

JURNAL

TEKNOLOGI DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN
Program Studi Teknik Lingkungan
Sekolah Tinggi Teknologi (STT) Pelita Bangsa

Diterbitkan secara berkala, setahun dua kali setiap bulan April dan September oleh Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa, Bekasi. Memuat artikel yang berkaitan dengan gagasan dan hasil-hasil penelitian dibidang Manajemen dan Teknologi Lingkungan serta ilmu-ilmu yang terkait dengan bidang Manajemen dan Teknologi Lingkungan.

Pelindung

Ketua STT Pelita Bangsa

Penasehat

Wakil Ketua I STT Pelita Bangsa

Pemimpin Redaksi

Putri Anggun Sari, S.Pt., M.Si.

Dewan Redaksi

Giri Nurpribadi, S.T.P., M.M., Aris Dwicahyanto, Ir., M.M., M.Si., Martin Darmasetiawan, Ir., M.M., Emir Sadikin, Ir., M.M., Agus Andriansyah, S.T., M.M.

Mitra Bestari (Reviewer)

Prof. Dr. I Made Putrawan (UNJ);
Prof. Dr. Nadiroh, M.Pd. (UNJ);
Dr. Ir. Supriyanto, M.P.

Sekretariat Pelaksana

Dodit Ardiatma, S.T., M.Sc.;
Ir. Iwuk Sriharyuniwati, M.M.

Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Lingkungan STT Pelita Bangsa
Kampus STT Pelita Bangsa Jl. Inspeksi Tegal Danas Arah DELTAMAS Cikarang Pusat Bekasi
Telp. 021 2852 8181, 82, 83, 84; Fax. 021 2851 8180
Email : teknik.lingkungan@pelitabangsa.ac.id
Website : www.pelitabangsa.ac.id

JURNAL TEKNOLOGI DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN**Volume 3, Nomor 2, September 2016**

1. Hubungan Antara Masa Kerja Dengan Tingkat Perilaku Tidak Aman Pada Bagian Machining Pt. Showa Indonesia Manufacturing Cikarang-Bekasi..... 1-19
2. Perbaikan Desain Sedimentasi Pada Water Treatment Plant (Wtp), Studi Kasus Pada Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi..... 20-37
3. Kajian Karakteristik, Potensi dan Permasalahan di Hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Grindulu Bagian Timur Kabupaten Pacitan... 38-57
4. Peningkatan Yield Biodiesel Minyak Nyamplung Menggunakan Iradiasi Microwave..... 58-69
5. Evaluasi Pola Pembuangan Sampah Di Pinggiran Kawasan Industri Mm2100..... 70-86

**HUBUNGAN ANTARA MASA KERJA DENGAN TINGKAT PERILAKU TIDAK AMAN
PADA BAGIAN MACHINING PT. SHOWA INDONESIA MANUFACTURING
CIKARANG-BEKASI**

Agus Andriansyah¹⁾, Putri Anggun Sari²⁾, Anton Widodo³⁾

^{1, 2)}Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

³⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

e-mail : adiartha_sae@yahoo.com

ABSTRAK

PT. Showa Indonesia Manufacturing sebagai perusahaan yang taat terhadap peraturan perundangan yang berlaku dan berprinsip bahwa karyawan adalah aset paling berharga telah menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Namun walaupun telah mengikuti program pemerintah tentang penjaminan keselamatan dan kesehatan kerja pada pelaksanaan operasional harian masih terdapat beberapa kejadian kecelakaan kerja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing dan untuk mengetahui hubungan positif atau negatif antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing. Pengolahan data dan analisa data dilakukan dengan membuat hubungan antara masa kerja karyawan dengan tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan di *machining*, sehingga akan didapatkan persamaan linier antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman. Terdapat hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining*, bahwa lamanya masa kerja akan mempengaruhi tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan *machining*. Hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing secara umum adalah merupakan hubungan yang positif dengan nilai korelasi sebesar +0,696 yang berarti berkorelasi positif dengan tingkat cukup berdasarkan korelasi *Product Moment Pearson*.

Kata Kunci: *masa kerja, perilaku tidak aman, machining, showa*

1. PENDAHULUAN

Salah satu tolok ukur keberhasilan suatu perusahaan dalam usaha penjaminan keselamatan dan kesehatan kerja adalah rendahnya angka kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja yang terdapat dalam perusahaan.

PT. Showa Indonesia Manufacturing sebagai perusahaan yang taat terhadap peraturan perundangan yang berlaku dan berprinsip bahwa karyawan adalah aset paling berharga telah menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) dari tahun 1996 dan telah tersertifikasi (*Occupational Health and Safety Assessment Series*) OHSAS 18001 oleh Badan Sertifikasi Sucofindo dari tahun 2001. Namun walaupun telah mengikuti program pemerintah tentang penjaminan keselamatan dan kesehatan kerja pada pelaksanaan operasional harian masih terdapat beberapa kejadian kecelakaan kerja.

Kecelakaan kerja yang terjadi berada pada bagian produksi yang memiliki tingkat resiko kecelakaan kerja lebih tinggi dari bagian administrasi. Hal itu dikarenakan keanekaragaman mesin jenis mesin produksi yang ada di PT. Showa Indonesia Manufacturing antara lain adalah *Machining, Cutting, Buffing, Casting, Plating, Painting*, lebih memiliki resiko kecelakaan kerja karena adanya interaksi langsung anggota badan dengan benda yang bergerak maupun berputar.

Upaya yang dilakukan oleh PT. Showa Indonesia Manufacturing dalam menekan angka kecelakaan kerja adalah dengan membentuk satu bagian yang bertugas untuk mengelola Lingkungan, Kesehatan dan Keselamatan Kerja yang dikepalai oleh seorang manager, bagian tersebut dinamai dengan *EHS Department (Environment, Health and Safety)*.

Kejadian kecelakaan kerja yang terjadi di PT. Showa Indonesia Manufacturing dalam kurun waktu tahun 2014 adalah sebanyak 25 kejadian. Dari jumlah tersebut 22 kejadian atau 88% disebabkan oleh perilaku tidak aman (*Unsafe Action*) yang dilakukan oleh karyawan dan tiga kejadian atau 12% disebabkan oleh kondisi tidak aman. Kondisi ini selaras dengan teori yang dicetuskan oleh Heinrich yaitu 'Faktor penyebab dari kecelakaan kerja adalah 88% disebabkan oleh perbuatan atau tindakan tidak aman dari manusia (*unsafe action*), sedangkan sisanya disebabkan oleh hal-hal yang tidak berkaitan dengan kesalahan manusia, yaitu 10% disebabkan kondisi yang tidak aman (*unsafe condition*) dan 2% disebabkan takdir Tuhan (Swaputri, 2009).

Namun bila ditilik dari sisi masa kerja terdapat keberagam masa kerja pada para karyawan yang mengalami kecelakaan kerja tersebut. Sebanyak 60% kecelakaan kerja dialami oleh karyawan dengan masa kerja >1 – 2 tahun, 12% oleh masa kerja 2 - 5 tahun,

16% oleh masa kerja 5 - 10 tahun, dan 12% oleh karyawan dengan masa kerja lebih dari 10 tahun.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing dan untuk mengetahui hubungan positif atau negatif antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sebuah perusahaan yang bergerak di sektor otomotif yaitu PT. Showa Indonesia Manufacturing yang berlokasi di Jl. Jababeka VI, Kav. 28-36, Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi.

2.2 Obyek Penelitian

Peneliti menetapkan obyek penelitian di bagian *machining* yang difokuskan pada perilaku-perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan dan dapat mengakibatkan terjadinya kecelakaan kerja.

Lokasi *machining* dipilih karena berdasarkan data kecelakaan kerja tahun 2014 di PT. Showa Indonesia Manufacturing 88% disebabkan oleh perilaku tidak aman dan 12% disebabkan oleh kondisi yang tidak aman dan proses *machining* menyumbang 36,4% kejadian kecelakaan akibat tindakan tidak aman yang menempati urutan teratas dari 7 jenis lokasi pekerjaan.

2.3 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 3 bulan dimulai dari tanggal 9 Maret 2015 sampai tanggal 5 Juni 2015.

2.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas pada penelitian ini adalah masa kerja karyawan. Sedangkan yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini adalah tingkat perilaku tidak aman di lokasi *machining*.

2.5 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan adalah berupa lembar observasi atau lembar pengamatan yang telah ditentukan jenis perilaku yang akan diamati. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perilaku karyawan sebagai obyek penelitian.

2.6 Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan analisa data kecelakaan kerja tahun 2014 di PT. Showa Indonesia Manufacturing untuk mengetahui permasalahan dan penyebab terjadinya kecelakaan kerja dan dapat ditemukan tema penelitian. Selanjutnya ditentukan lokasi penelitian dan obyek penelitian berdasarkan data kecelakaan kerja tahun 2014 tersebut.

Penelitian dilakukan dengan didasari dan membandingkan dengan teori-teori yang sudah ada, sehingga dilakukan juga studi kepustakaan untuk mendapatkan informasi-informasi penting yang terkait dengan penelitian ini.

2.7 Analisa Data

Pengolahan data dan analisa data dilakukan dengan membuat hubungan antara masa kerja karyawan dengan tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan di *machining*, sehingga akan didapatkan persamaan linier antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman.

Analisa dilakukan meliputi parameter-parameter yang ditentukan yaitu :

1. Posisi tubuh saat bekerja (Ergonomi)
2. Alat Pelindung Diri (APD)
3. Alat / *Equipment* / Mesin
4. Area Kerja

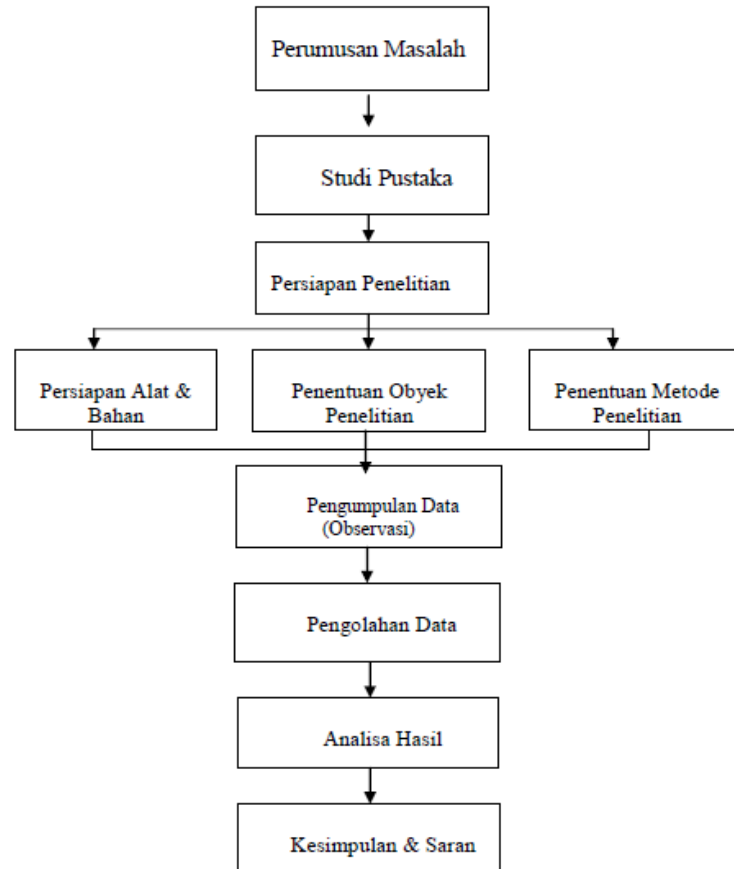
Selain itu dilakukan analisa pula terhadap perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan *machining* secara keseluruhan untuk mengetahui hubungan dari lamanya masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman yang terjadi.

Analisa data dilakukan dengan mencari nilai persamaan linear dengan menggunakan grafik yang terdapat pada MS Excel. Selain itu dilakukan juga dengan analisa dengan korelasi *Product Moment Pearson* dengan menggunakan program SPSS

17, sehingga akan didapatkan nilai korelasi yang dapat diinterpretasikan tingkat korelasinya.

