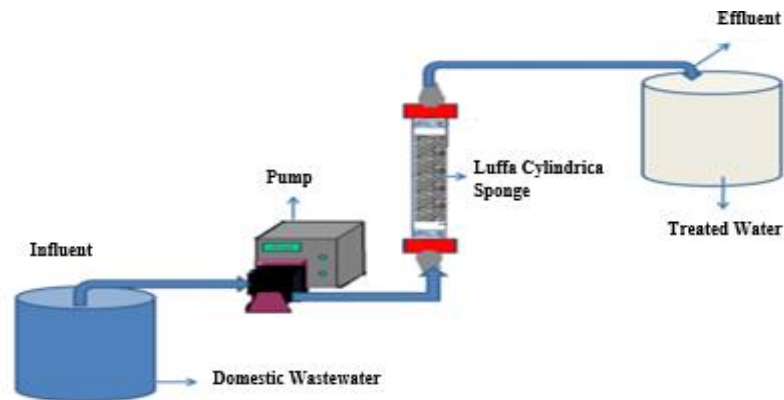
Pada penelitian ini, diperoleh bahwa air limbah yang terfiltrasi masih melebihi baku mutu total coliform Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan

Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 yaitu sebesar 3000 MPN/100 mL. Hal ini dikarenakan limbah yang digunakan merupakan limbah yang dihasilkan pada effluen IPAL Komunal Mendirol. Pada limbah effluen IPAL Komunal Mendirol, masih memerlukan pengenceran sebanyak 3 kali. Sehingga setiap hasil air olahan yang melewati media spons *luffa cylindrica* harus dikalikan 1000. Sehingga total coliform yang diperoleh pada saat melewati spons *luffa cylindrica* melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Jumlah total coliform yang melebihi baku mutu dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4. 10 Jumlah Total Coliform yang Melebihi Baku Mutu

Waktu Aliran (menit)	Total Coliform x 10 ³ MPN/100 mL								Baku Mutu
	Blanko		4 mL/menit		8 mL/menit		17 mL/menit		
	In	Eff	In	Eff	In	Eff	In	Eff	
5	139	86	1898	23	438	38	95	27	3 x 10 ³ MPN/100 mL
10	1898	1898	438	21	271	39	139	44	
15	1898	1898	1898	95	438	76	33	16	
30	1898	1898	139	27	33	21	44	38	
60	1898	1898	139	46	76	72	44	44	
90	1898	1898	139	95	1898	1898	1898	1898	
120	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	

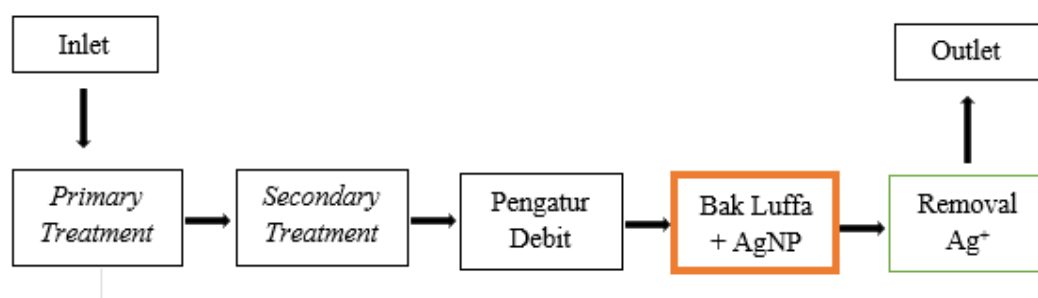
Pada penelitian yang dilakukan Monyatsi dkk. (2012), digunakan sampel uji berupa air tanah (*groundwater*). Penelitian tersebut seharusnya dapat mencapai nilai LRV tinggi dengan laju alir hanya 2 mL/menit dan sampel uji berupa air tanah. Pada penelitian tersebut juga dilakukan pelapisan nanopartikel perak pada resin anion dan resin kation. Filtrasi nanopartikel perak pada resin anion dan kation dilakukan dengan reaktor pada **Gambar 4.11** dengan nilai LRV mencapai 3 walaupun telah dialiri selama 60 menit. Hal ini dapat diartikan bahwa reaktor tersebut berfungsi dengan baik, apabila media yang digunakan juga baik. Oleh karena itu, aplikasi reaktor dibawah ini apabila menggunakan spons *luffa cylindrica* sebagai Ag substrat dapat meningkatkan kinerja disinfeksi dengan biaya murah dan pengoperasian yang mudah.



Sumber : Monyatsi dkk, 2012.

Gambar 4. 11 Skema reaktor skala-lab untuk evaluasi efisiensi disinfeksi spons *luffa cylindrica* yang dilapisi nanopartikel perak.

Penerapan media spons *luffa cylindrica* berlapis nanopartikel perak dapat dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal. Penerapan ini dilakukan untuk mencapai target sanitasi 2019, yaitu 100% akses sanitasi yang terbagi atas air limbah, sampah, dan drainase. Disinfeksi merupakan salah satu pengolahan air limbah yang dapat meningkatkan efisiensi pengolahan hingga 99%. Pada **Gambar 4.12** merupakan desain IPAL komunal dengan menggunakan spons *luffa cylindrica* sebagai media disinfeksi.



Gambar 4. 12 Desain IPAL Komunal Menggunakan Spons *Luffa Cylindrica* Berlapis Nanopartikel Perak

Berdasarkan **Gambar 4.12** pada kondisi lapangan yang memiliki debit fluktuatif, diperlukan pengaturan debit dengan menambahkan *weir* sehingga debit yang masuk ke proses disinfeksi lebih lambat dan kontak air limbah dengan media

disinfeksi lebih lama. Selain itu dibuat bak penampung yang berisikan media disinfeksi dengan dimensi yang besar, sehingga kontak antara air limbah dengan media disinfeksi semakin lama. Lamanya kontak media disinfeksi mempengaruhi performa media untuk meremoval bakteri yang ada pada air limbah. Pada penelitian ini terdapat ion perak yang terlepas dari proses disinfeksi, sehingga diperlukan removal ion perak sebelum dibuang ke badan air. Hal ini dikarenakan perak dapat bersifat toksik terhadap biota air yang sensitif serta manusia jika masuk ke jaringan tubuh melalui mulut, pernapasan, dan kulit.