2.8 Mekanisme Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mekanisme Tahapan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Penentuan Tim Observer

Anggota tim diambil dari karyawan PT. Showa Indonesia Manufacturing yang bertugas sesuai dengan shiftnya, karena di perusahaan ini secara struktur organisasi ditempatkan satu departemen yang hanya bertugas pada shift sore dan malam. Tim observer yang terlibat dalam pengamatan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar Tim Observasi *Behavior Based Safety*

No	Nama	Lokasi Observasi	Waktu Observasi
1	Anton Widodo	MC 1 s/d 5	Shift Pagi
2	M. Nasuka	MC 6 s/d 9	Shift Pagi
3	Sarwoko	MC 1 s/d 5	Shift Sore
4	Agus Sumbono	MC 6 s/d 9	Shift Sore
5	Nanang Johari	MC 1 s/d 5	Shift Malam
6	Udin Syamsudin	MC 6 s/d 9	Shift Malam

Sumber: Daftar tim observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing

3.2 Penentuan Parameter Observasi

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter yang terdapat keterkaitan yang kuat sehingga apabila terdapat perilaku tidak aman pada parameter tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja baik langsung maupun tidak langsung. PT. Showa Indonesia sendiri telah menetapkan lima parameter utama dalam melakukan pengamatan perilaku tidak aman terhadap karyawannya, parameter tersebut adalah:

1. Posisi tubuh saat bekerja (Ergonomi).
2. Alat pelindung diri (APD)
3. Alat kerja / *Equipment* / Mesin
4. Area kerja
5. Berkendara

Dalam penelitian ini parameter berkendara tidak digunakan sebagai parameter penelitian, hal ini dikarenakan penelitian hanya dilakukan di dalam PT. Showa Indonesia Manufacturing utamanya di proses machining, sedangkan berkendara adalah parameter perilaku yang berada di luar lingkungan kerja PT. Showa Indonesia Manufacturing.

3.3 Hasil Observasi

Observasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan pada karyawan yang terlibat langsung dengan produksi barang (*direct labour*), sedangkan untuk karyawan yang tidak

terlibat langsung dalam pembuatan barang (*indirect labour*) tidak dilakukan pengamatan. Bagian *machining* memiliki 31 karyawan yang bekerja langsung dalam pembuatan barang, sehingga observasi hanya dilakukan terhadap 31 karyawan tersebut.

Komposisi masa kerja dari 31 karyawan yang dilakukan observasi dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi Karyawan Berdasarkan Masa Kerja

Masa Kerja	Jumlah	Persentase
<1 tahun	5	16,13%
1 – 2 tahun	11	35,48%
> 2 – 5 tahun	0	0%
> 5 – 10 tahun	12	38,71%
> 10 – 15 tahun	3	9,68%
> 15 tahun	0	0%

Sumber : Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing

Observasi pada penelitian ini didapatkan data bahwa terdapat 204 perilaku tidak aman dari 520 perilaku yang berhasil dilakukan pengamatan, artinya masih terdapat 39,2% perilaku yang dilakukan oleh karyawan *machining* merupakan perilaku yang beresiko mengakibatkan terjadinya kecelakaan kerja. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Hasil Observasi

Parameter Perilaku	Jumlah Perilaku Aman (a)	Jumlah Perilaku Tidak Aman (b)	Persentase Perilaku Tidak Aman Tiap Parameter $b / (a+b)$	Persentase Kontribusi Perilaku Tidak Aman $b / \sum b$	Persentase Perilaku Tidak Aman Terhadap Total Perilaku $b / \sum a + \sum b$
Posisi tubuh Saat Bekerja	62	38	38,0%	18,63%	7,31%
Alat Pelindung Diri	89	78	46,71%	38,24%	15,0%
Alat Kerja/ Equipment/ Mesin	126	65	33,03%	31,86%	12,5%
Area Kerja	39	23	37,10%	11,27%	4,42%
Total	316	204		100%	39,2%

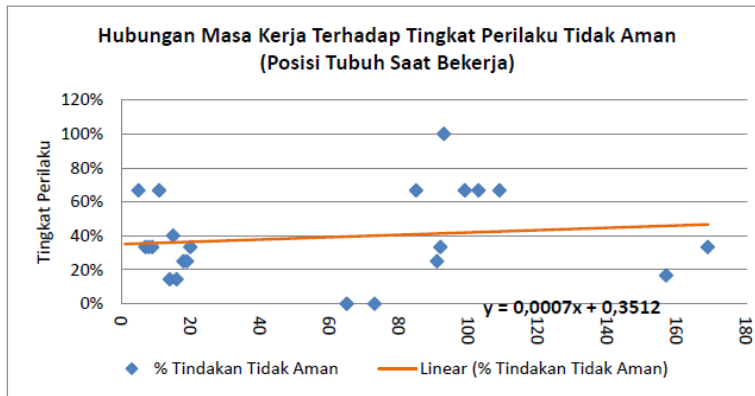
Sumber : Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing

3.3.1 Posisi Tubuh Saat Bekerja (Ergonomi)

Berdasarkan tabel 3.3 dapat diketahui bahwa perilaku tidak aman pada posisi tubuh saat bekerja menempati urutan ke tiga secara total dengan 18,63%. **Tabel 3.4** Rincian Perilaku Tidak Aman Pada Parameter Posisi Tubuh Saat Bekerja

No	Masa Kerja (Bulan)	Total Seluruh Tindakan (a)	Jumlah Tindakan		% Tindakan Tidak Aman c / a
			Aman (b)	Tidak Aman (c)	
1	4 Bln	3	1	2	66.67%
2	6 Bln	3	2	1	33.33%
3	7 Bln	3	2	1	33.33%
4	8 Bln	3	2	1	33.33%
5	10 Bln	3	1	2	66.67%
6	13 Bln	7	6	1	14.29%
7	14 Bln	10	6	4	40.00%
8	15 Bln	7	6	1	14.29%
9	17 Bln	4	3	1	25.00%
10	18 Bln	8	6	2	25.00%
11	19 Bln	3	2	1	33.33%
12	64 Bln	3	3	0	0.00%
13	72 Bln	3	3	0	0.00%
14	84 Bln	3	1	2	66.67%
15	90 Bln	4	3	1	25.00%
16	91 Bln	3	2	1	33.33%
17	92 Bln	3	0	3	100.00%
18	98 Bln	3	1	2	66.67%
19	102 Bln	6	2	4	66.67%
20	108 Bln	9	3	6	66.67%
21	156 Bln	6	5	1	16.67%
22	168 Bln	3	2	1	33.33%
	Total	100	62	38	38.00%

Sumber: Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing



Gambar 3.1 Hubungan Masa kerja Terhadap Perilaku Tidak Aman Pada Aspek Posisi Tubuh Saat Bekerja

Dari grafik diatas diperoleh persamaan linier ;

$$y = 0.0007x + 0.3512$$

dimana, y = Tingkat perilaku tidak aman; dan x = Masa kerja (bulan)

Hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin lama masa kerja karyawan machining maka semakin meningkat tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan. Namun seberapa besar hubungan antara masa kerja dengan perilaku tidak aman pada aspek ini dapat digambarkan dengan analisa korelasi *Product Moment Person* dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 seperti pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Hasil analisa korelasi *Product Moment Pearson* Posisi Tubuh Saat Bekerja dengan SPSS 17

Correlations			
		Masa Kerja	Tingkat_Tdk_Aman_Posisi_Tubuh
Masa_Kerja	Pearson Correlation	1	.233
	Sig. (2-tailed)		.207
	N	31	31
Tingkat Tdk Aman Posisi Tubuh	Pearson Correlation	.233	1
	Sig. (2-tailed)	.207	
	N	31	31

Nilai korelasi yang dihasilkan dengan pengolahan data menggunakan SPSS 17 menunjukkan nilai +0,233 yang berarti tingkat korelasinya adalah rendah. Namun walaupun nilainya rendah masih menunjukkan hubungan yang positif antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman.

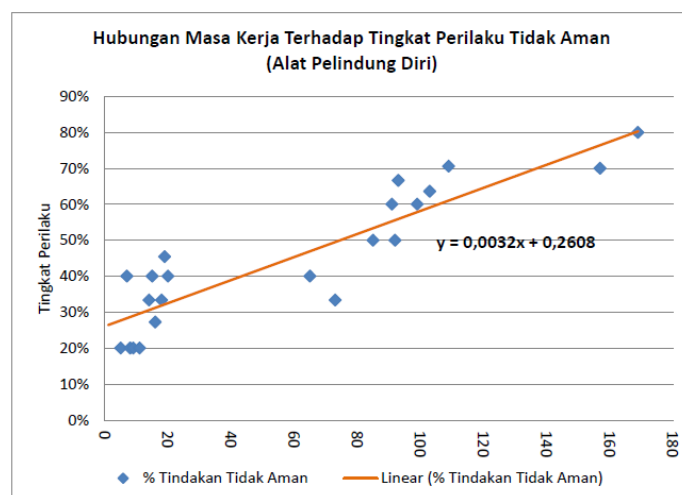
3.3.2 Alat Pelindung Diri (APD)

Dilihat dari data pada tabel 3.3 dapat diketahui bahwa perilaku tidak aman pada aspek alat pelindung diri sebesar 38,23%. Namun apabila diperinci lebih detail, perilaku tidak aman yang terjadi pada aspek alat pelindung diri adalah sebesar 46,71%.

Tabel 3.6 Rincian Perilaku Tidak Aman Pada Parameter Alat Pelindung Diri

No	Masa Kerja (Bulan)	Total Seluruh Tindakan (a)	Jumlah Tindakan		% Tindakan Tidak Aman c / a
			Aman (b)	Tidak Aman (c)	
1	4 Bln	5	4	1	20.00%
2	6 Bln	5	3	2	40.00%
3	7 Bln	5	4	1	20.00%
4	8 Bln	5	4	1	20.00%
5	10 Bln	5	4	1	20.00%
6	13 Bln	12	8	4	33.33%
7	14 Bln	15	9	6	40.00%
8	15 Bln	11	8	3	27.27%
9	17 Bln	6	4	2	33.33%
10	18 Bln	11	6	5	45.45%
11	19 Bln	5	3	2	40.00%
12	64 Bln	5	3	2	40.00%
13	72 Bln	6	4	2	33.33%
14	84 Bln	6	3	3	50.00%
15	90 Bln	5	2	3	60.00%
16	91 Bln	6	3	3	50.00%
17	92 Bln	6	2	4	66.67%
18	98 Bln	5	2	3	60.00%
19	102 Bln	11	4	7	63.64%
20	108 Bln	17	5	12	70.59%
21	156 Bln	10	3	7	70.00%
22	168 Bln	5	1	4	80.00%
	Total	167	89	78	46.71%

Sumber : Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing



Gambar 3.2 Hubungan Masa Kerja Terhadap Perilaku Tidak Aman Pada Aspek Alat Pelindung Diri.

Dari gambar diatas diperoleh persamaan linier sebagai berikut:

$$y = 0.0032x + 0.2608$$

dimana, y = Tingkat perilaku tidak aman; dan x = Masa kerja (bulan)

Pada aspek alat pelindung diri ini berarti bahwa semakin lama masa kerja karyawan machining maka semakin meningkat tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan. Sedangkan besarnya nilai hubungan antara masa kerja dengan perilaku tidak aman pada aspek ini dapat digambarkan dengan analisa korelasi *Product Moment Person* dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 seperti pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Hasil analisa korelasi *Product Moment Pearson* Alat Pelindung Diri dengan SPSS 17

		Masa_Kerja	Tingkat_Tdk_Aman_APD
Masa_Kerja	Pearson Correlation	1	.895**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	31	31
Tingkat_Tdk_Aman_APD	Pearson Correlation	.895**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	31	31

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Nilai korelasi yang dihasilkan dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 menunjukkan nilai +0,895 yang berarti tingkat korelasinya adalah tinggi yang berarti antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman memiliki hubungan positif yang tinggi, semakin lama masa kerjanya maka semakin tidak aman perilaku yang dilakukan pada aspek alat pelindung diri.

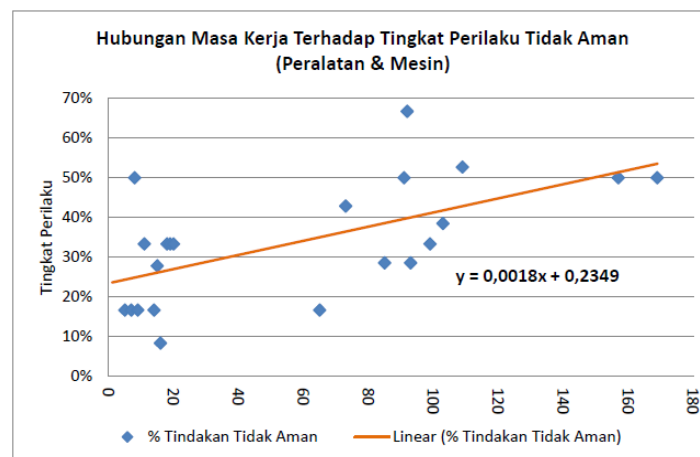
3.3.3 Alat Kerja/Equipment/Mesin

Mengacu pada data yang dapat dilihat pada tabel 3.3 dapat diketahui bahwa perilaku tidak aman pada aspek peralatan kerja sebesar 31,86%. Namun apabila diperinci lebih detail, perilaku tidak aman yang terjadi pada aspek peralatan kerja dan mesin adalah sebesar 34,03%. Rincian Perilaku tidak aman disajikan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Rincian Perilaku Tidak Aman Pada Parameter Alat Kerja/*Equipment*/ Mesin.

No	Masa Kerja (Bulan)	Total Seluruh Tindakan (a)	Jumlah Tindakan		% Tindakan Tidak Aman c / a
			Aman (b)	Tidak Aman (c)	
1	4 Bln	6	5	1	16.67%
2	6 Bln	6	5	1	16.67%
3	7 Bln	6	3	3	50.00%
4	8 Bln	6	5	1	16.67%
5	10 Bln	6	4	2	33.33%
6	13 Bln	12	10	2	16.67%
7	14 Bln	18	13	5	27.78%
8	15 Bln	12	11	1	8.33%
9	17 Bln	6	4	2	33.33%
10	18 Bln	12	8	4	33.33%
11	19 Bln	6	4	2	33.33%
12	64 Bln	6	5	1	16.67%
13	72 Bln	7	4	3	42.86%
14	84 Bln	7	5	2	28.57%
15	90 Bln	6	3	3	50.00%
16	91 Bln	6	2	4	66.67%
17	92 Bln	7	5	2	28.57%
18	98 Bln	6	4	2	33.33%
19	102 Bln	13	8	5	38.46%
20	108 Bln	19	9	10	52.63%
21	156 Bln	12	6	6	50.00%
22	168 Bln	6	3	3	50.00%
	Total	191	126	65	34.03%

Sumber : Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing



Gambar 3.3 Hubungan Masa Kerja Terhadap Perilaku Tidak Aman Pada Aspek Alat Kerja / *Equipment* / Mesin

Dari gambar diatas diperoleh persamaan linier sebagai berikut ;

$$y = 0.0018x + 0.2349$$

dimana, y = Tingkat perilaku tidak aman dan x = Masa kerja (bulan)

Sehingga, pada aspek peralatan dan mesin ini semakin lama masa kerja karyawan machining, maka tingkat perilaku tidak aman akan meningkat. Sedangkan besarnya nilai hubungan antara masa kerja dengan perilaku tidak aman pada aspek ini dapat digambarkan dengan analisa korelasi *Product Moment Person* dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 seperti pada tabel 3.9

Tabel 3.9 Hasil analisa korelasi *Product Moment Pearson* Alat Kerja / *Equipment* / Mesin dengan SPSS 17

Correlations			
		Masa_Kerja	Tingkat Tdk Aman Alat
Masa_Kerja	Pearson	1	.678**
	Correlation		
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	31	31
Tingkat_Tdk_Aman_Alalat	Pearson	.678**	1
	Correlation		
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	31	31

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Nilai korelasi yang dihasilkan dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 menunjukkan nilai +0,678 yang berarti tingkat korelasinya adalah Cukup, yang berarti antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman memiliki hubungan positif yang Cukup, semakin lama masa kerjanya maka semakin tidak aman perilaku yang dilakukan pada aspek alat kerja / *Equipment* / Mesin.

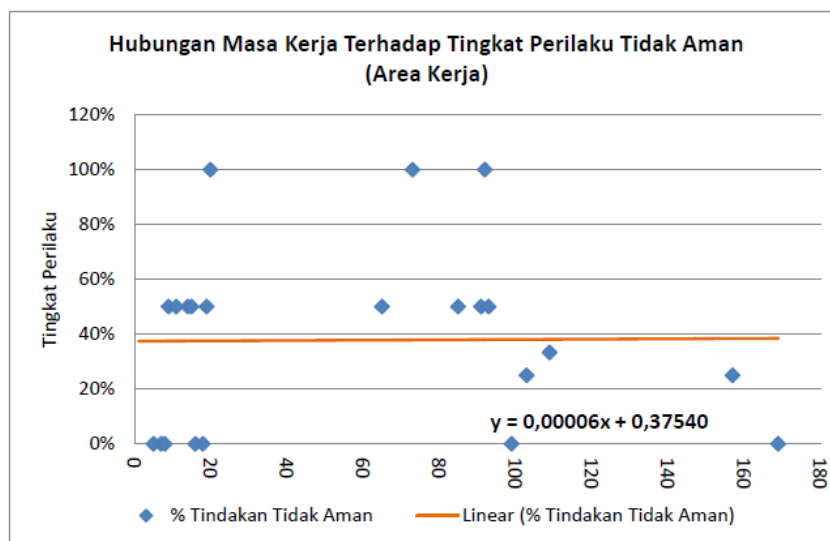
3.3.4 Area Kerja

Parameter area kerja hanya terdapat dua jenis perilaku yang dijadikan obyek pengamatan, yaitu kebersihan area kerja dan penerangan area kerja. Dari data pada tabel 3.3 dapat diketahui bahwa perilaku tidak aman pada area kerja menempati urutan terakhir secara total dengan 11,27%. Namun apabila diperinci lebih detail, perilaku tidak aman yang terjadi pada area kerja adalah sebesar 37,10%.

Tabel 3.10 Rincian Perilaku Tidak Aman Pada Parameter Area Kerja

No	Masa Kerja (Bulan)	Total Seluruh Tindakan (a)	Jumlah Tindakan		% Tindakan Tidak Aman c/a
			Aman (b)	Tidak Aman (c)	
1	4 Bln	2	2	0	0.00%
2	6 Bln	2	2	0	0.00%
3	7 Bln	2	2	0	0.00%
4	8 Bln	2	1	1	50.00%
5	10 Bln	2	1	1	50.00%
6	13 Bln	4	2	2	50.00%
7	14 Bln	6	3	3	50.00%
8	15 Bln	4	4	0	0.00%
9	17 Bln	2	2	0	0.00%
10	18 Bln	4	2	2	50.00%
11	19 Bln	2	0	2	100.00%
12	64 Bln	2	1	1	50.00%
13	72 Bln	2	0	2	100.00%
14	84 Bln	2	1	1	50.00%
15	90 Bln	2	1	1	50.00%
16	91 Bln	2	0	2	100.00%
17	92 Bln	2	1	1	50.00%
18	98 Bln	2	2	0	0.00%
19	102 Bln	4	3	1	25.00%
20	108 Bln	6	4	2	33.33%
21	156 Bln	4	3	1	25.00%
22	168 Bln	2	2	0	0.00%
	Total	62	39	23	37.10%

Sumber: Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing



Gambar 4.4 Hubungan Masa kerja terhadap perilaku tidak aman pada aspek Area Kerja

Parameter area kerja terdapat dua jenis perilaku yaitu terkait kebersihan tempat kerja dan penerangan di tempat kerja. Perilaku tidak aman pada aspek ini adalah karyawan dengan masa kerja yang lama tidak menjaga kebersihan tempat kerja. Namun secara keseluruhan

hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman pada aspek ini didapatkan persamaan linier sebagai berikut ;

$$y = 0.00006x + 0.37540$$

dimana, y = Tingkat perilaku tidak aman dan, x = Masa kerja (bulan)

Nilai variabel x pada persamaan tersebut sangat kecil yaitu 0.00006 yang berarti bahwa hubungan masa kerja dengan perilaku tidak aman terkait area kerja sangatlah kecil dan bias diabaikan.

Sedangkan besarnya nilai hubungan antara masa kerja dengan perilaku tidak aman pada aspek Area Kerja dapat digambarkan dengan analisa korelasi *Product Moment Person* dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 seperti pada tabel 3.11

Tabel 3.11 Hasil analisa korelasi *Product Moment Pearson* Area Kerja dengan SPSS 17.

		Correlations	
		Masa_Kerja	Tingkat Tdk Aman Area
Masa_Kerja	Pearson Correlation	1	-.053
	Sig. (2-tailed)		.777
	N	31	31
Tingkat_Tdk_Aman_Area	Pearson Correlation	-.053	1
	Sig. (2-tailed)	.777	
	N	31	31

Nilai korelasi yang dihasilkan dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 menunjukkan nilai -0,053 yang berarti tidak berkorelasi positif antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman, yang berarti semakin lama masa kerja tidak menyebabkan tingkat perilaku tidak aman semakin tinggi. Hal ini dimungkinkan karena parameter yang diteliti pada parameter ini adalah hanya terkait kebersihan area kerja dan penerangan area kerja saja. Kebersihan area kerja tidak bisa disamakan antara mesin satu dengan mesin yang lainnya, atau dengan kata lain kebersihan area kerja dipengaruhi oleh faktor lain yaitu jenis dan karakteristik mesin pada area tersebut.

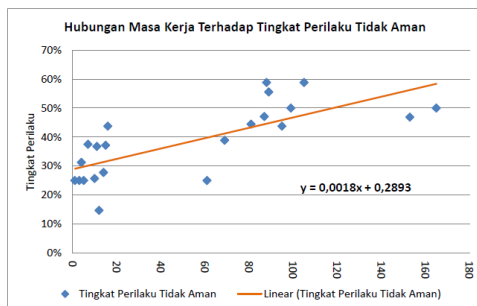
3.4 Analisa Hasil Penelitian

Ringkasan hasil observasi dari parameter-parameter perilaku dapat dilihat pada tabel 3.3 dan tabel 3.12.

Tabel 3.12 Ringkasan Hasil Observasi

No	Masa Kerja (Bulan)	Total Seluruh Tindakan (a)	Jumlah Tindakan		% Tindakan Tidak Aman c / a
			Aman (b)	Tidak Aman (c)	
1	4 Bln	16	12	4	25,00%
2	6 Bln	16	12	4	25,00%
3	7 Bln	16	11	5	31,25%
4	8 Bln	16	12	4	25,00%
5	10 Bln	16	10	6	37,50%
6	13 Bln	35	26	9	25,71%
7	14 Bln	49	31	18	36,73%
8	15 Bln	34	29	5	14,71%
9	17 Bln	18	13	5	27,78%
10	18 Bln	35	22	13	37,14%
11	19 Bln	16	9	7	43,75%
12	64 Bln	16	12	4	25,00%
13	72 Bln	18	11	7	38,89%
14	84 Bln	18	10	8	44,44%
15	90 Bln	17	9	8	47,06%
16	91 Bln	17	7	10	58,82%
17	92 Bln	18	8	10	55,56%
18	98 Bln	16	9	7	43,75%
19	102 Bln	34	17	17	50,00%
20	108 Bln	51	21	30	58,82%
21	156 Bln	32	17	15	46,88%
22	168 Bln	16	8	8	50,00%
	Total	520	316	204	39,23%

Sumber : Data observasi BBS PT. Showa Indonesia Manufacturing



Gambar 3.5 Hubungan Masa Kerja Terhadap Perilaku Tidak Aman

Secara keseluruhan dari penelitian ini didapatkan grafik korelasi antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian machining dengan persamaan linier sebagai berikut:

$$y = 0.0018x + 0.2893$$

dimana, y = Tingkat perilaku tidak aman dan x = Masa kerja (bulan)

Gambaran tersebut dapat diartikan bahwa lamanya masa kerja karyawan di bagian machining akan meningkatkan perilaku tidak aman yang dilakukan. Sedangkan besarnya nilai hubungan antara masa kerja dengan perilaku tidak aman secara keseluruhan dapat digambarkan dengan analisa korelasi *Product Moment Person* dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 seperti pada tabel 3.13.

Tabel 3.13 Hasil analisa korelasi *Product Moment Pearson* Total dengan SPSS 17

		Masa_Kerja	Tingkat_Tdk_Aman_Total
Masa_Kerja	Pearson Correlation	1	.696**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	31	31
Tingkat_Tdk_Aman_Total	Pearson Correlation	.696**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	31	31

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Nilai korelasi yang dihasilkan dengan pengolahan data menggunakan program SPSS 17 menunjukkan nilai +0,696 yang berarti tingkat korelasinya adalah Cukup, yang berarti antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman memiliki hubungan positif yang Cukup, semakin lama masa kerjanya maka semakin tidak aman perilaku yang dilakukan oleh karyawan bagian *Machining*.

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dapat dinyatakan bahwa hipotesis 1 yang menyatakan terdapat hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing adalah berlaku. Hal ini didasari bahwa secara keseluruhan parameter yang diteliti didapat nilai korelasi *Product Moment Pearson* sebesar +0,969 yang berarti berkorelasi positif cukup dan didapatkan persamaan linier yaitu $y = 0.0018x + 0.2893$, yang berarti terdapat hubungan antara variabel x dengan variabel y.

Sedangkan pada hipotesis 2 menyatakan bahwa semakin lama masa kerja seseorang, maka perilaku yang dilakukan semakin tidak aman, artinya masa kerja berhubungan positif dengan tingkat perilaku tidak aman adalah berlaku berdasarkan hasil penelitian ini. Hal ini didasarkan pada hasil analisa dan pengolahan data korelasi *Product Moment Pearson* yang dihasilkan nilai "r" sebesar +0,969 yang berarti berkorelasi positif cukup, yang berarti semakin lama masa kerja karyawan di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing, maka perilaku yang dilakukan semakin tidak aman.

Hasil penelitian ini selaras dengan teori yang dinyatakan oleh Geller, 2001 yang menyatakan bahwa faktor pengalaman pada tugas yang sama dan lingkungan yang sudah dikenal dapat mempengaruhi orang tersebut berperilaku tidak aman dan terus berlaku karena menyenangkan, nyaman, menghemat waktu, dan perilaku ini cenderung berulang. Selain itu, selaras juga dengan teori yang dikemukakan oleh Cooper, 2001, bahwa orang sering

melakukan perilaku tidak aman karena orang tersebut belum pernah cedera saat melaksanakan pekerjaan dengan tidak aman.

4. KESIMPULAN

1. Terdapat hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining*, bahwa lamanya masa kerja akan mempengaruhi tingkat perilaku tidak aman yang dilakukan oleh karyawan *machining*.
2. Hubungan antara masa kerja dengan tingkat perilaku tidak aman di bagian *machining* PT. Showa Indonesia Manufacturing secara umum adalah merupakan hubungan yang positif dengan nilai korelasi sebesar +0,696 yang berarti berkorelasi positif dengan tingkat Cukup berdasarkan korelasi *Product Moment Pearson*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bennet Silalahi dan Rumondang Silalahi. 1995. *Manajemen keselamatan dan Kesehatan Kerja*. PT Pustaka Bina Mandiri Prestindo Tbk., Jakarta.
- Bipartit. 2014. *Perjanjian Kerja Bersama (PKB)*. PT. Showa Indonesia Manufacturing, Bekasi.
- Danggur Konradus. 2006. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Litbang Danggur & Patners, Jakarta.
- Depnaker RI. 1996. *Indonesian Journal of Industrial Hygiene Occupational Health and Safety Volume XXIX No. 4*. Depnaker, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Pembinaan Pengawasan Ketenagakerjaan dan Keselamatan Kerja, Dierktorat Pengawasan Norma Keselamatan dan Kesehatan Kerja Republik Indonesia. 2014. *Himpunan Pearturan Perundang-undangan Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, Depnaker, Jakarta.
- Kiay Demak Denisa Listy. 2013. Skripsi, *Analisis Penyebab Perilaku Aman Bekerja pada Perawat di RS Islam Asshobirin Tangerang Selatan*, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Emil Salim. 2002. *Green Company*. PT. Astra Internasional Tbk., Jakarta.
- Gempur Santoso. 2004. *Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Prestasi Pustaka, Jakarta.
- Husaini Usman dan Purnomo. 2008. *Metodologi Penelitian Sosial*. PT Bumi Aksara, Jakarta.

- Kurnia. Indah Martianti. 2010. *Penyusunan Rancangan Program Safety Training yang Berbasis Perilaku Consistency Safety pada Jabatan Operator Gondola di PT. GHP*. Bekasi.
- Mason, R.D dan Douglas A. Lind. 1996. *Teknik Statistik Untuk Bisnis dan Ekonomi*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Presiden Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2012 Tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi, Jakarta.
- Pungky W.. 2004. *Himpunan Peraturan Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Sekretariat ASEAN-OSHNET dan Direktorat PNKK, Jakarta.
- Rahmatia N. Ayu. Y. Denny Ardyanto W.. 2013. Jurnal. *Evaluasi Pelaksanaan Behavior Based Safety Pada Program STOP Dalam Membentuk Perilaku Aman Tenaga Kerja di PT X*. Departemen Kesehatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga, Surabaya.
- Syukri Sahab. 1997. *Teknik Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. PT. Bina Sumber Daya Manusia, Jakarta.
- Usman, H. dan R. Purnomo Setiady Akbar. 2000. *Pengantar Statistika*. Bumi Aksara, Jakarta.
- Wekoyla. 2012. Skripsi, *Hubungan Pengetahuan, Sikap, Pendidikan, dan Masa Kerja Bidan Terhadap Perilaku Penggunaan Alat Pelindung Diri Pada Tindakan Pertolongan Persalinandi Rumah Sakit Umum Provinsi Sulawesi tenggara dan Rumah Sakit Umum Kota Kendari*, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Depok.
- www.hse-info.com. 2014. *Behavior Based Safety (BBS) / Keselamatan Berbasis Perilaku*. Diakses September 2015.

**PERBAIKAN DESAIN SEDIMENTASI PADA WATER TREATMENT PLANT (WTP), STUDI KASUS
PADA KAWASAN INDUSTRI JABABEKA, CIKARANG, BEKASI**

Aris Dwi Cahyanto

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, , Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

e-mail : arisdwicahyanto@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis desain sedimentasi pada *Water Treatment Plant* (WTP) dan menganalisis kondisi aliran yang terjadi pada zona sedimentasi dengan memeriksa bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}). Untuk mencapai tujuan, penulis melakukan observasi lapangan pada unit sedimentasi di WTP Kawasan Industri Jababeka (KIJA). Hasil yang didapat bahwa peningkatan kapasitas pengolahan harus dilakukan modifikasi bak sedimentasi. Zona sedimentasi ditambah dengan *tube settler* untuk mendapatkan aliran yang memenuhi kriteria. Perubahan aliran dari turbulen ke laminar ditunjukkan oleh perubahan bilangan Reynold (N_{RE}) dari melebihi 2000 menjadi kurang dari 2000, meskipun bilangan Fruode (N_{FR}) masih belum memenuhi kriteria, namun N_{FR} sudah mendekati nilai 10^{-5} .

Kata Kunci: desain, sedimentasi, bilangan Reynold, Fruode

1. PENDAHULUAN

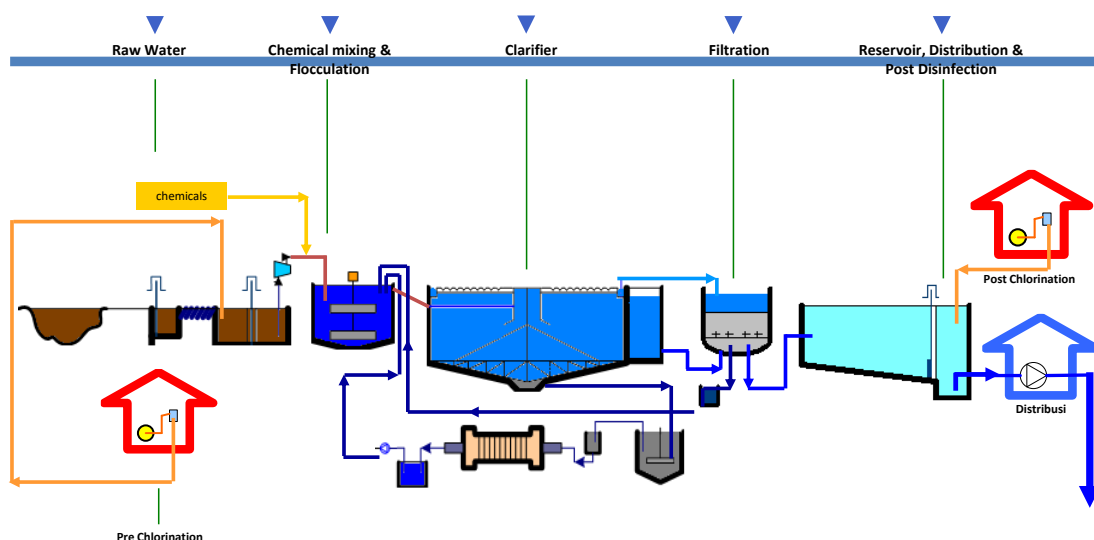
Aktifitas industri di dalam sebuah kawasan industri diperlukan untuk mendorong laju pertumbuhan ekonomi. Namun kawasan industri juga harus memperhatikan aspek lingkungan dan sosial. Ketiga aspek ini perlu dipelihara untuk menciptakan kawasan industri yang berkelanjutan. Kawasan industri yang hanya memikirkan pertumbuhan ekonomi tanpa memperhatikan aspek lingkungan dan sosial, akan berdampak pada potensi pencemaran lingkungan dan ketimpangan kesejahteraan masyarakat.

Aspek lingkungan yang perlu diperhatikan adalah pengelolaan sumber daya air. Kebutuhan air pelanggan yang berada di dalam kawasan industri harus disediakan oleh pengelola kawasan industri. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 24 Tahun 2009 tentang Kawasan Industri, pengembang kawasan industri wajib menyediakan sarana dan prasarana penunjang yang dibutuhkan pelanggan di dalam kawasan industry. Salah satu sarana penunjang adalah *Water Treatment Plant* atau instalasi pengolahan air bersih. Seluruh kebutuhan air bersih pelanggan tidak diperkenankan diambil dari dalam tanah. Pengambilan air tanah dalam kawasan industry akan berdampak pada reservoir air dalam tanah.

Jababeka sebagai salah satu pengembang dan pengelola kawasan industry telah menyediakan *Water Treatment Plant* sebagai sarana pengolahan air bersih untuk memenuhi kebutuhan industry. Gambar 1, menunjukkan diagram alir WTP (*Water Treatment Plant*).

Sumber air baku diambil dari Saluran Induk Tarum Barat yang merupakan saluran buatan. Air Saluran Induk Tarum Barat berasal dari Waduk Jatiluhur, Purwakarta, digunakan untuk mengairi lahan pertanian di sepanjang kiri dan kanan saluran. Sebagian air saluran Induk Tarum Barat digunakan untuk bahan baku air bersih. Air mengalir secara gravitasi menuju *raw water intake*. Di dalam *raw water intake* diberi gas chlor untuk menurunkan organik yang terdapat di dalam air sungai. Pembubuhan gas chlor pada *raw water intake* disebut *prechlorinasi*. Dengan menggunakan pompa air dialirkan dengan menggunakan pipa, menuju unit flokulator. Sebelum menuju flokulator, air diukur dengan meter air yang telah dikalibrasi, kemudian diinjeksi dengan *poly alumunium chloride*. Konsentrasi *poly alumunium chloride* ditentukan dengan menggunakan *jar test*.

Hasil uji coba dengan menggunakan *jar test* diaplikasikan untuk menentukan konsentrasi *poly alumunium chloride*. Setelah melalui unit flokulator, maka air selanjutnya dialirkan menuju bak sedimentasi yang berbentuk *circular*. Di dalam bak sedimentasi terjadi proses pengendapan partikel flok. Partikel flok yang sudah terbentuk dari proses flokulasi. Partikel flok yang masih terbawa pada zona *outlet* sedimentasi akan diproses di unit filtrasi. Dengan media filtrasi (pasir silika), partikel flok disaring. Pada periode tertentu dilakukan *back wash* untuk membersihkan media filtrasi yang telah terjadi pemampatan (*clogging*). Sebelum air bersih didistribusikan ke pelanggan, maka produksi air bersih ditampung dalam unit reservoir. Reservoir berfungsi sebagai *buffer*, artinya jika debit produksi dalam satu jam melebihi debit didistribusi, maka kelebihan air air bersih ditampung dalam *reservoir*. Sebaliknya jika debit distribusi lebih besar dari debit produksi maka kekurangan debit didistribusi diambilkan dari *reservoir*. Di dalam reservoir juga diinjeksikan gas chlor (*post chlorinasi*), untuk memastikan bakteri yang terdapat di reservoir tidak ada. Pemeriksaan terhadap sisa chlor, membuktikan bahwa kehidupan mikroorganisme tidak ada.

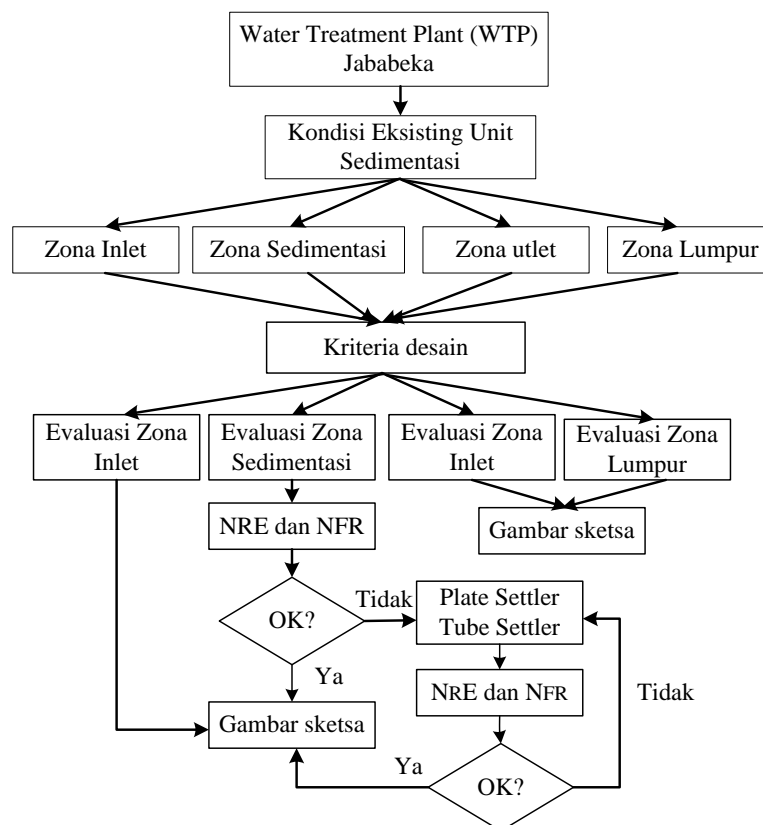


Gambar 1. Diagram alir *Water Treatment Plant*, Kawasan Industri Jababeka.

Sumber : Jababeka

Pengembangan kawasan industri, yang semula hanya tahap 1, kemudian menjadi tahap 2, 3, 5, 6, dan 7, memberikan dampak pada kapasitas WTP juga harus ditingkatkan. Unit koagulator, flokulator, sedimentasi, filtrasi, reservoir harus dievaluasi dan diperbaiki untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Pemilihan unit sedimentasi menjadi prioritas atas dasar kebijakan pengelola kawasan, selaku pemilik *Water Treatment Plant*.

Pengelola Kawasan Industri Jababeka memiliki instalasi *Water Treatment Plant (WTP)* untuk memenuhi kebutuhan air bersih industri. Namun kapasitas WTP tidak mencukupi, mengingat pengembangan kawasan industri. WTP perlu dievaluasi dan dimodifikasi ulang untuk memenuhi kebutuhan air bersih. Dari unit operasi yang berada di dalam WTP yaitu *raw water intake*, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, reservoir, maka unit sedimentasi yang mendapat prioritas pertama dari pengelola kawasan. Menurut Qasim SR., et.al., 2002, Yulianti PC, 2012, sedimentasi ideal dibagi menjadi empat zona yaitu : (1) zona inlet, (2) zona pengendapan (sedimentasi), (3) zona outlet, dan (4) zona lumpur.



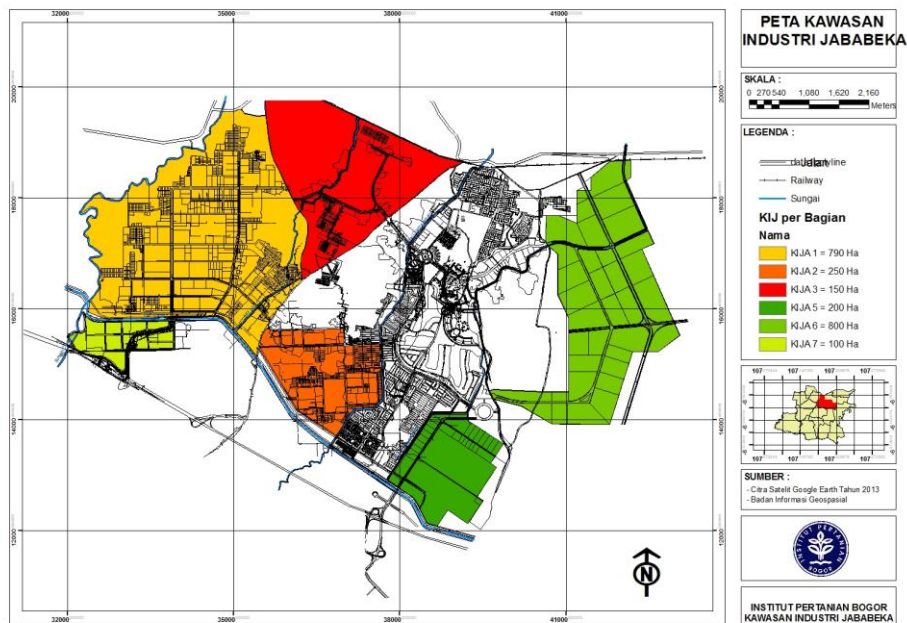
Gambar 2. Kerangka pemikiran

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tentang perbaikan desain sedimentasi bertempat di *Water Treatment Plant (WTP)*, Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi. Kapasitas WTP sebesar 100 liter per detik, dengan daerah pelayanan meliputi Kawasan Industri Jababeka (KIJA) tahap ke 5 dan Kawasan Perumahan Cikarang Baru. Sebagaimana terdapat dalam Gambar 3., Lokasi penelitian, yaitu KIJA, Cikarang, Bekasi, Jawa Barat yang terletak di sebelah Timur Jakarta. Secara geografis, Kawasan Industri Jababeka terletak pada 107°06'30" Bujur Timur sampai 107°13'00" Bujur Timur dan 06°15'30" Lintang Selatan sampai 06°20'00" Lintang Selatan. Pemilihan lokasi berdasarkan pertimbangan : merupakan kawasan industri swasta nasional

pertama di Indonesia, skala luas kawasan yang besar, telah beroperasi lebih dari 25 tahun, tempat berlokasinya lebih dari 1.650 perusahaan industri yang berasal dari 30 negara, jenis industri yang beragam dari industri tekstil, makanan dan minuman, kimia, farmasi, elektronik, otomotif, kos-metik dan aneka industri lainnya.

Pemilihan lokasi berdasarkan pertimbangan : merupakan kawasan industri swasta nasional pertama di Indonesia, skala luas kawasan yang besar, telah beroperasi lebih dari 25 tahun, tempat berlokasinya lebih dari 1.650 perusahaan industri yang berasal dari 30 negara, jenis industri yang beragam dari industri tekstil, makanan dan minuman, kimia, farmasi, elektronik, otomotif, kosmetik dan aneka industri lainnya.



Gambar 3. Peta Kawasan Industri Jababeka

Sumber : Data KIJA 2015, Aris DC., 2015.

Bahan penelitian terdiri dari data primer, data sekunder, sedangkan alat penelitian terdiri dari *computer*, program *Visio*, program *Excell*.

Data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui *interview* dari *expert* yang berasal dari pemangku kepentingan yaitu manajemen KIJA.

Data primer didapat dengan pengamatan lapangan pada unit sedimentasi di WTP KIJA. Dengan mendapatkan dimensi bak sedimentasi kondisi eksisting, selanjutnya dilakukan pemeriksaan ulang terhadap kondisi aliran, dengan memeriksa bilangan Reynold dan bilangan Fruode.

Tahapan penelitian dimulai dengan melakukan pengamatan lapangan pada bak sedimentasi, data yang pertama dicari adalah kapasitas pengolahan pada unit sedimentasi kondisi eksisting. Kemudian diperiksa juga kedalaman (H) bak sedimentasi. Jika bentuk bak sedimentasi adalah *circular*, maka dicari diameter dan jari-jari bak. Namun jika bentuk bak sedimentasi *rectangular*, maka dicari panjang (P) dan lebar (L) bak sedimentasi. Selain dimensi zona pengendapan sedimentasi, perlu juga diperiksa zona inlet, zona outlet dan zona lumpur. Kemudian diperiksa bilangan Reynold (N_{RE}) dan Fruode (N_{FR}) untuk memastikan kondisi aliran dalam zona pengendapan. Jika N_{RE} dan N_{FR} memenuhi kriteria desain, maka dilakukan peningkatan kapasitas (Q), namun jika N_{RE} dan N_{FR} tidak memenuhi kriteria desain,

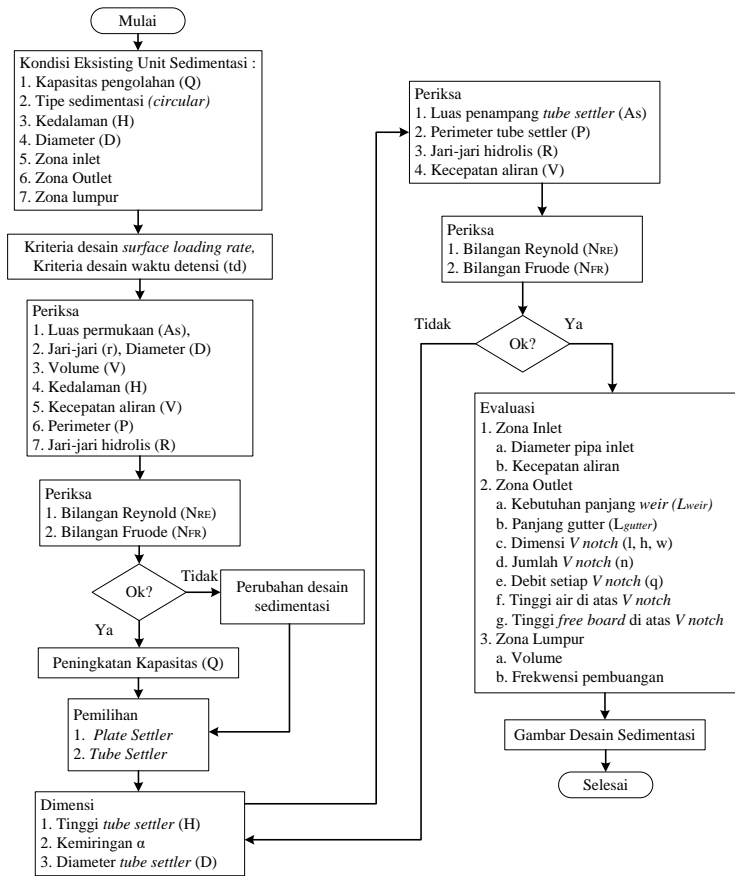
maka perlu modifikasi zona pengendapan dengan menambah *plate settler* atau *tube settler*. Peningkatan kapasitas dimulai dari 1,5 kali dari kapasitas awal, kemudian dinaikkan menjadi 2x atau 3x dari kapasitas awal. Modifikasi zona sedimentasi dapat memilih *plate settler* atau *tube settler*. Jika bentuk bak sedimentasi adalah *rectangular* maka dapat memilih keduanya, namun jika bentuk bak sedimentasi *circular*, maka pemilihan *tube settler* akan lebih diprioritaskan daripada *plate settler*. Penentuan dimensi *plate settler* dapat disimulasikan dengan ketinggian (H) yang berbeda. Tinggi *plate settler* harus lebih kecil dari kedalaman bak sedimentasi. Kemiringan *plate settler* (α), menurut SNI-6774-2008, dapat mulai dari 30° sampai dengan 60°, meskipun yang lazim digunakan adalah kemiringan 60°. Selanjutnya diperiksa kondisi aliran dengan memeriksa N_{RE} dan N_{FR} . Jika N_{RE} kurang dari 2000 dan N_{FR} lebih besar dari 10^{-5} , maka dilanjutkan dengan sketsa gambar desain bak sedimentasi dengan *plate settler* atau *tube settler*. Namun jika N_{RE} dan N_{FR} tidak memenuhi kriteria desain, maka diperiksa ulang dimensi *plate* atau *tube settler*.

Setelah memeriksa zona sedimentasi, kemudian dievaluasi zona inlet, dengan memeriksa kecepatan aliran serta diameter pipa inlet, jika bentuk bak sedimentasi adalah *circular*. Namun jika bentuk bak sedimentasi *rectangular*, maka lubang inlet yang menuju zona sedimentasi. Apakah lubang inlet perlu diperbanyak atau tidak.

Zona outlet yang perlu diperiksa adalah kebutuhan panjang weir (L_{weir}), *V notch* dan *gutter*. Jumlah *V notch* dalam bak sedimentasi harus dihitung ulang, sehingga dapat dipastikan jumlah *V notch* cukup mampu untuk peningkatan kapasitas. Tinggi air diatas *V notch* perlu dihitung ulang. Karena jumlah *V notch* bertambah, maka panjang *gutter* harus dihitung ulang. Panjang *gutter* disesuaikan dengan jumlah *V notch*.

Zona lumpur harus diperiksa ulang, untuk memastikan volume lumpur yang diproduksi dari hasil proses sedimentasi dapat ditampung, atau frekwensi pembuangan lumpur dievaluasi.

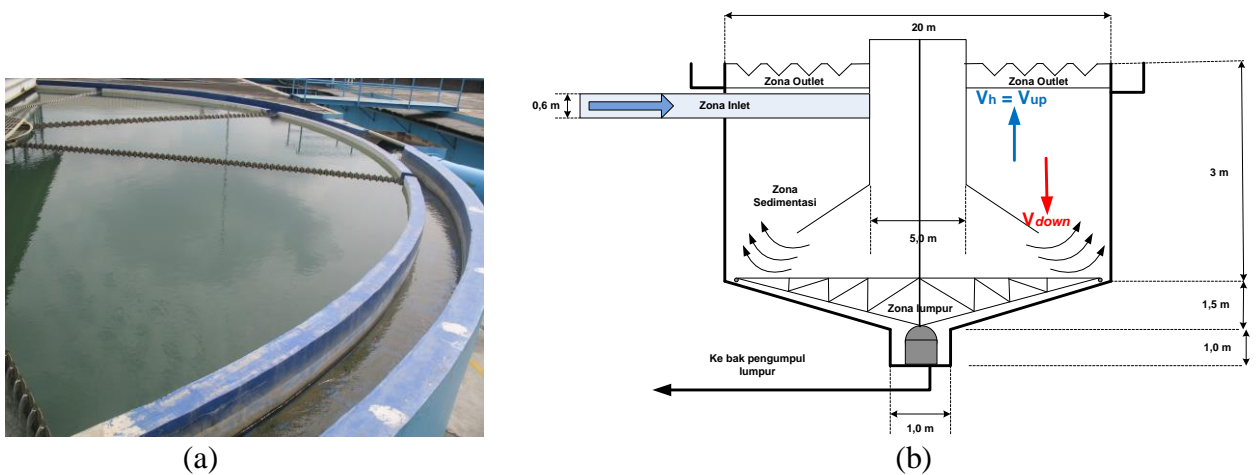
Hasil dari perhitungan zona sedimentasi, zona inlet, zona outlet dan zona lumpur digambar dalam desain sedimentasi yang telah dinaikkan kapasitas nya. Gambar desain paling tidak menjelaskan dimensi panjang, lebar, kedalaman, kemiringan *plate settler* atau *tube settler*, jumlah *plate* atau *tube settler*, dimensi zona inlet, outlet, dan zona lumpur.



Gambar 4. Tahapan penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan lapangan kondisi dimensi bak sedimentasi seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bak sedimentasi tipe circular
Sumber : pengamatan lapangan

Gambar 5a, menunjukkan kondisi eksisting bak sedimentasi tipe *circular*. Terlihat zona outlet terbagi menjadi dua bagian yaitu *V notch* yang terletak pada jari-jari bak sedimentasi, dan saluran pengumpul yang terletak pada keliling bak. Sedangkan Gambar 5b, menunjukkan gambar potongan melintang tanpa skala bak sedimentasi tipe *circular*.

Menurut Qasim SR., et.al., 2002, kriteria desain beban permukaan (*surface loading rate*) untuk sedimentasi sebesar 20-40 m³/m².day. Namun menurut Schulz, Okun, 1984, beban permukaan (*surface loading rate*) untuk sedimentasi sebesar 20-80 m³/m².day. Dari ke dua rujukan ini, terdapat tiga alternatif yaitu : (1) beban permukaan (*surface loading rate*) terkecil sebesar 20 m³/m².day, (2) beban permukaan (*surface loading rate*) tengah sebesar 40 m³/m².day, dan (3) beban permukaan (*surface loading rate*) terbesar sebesar 80 m³/m².day. Jika mengambil beban permukaan (*surface loading rate*) terkecil sebesar 20 m³/m².day, maka luas permukaan (A_{surface} , A_s) dengan debit aliran 100 lps sebesar :

$$A_s = \frac{Q}{\text{Surface_loading_rate}}$$

$$A_s = \frac{100(\text{lps})}{20(\text{m}^3 / \text{m}^2 .\text{day})}$$

$$A_s = \frac{0,1(\text{m} / \text{dt})}{0,000231(\text{m}^3 / \text{m}^2 .\text{dt})}$$

$$A_s = 432(\text{m}^2)$$

Dengan cara yang sama, maka luas permukaan jika menggunakan beban permukaan (*surface loading rate*) tengah sebesar 40 m³/m².day, maka luas permukaan sebesar 216 m², sedangkan jika menggunakan beban permukaan (*surface loading rate*) terbesar sebesar 80 m³/m².day, maka luas permukaan pengendapan sebesar 108 m². Perbedaan luas permukaan pengendapan menunjukkan bahwa semakin besar beban permukaan yang digunakan, maka semakin kecil luas permukaan pengendapan yang didapat. Pengendapan partikel flokulan semakin berpeluang lebih mudah dengan menggunakan beban permukaan yang terkecil. Pemilihan luas permukaan pada 432 m², karena pertikel flokulan mempunyai potensi pengendapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan luas permukaan 216 m² atau 108 m².

Jika menggunakan luas permukaan pengendapan 432 m², maka jari-jari silinder sebesar :

$$r = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{432(\text{m}^2)}{3,14}}$$

$$r = 11,72(\text{m})$$

Diameter merupakan dua kali jari-jari, maka besar diameter bak sedimentasi adalah 2 x 11,72 = 23,44 m. Dibandingkan dengan kondisi eksisting yang hanya berdiameter 20 meter, maka masih lebih besar. Beban permukaan desain sedimentasi circular eksisting dapat dicari dengan sebagai berikut :

$$\text{Surface_loading_rate} = \frac{Q}{A_{s_eksisting}}$$

$$\text{Surface_loading_rate} = \frac{Q}{\pi.r^2}$$

$$\text{Surface_loading_rate} = \frac{0,1(m^3 / dt)}{3,14.x.10.x.10(m^2)}$$

$$\text{Surface_loading_rate} = 0,000318(m^3 / m^2 .dt)$$

$$\text{Surface_loading_rate} = 27(m^3 / m^2 .day)$$

Beban permukaan (*surface loading rate*) sebesar 27 (*surface loading rate*) tengah $m^3/m^2.day$, jika dibandingkan dengan kriteria desain menurut Qasim SR., et.al, 2002, sebesar 20-40 $m^3/m^2.day$, maka masih memenuhi syarat, karena terletak diantara nilai 20 dan 40. Begitu pula menurut menurut Schulz, Okun, 1984, beban permukaan (*surface loading rate*) untuk sedimentasi sebesar 20-80 $m^3/m^2.day$, maka masih memenuhi kriteria desain.

Untuk menghitung kedalaman bak pengendapan, maka dirujuk waktu detensi pengendapan. Menurut Qasim SR., et.al., 2002, kriteria desain waktu pengendapan sedimentasi dengan aliran ke atas (*up flow*) jika dahului dengan proses koagulasi dan flokulasi adalah 2 jam. Namun waktu pengendapan sedimentasi dengan aliran horizontal tipe rectangular jika dahului dengan proses koagulasi dan flokulasi adalah 4-8 jam. Volume (V) bak sedimentasi dengan waktu detensi (t_d) 2 jam dan debit (Q) aliran 100 lps adalah

$$V = Q.t_d$$

$$V = 0,1(m^3 / dt).2(jam)$$

$$V = 0,1(m^3 / dt).7200(dt)$$

$$V = 720(m^3)$$

Kedalaman (H) bak sedimentasi, jika volume 720 m^3 , dan luas permukaan eksisting tipe circular diameter (D) 20 m, jari-jari (r) 10 m, adalah

$$H = \frac{V}{A_s}$$

$$H = \frac{720(m^3)}{314(m^2)}$$

$$H = 2,29(m)$$

Kedalaman eksisting adalah 3 meter, luas permukaan eksisting 314 m^2 artinya waktu detensi (t_d) eksisting masih lebih besar dari kriteria desain menurut Qasim SR., et.al., 2002, maka waktu detensi (t_d), menjadi sebagai berikut :

$$t_d = \frac{V}{Q}$$

$$t_d = \frac{A_{s_eksisting} \cdot H_{eksisting}}{Q}$$

$$t_d = \frac{314(m^2) \cdot 3(m)}{0,1(m^3 / dt)}$$

$$t_d = 9429(dt)$$

$$t_d = 2,62(jam)$$

Terbukti bahwa waktu detensi eksisting 2,62 jam > 2 jam, hal ini menunjukkan bahwa waktu detensi bak sedimentasi circular masih memenuhi kriteria desain.

Untuk memeriksa kondisi aliran yang terjadi pada zona sedimentasi, maka diperiksa kecepatan aliran ke atas (*up flow*) terlebih dahulu, sebelum memeriksa bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}). Kecepatan aliran ke atas (V_{up}) sebesar

$$V_{up} = \frac{Q}{A_{efektif}}$$

$$V_{up} = \frac{Q}{A_{s_eksisting} - A_{zona_inlet}}$$

$$V_{up} = \frac{0,1(m^3 / dt)}{314(m^2) - \pi \cdot 2,5 \cdot 2,5}$$

$$V_{up} = 0,0003394(m / dt)$$

Menurut Qasim SR., et.al., 2002, bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}) dinyatakan dengan formula sebagai berikut :

$$N_{RE} = \frac{V \cdot R}{\nu} \dots\dots\dots (1)$$

$$N_{FR} = \frac{V^2}{g \cdot R} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$$V = \text{kecepatan_aliran}, (m / dt)$$

$$R = \text{jari - jari_hidrolis}, (m)$$

$$\nu = \text{viskositas_kinematis}, (m^2 / dt)$$

$$g = \text{gravitasi}, (9,81m / dt^2)$$

Jari-jari hidrolis (R) dinyatakan dengan formula sebagai berikut :

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana ;

$$A = \text{luas}_{\text{permukaan}}, (m^2)$$

$$P = \text{perimeter, keliling}_{\text{basah}}, (m)$$

Jari-jari hidrolis bak sedimentasi circular, dengan luas pengendapan efektif 294 m², dan keliling basah sebesar $2 \cdot \pi \cdot r$, adalah

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{294(m^2)}{2 \cdot \pi \cdot 10(m)}$$

$$R = 4,68(m)$$

Bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}) dengan $R = 4,68$ m, $g = 9,81$ m/dt², dan u pada suhu 25° Celsius sebesar 0,000001109 m²/dt, yaitu

$$N_{RE} = \frac{V \cdot R}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{0,0003394(m/dt) \cdot 4,69(m)}{0,000001109(m^2/dt)}$$

$$N_{RE} = 1434$$

$$N_{FR} = \frac{V^2}{g \cdot R}$$

$$N_{FR} = \frac{(0,0003394(m/dt))^2}{9,81(m/dt^2) \cdot 4,69(m)}$$

$$N_{FR} = 0,0000000025$$

Bilangan Reynold (N_{RE}) sebesar $1434 < 2000$ memenuhi kriteria desain, namun bilangan Fruode (N_{FR}) $2,5 \times 10^{-9} < 10^{-5}$ masih belum memenuhi syarat.

Jika debit pengolahan dinaikkan menjadi 1,5x, 2x dan 3x dari debit awal maka perhitungan ditampilkan dalam Tabel 1. Pada Tabel 1, ditunjukkan bahwa perubahan terjadi pada kecepatan aliran serta bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}), sedangkan parameter lain seperti diameter (D), jari-jari (R), luas permukaan (A_s), luas zona inlet (A zona inlet), perimeter (P) dan jari-jari hidrolis (R) tidak mengalami perubahan. Ketika debit (Q) dinaikkan 1,5x maka bilangan Reynold (N_{RE}) tidak memenuhi, begitu juga ketika debit (Q) dinaikkan 2x dan 3x, maka Reynold (N_{RE}) semakin tidak memenuhi. Namun sebaliknya bilangan Fruode (N_{FR}) semakin mendekati nilai 10^{-5} artinya bahwa aliran menuju ke arah turbulen.

Tabel 1. Perhitungan bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR})

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai perhitungan			
Debit	Q	m ³ /dt	0.10	0.15	0.20	0.45
Diameter	D	m	20.00	20.00	20.00	20.00
Jari-jari	r	m	10.00	10.00	10.00	10.00
Luas permukaan	A_s	m ²	314.29	314.29	314.29	314.29
Luas zona inlet	$A_{\text{zona inlet}}$	m ²	19.64	19.64	19.64	19.64
Luas permukaan efektif	A_{efektif}	m ²	294.64	294.64	294.64	294.64
Kecepatan aliran	V_{up}	m/dt	0.00034	0.00051	0.00068	0.00153
Perimeter	P	m	62.86	62.86	62.86	62.86
Jari-jari hidrolis	R	m	4.69	4.69	4.69	4.69
Gravitasi	g	m/dt ²	9.81	9.81	9.81	9.81
Viskositas kinematis	ν	m ² /dt	0.000001109	0.000001109	0.000001109	0.000001109
Bilangan Reynold	N_{RE}		1,434.54	2,151.82	2,869.09	6,455.45
Bilangan Fruode	N_{FR}		2.50E-09	5.64E-09	1.00E-08	5.07E-08

Sumber : Hasil perhitungan

Dari Tabel 1, dapat dijelaskan bahwa dengan menaikkan debit (Q), maka kondisi aliran dalam zona sedimentasi akan berubah menjadi turbulen. Untuk memperbaiki kondisi aliran maka zona pengendapan ditambah dengan *plate settler* atau *tube settler*. Namun karena bentuk bak sedimentasi adalah *circular*, maka dipilih *tube settler*, karena dengan *tube settler*, maka luas permukaan pengendapan dapat ditutup lebih sempurna dibandingkan dengan menggunakan *plate settler*. *Tube Settler* adalah salah satu bentuk zona pengendapan seperti sarang tawon, dengan menggunakan kemiringan α , dan ketinggian H. Menurut SNI-6774-2008 kemiringan α berkisar antara 30° sampai dengan 60°. Sedangkan ketinggian H harus lebih kecil dari kedalaman bak sedimentasi. Gambar 6, menunjukkan penampang melintang *tube settler*.

Dalam ΔAFE , maka $\text{Sin}\alpha$ sama dengan AF dibagi dengan AE. Jika AF adalah tinggi *tube settler* sebesar H, maka $\text{Sin}\alpha$ sama dengan H dibagi AE.

$$\text{Sin}\alpha = \frac{AF}{AE}$$

$$\text{Sin}\alpha = \frac{H}{AE}$$

$$AE = \frac{H}{\text{Sin}\alpha} \dots\dots\dots (4)$$

Dalam ΔBCE , maka $\text{Sin}\alpha$ sama dengan BC dibagi BE. Jika BC adalah diameter *tube settler* W, maka $\text{Sin}\alpha$ sama dengan W dibagi BE.

$$\text{Sin}\alpha = \frac{BC}{BE}$$

$$\text{Sin}\alpha = \frac{W}{BE}$$

$$BE = \frac{W}{\text{Sin}\alpha} \dots\dots\dots (5)$$

Dalam ΔBCD , maka $\text{Cos}\alpha$ sama dengan BC dibagi CD, sedangkan CD sama dengan CG ditambah GD. Jika BC adalah diameter *tube settler* W, maka $\text{Cos}\alpha$ sama dengan W dibagi CD

$$\cos.\alpha = \frac{BC}{CD}$$

$$\cos.\alpha = \frac{W}{CD}$$

$$\cos.\alpha = \frac{W}{DG + GC} \dots\dots\dots (6)$$

Kecepatan V_0 yang menempuh waktu t sama dengan AC, sedangkan AC sama dengan AE ditambah EC, maka

$$V_0.t = AC$$

$$V_0.t = AE + EC$$

$$V_0.t = \frac{H}{\sin.\alpha} + \frac{W}{\sin.\alpha} \dots\dots\dots (7)$$

Kecepatan V_h yang menempuh waktu t sama dengan CD, sedangkan CD sama dengan W dibagi $\cos \alpha$.

$$V_h.t = CD$$

$$V_h.t = \frac{W}{\cos.\alpha} \dots\dots\dots (8)$$

Substitusi antara persamaan (7) dan (8), maka didapatkan :

$$\frac{V_h.t}{V_0.t} = \frac{\frac{W}{\cos.\alpha}}{\frac{H}{\sin.\alpha} + \frac{W}{\sin.\alpha}}$$

$$\frac{V_h}{V_0} = \frac{W.\sin.\alpha}{H.\cos.\alpha + W.\cos^2.\alpha} \dots\dots\dots (10)$$

$$V_0 = \frac{Q}{A.\sin.\alpha} \dots\dots\dots (11)$$

Substitusi antara persamaan (10) dan (11), maka didapatkan

$$\frac{V_h}{V_0} = \frac{W.\sin.\alpha}{H.\cos.\alpha + W.\cos^2.\alpha}$$

$$\frac{V_h}{\frac{Q}{A.\sin.\alpha}} = \frac{W.\sin.\alpha}{H.\cos.\alpha + W.\cos^2.\alpha}$$

$$V_h = \frac{Q}{A.\sin.\alpha} \cdot \frac{W.\sin.\alpha}{H.\cos.\alpha + W.\cos^2.\alpha}$$

$$V_h = \frac{Q}{A} \cdot \frac{W}{H.\cos.\alpha + W.\cos^2.\alpha} \dots\dots\dots (12)$$

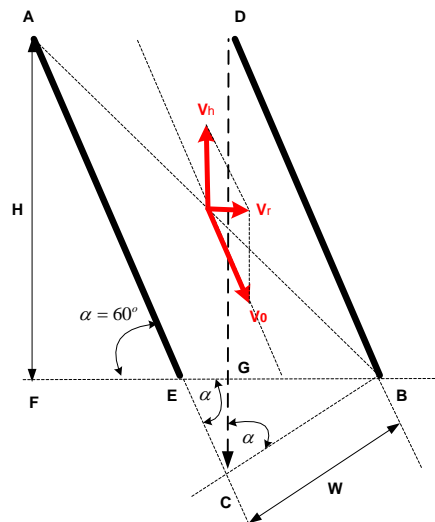
Menurut SNI-6774-2008 kemiringan berkisar antara 30° sampai dengan 60°. Jika diambil kemiringan 60°, debit (Q) 0,15 m³/dt, dengan luas permukaan efektif 294 m², maka kecepatan V_h sebesar

$$V_h = \frac{Q}{A} \cdot \frac{W}{H.\cos.\alpha + W.\cos^2.\alpha}$$

$$V_h = \frac{0,15(m^3 / dt)}{294(m^2)} \cdot \frac{0,15(m)}{1,5(m).\cos.60 + 0,15(m).\cos^2 60}$$

$$V_h = 0,000065(m / dt)$$

Perimeter (P) *tube settler* dengan diameter 0,15 m, dan tinggi *tube settler* 1,5 m sebesar keliling basah yaitu $2.\pi.r$, sedangkan luas penampang *tube settler* yaitu sebesar $\pi.r^2$. Jari-jari hidrolis sama dengan luas dibagi dengan perimeter. Atau jari-jari hidrolis sama dengan setenga jari-jari *tube settler*, atau sama dengan seperempat diameter *tube settler*. Jika diameter *tube settler* 0,15 m, maka jari-jari hidrolis sama dengan 0,0375 meter



Gambar 6. Penampang melintang *plate settler* dan *tube settler*
Sumber : Pratiwi, 2014

Bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}), dengan menggunakan *tube settler* diameter 0,15 m, kemiringan $\alpha = 60^\circ$, debit (Q) $0,15 \text{ m}^3/\text{dt}$, gravitasi (g) $9,81 \text{ m}/\text{dt}^2$ dan viskositas kinematis (ν) $0,000001109 \text{ m}^2/\text{dt}$, sebesar

$$N_{RE} = \frac{V_h \cdot R}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{0,000065(\text{m} / \text{dt}) \cdot 0,0375(\text{m})}{0,000001109(\text{m}^2 / \text{dt})}$$

$$N_{RE} = 2,19$$

$$N_{FR} = \frac{V_h^2}{g \cdot R}$$

$$N_{FR} = \frac{(0,000065 \text{ m} / \text{dt})^2}{9,81(\text{m} / \text{dt}^2) \cdot 0,0375(\text{m})}$$

$$N_{FR} = 1,13 \cdot 10^{-8}$$

Ternyata dengan menambah *tube settler* diameter 0,15 m, kemiringan 60° , serta menaikkan kapasitas (Q) satu setengah kali lebih besar dari kapasitas awal, maka bilangan Reynold (N_{RE}) memenuhi persyaratan $2,19 \ll 2000$, jadi kondisi aliran sangat laminar, meskipun bilangan Fruode (N_{FR}) masih belum memenuhi kriteria. Tabel 2, menunjukkan perhitungan bilangan Reynold (N_{RE}) dan bilangan Fruode (N_{FR}), dengan meningkatkan kapasitas pengolahan (Q) menjadi $0,2 \text{ m}^3/\text{dt}$, $0,3 \text{ m}^3/\text{dt}$, dan kemiringan $\alpha = 60^\circ$, tinggi *tube settler* 1,5 m. Terlihat bahwa bilangan Reynold (N_{RE}) masih memenuhi kriteria meskipun kapasitas dinaikkan menjadi $0,2$ dan $0,3 \text{ m}^3/\text{dt}$, dan bilangan Fruode (N_{FR}) mendekati kriteria.

Tabel 2. Perhitungan bilangan Reynold (N_{RE}) dan Fruode (N_{FR}) dengan *tube settler*

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai perhitungan			
Debit	Q	m ³ /dt	0.10	0.15	0.20	0.30
Kemiringan	α	derajat	60	60	60	60
Sin α			0.87	0.87	0.87	0.87
Cos α			0.5	0.5	0.5	0.5
Kecepatan	V_h	m/dt	0.000065	0.000097	0.000129	0.000194
Luas permukaan efektif	$A_{efektif}$	m ²	294.64	294.64	294.64	294.64
Diameter <i>tube settler</i>	W	m	0.15	0.15	0.15	0.15
Tinggi <i>tube settler</i>	H	m	1.5	1.5	1.5	1.5
Perimeter	P	m	0.47	0.47	0.47	0.47
Luas penampang tube	A		0.0177	0.0177	0.0177	0.0177
Jari-jari hidrolis	R	m	0.0375	0.0375	0.0375	0.0375
Gravitasi	g	m/dt ²	9.81	9.81	9.81	9.81
Viskositas kinematis	ν	m ² /dt	0.000001109	0.000001109	0.000001109	0.000001109
Bilangan Reynold	N_{RE}		2.19	3.28	4.37	6.56
Bilangan Fruode	N_{FR}		1.13603E-08	2.55606E-08	4.54411E-08	1.02243E-07

Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 3. Perubahan kecepatan aliran pada zona inlet.

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai perhitungan			
Debit	Q	m ³ /dt	0.10	0.15	0.20	0.30
Diameter	D	m	0.6	0.6	0.6	0.6
Jari-jari	r	m	0.3	0.3	0.3	0.3
Kecepatan inlet	V_i	m/dt	0.35	0.53	0.71	1.06

Sumber : Hasil perhitungan

Zona inlet perlu dievaluasi diameter pipa inlet, diameter eksisting 600 mm atau jari-jari 300 mm, maka kecepatan aliran berubah menjadi lebih cepat, namun tidak mempengaruhi aliran di dalam zona sedimentasi. Tabel 3, menunjukkan perubahan kecepatan aliran pada zona inlet. Semakin besar peningkatan kapasitas, maka peningkatan kecepatan aliran juga bertambah.

Zona outlet perlu dievaluasi juga akibat peningkatan kapasitas. Menurut Qasim SR., et.al., 2002, kriteria desain *weir loading rate* 250 m³/m.day untuk sedimentasi dengan tipe rectangular yang didahului dengan proses koagulasi dan flokulasi, namun untuk aliran ke atas (up flow) yang didahului dengan proses koagulasi dan flokulasi maka kriteria desain *weir loading rate* 170 m³/m.day.

Tabel 4, menunjukkan perhitungan perubahan zona outlet ketika kapasitas (Q) dinaikkan menjadi 0,15 m³/dt, 0,2 m³/dt dan 0,3 m³/dt. Jika kapasitas pengolahan (Q) dinaikkan menjadi 0,15 m³/dt, maka kebutuhan panjang weir (L) dengan bentuk *V notch* menjadi :

$$L_{weir} = \frac{Q}{\text{Weir_loading_rate}}$$

$$L_{weir} = \frac{0,15(m^3 / dt)}{170(m^3 / m.day)}$$

$$L_{weir} = \frac{0,15(m^3 / dt)}{0,0020(m^3 / m.dt)}$$

$$L_{weir} = 762,24(m)$$

Jika *weir* berbentuk *V notch* berdimensi panjang *weir* (*l*) 0,1 m, kedalaman *weir* (*h*) 0,05 m, jarak antar *weir* (*w*) 0,05 m, maka jumlah *V notch* (*n*) sebanyak :

$$n = \frac{L_{weir}}{l}$$

$$n = \frac{762,24(m)}{0,1(m)}$$

$$n = 762(\text{unit})$$

Panjang saluran pengumpul (*gutter*) (L_{gutter}) yang dibutuhkan adalah

$$L_{gutter} = n \cdot (l + w)$$

$$L_{gutter} = 762 \cdot (0,1 + 0,05)$$

$$L_{gutter} = 114(m)$$

Letak *gutter* pada dua posisi yaitu (1) di jari-jari silinder bak sedimentasi, atau (2) keliling silinder bak sedimentasi. Jika dipilih di jari-jari silinder bak sedimentasi, maka jumlah *gutter* (n_{gutter}) sebanyak :

$$n_{gutter} = \frac{L_{gutter}}{r_{efektif}}$$

$$n_{gutter} = \frac{L_{gutter}}{r_{sedimentasi} - r_{zona_inlet}}$$

$$n_{gutter} = \frac{76(m)}{10(m) - 2,5(m)}$$

$$n_{gutter} = 15(\text{unit})$$

Debit (*q*) yang mengalir pada setiap *weir V notch* sebesar :

$$q = \frac{Q}{n}$$

$$q = \frac{0,15(m^3 / dt)}{762(\text{unit})}$$

$$q = 0,000098(m^3 / dt)$$

Menurut Qasim SR., et.al., 2002, tinggi air di atas *V notch* dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$q = \frac{8}{15} \cdot C_d \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot \text{tg} \frac{\theta}{2} \cdot H^{5/2} \quad \dots (13)$$

Dimana :

$$q = \text{Debit_setiap_V_notch}, (m^3 / dt)$$

$$C_d = \text{Coeffisient_of_discharge}, (0,6)$$

$$H = \text{Tinggi_air_diatas_V_notch}, (m)$$

$$\theta = \text{sudut_V_notch}$$

Dengan persamaan (13), maka dapat dihitung tinggi air di atas *V notch* yaitu

$$q = \frac{8}{15} \cdot C_d \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot H^{5/2}$$

$$0,15 (m^3 / dt) = \frac{8}{15} \cdot (0,6) \cdot (2 \cdot 9,81 m / dt^2)^{1/2} \cdot tg \frac{90}{2} \cdot H^{5/2}$$

$$H = 0,022 (m)$$

Tinggi *free board* di atas *V notch* dapat dihitung sebesar

$$h_{free_board} = h_{V_notch} - h_{air_diatas_V_notch}$$

$$h_{free_board} = 0,05 (m) - 0,022 (m)$$

$$h_{free_board} = 0,028 (m)$$

Zona lumpur tidak perlu dievaluasi, namun meskipun volume zona lumpur tidak berubah, tetapi frekwensi pembuangan lumpur harus ditingkatkan, jika kapasitas berubah 1,5x, maka frekwensi pembuangan lumpur (*blow down*) menjadi lebih sering 1,5x, jika kapasitas ditingkatkan 2x, maka frekwensi penbuangan lumpur (*blow down*) meningkat 2x.

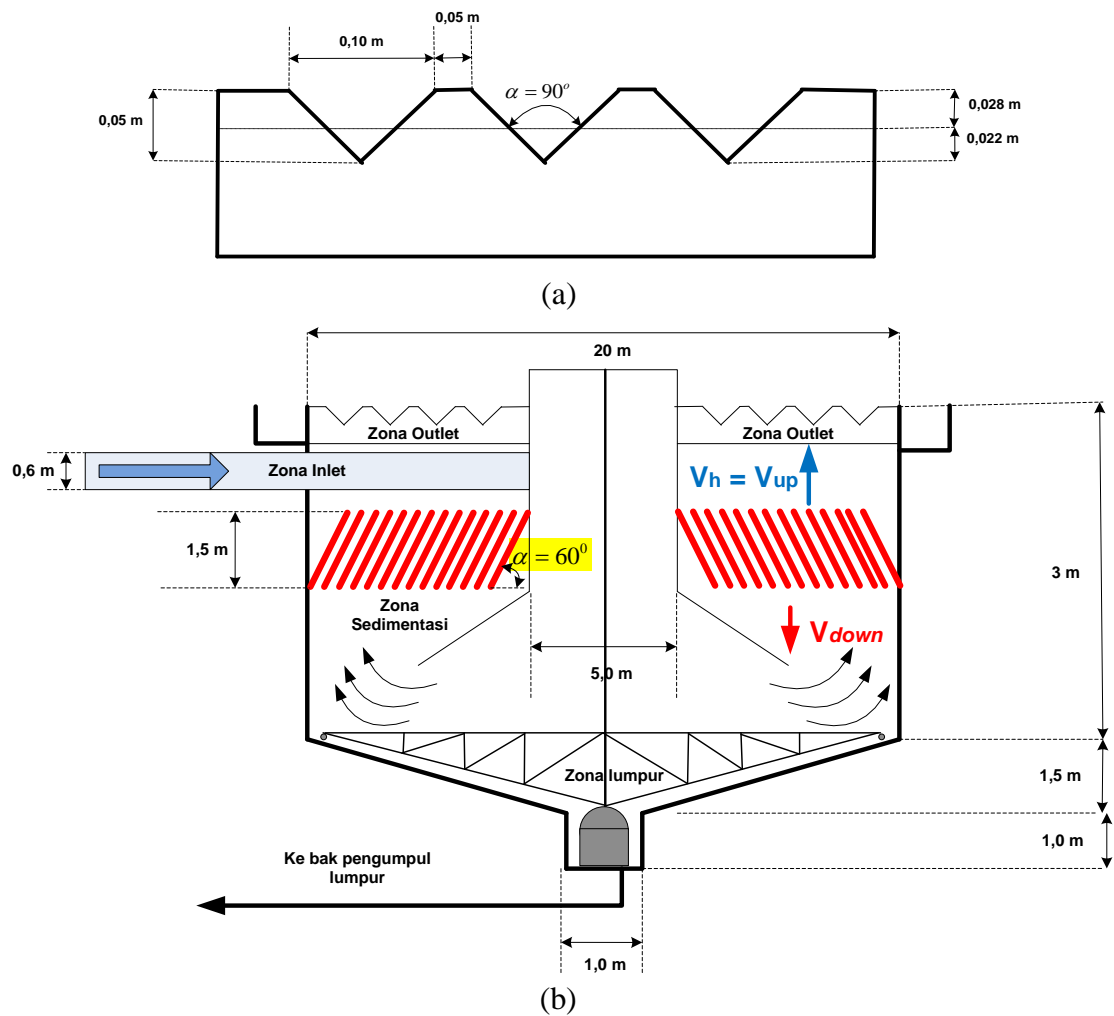
Tabel 4. Perhitungan zona outlet

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai perhitungan			
Debit	Q	m ³ /dt	0.10	0.15	0.20	0.30
Weir loading rate		m ³ /m.day	170	170	170	170
		m ² /dt	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
Kebutuhan weir	L	m	50.82	76.24	101.65	152.47
Lebar weir	l	m	0.1	0.1	0.1	0.1
Kedalaman weir	h	m	0.05	0.05	0.05	0.05
Sudut weir	α	derajat	90	90	90	90
Luas weir	a	m ²	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
Jarak antar weir	w	m	0.05	0.05	0.05	0.05
Jumlah weir	n	unit	508	762	1,016	1,525
Panjang gutter	L gutter	m	76	114	152	229
Jari-jari efektif	r efektif	m	7.5	7.5	7.5	7.5
Jumlah gutter	n gutter	unit	10	15	20	30
Debit tiap weir	q	m ³ /dt	0.000098	0.000098	0.000098	0.000098
Tinggi air di atas weir	H	m	0.022	0.022	0.022	0.022
Tinggi free board	f	m	0.028	0.028	0.028	0.028

Sumber : Hasil perhitungan

Gambar 7, menunjukkan gambar sketsa tanpa skala perubahan desain zona sedimentasi circular. Gambar 7a, menunjukkan posisi air di atas *V notch* dan tinggi *free board*, pada peningkatan kapasitas (Q) 0,15 m³/dt, maka posisi air di atas *V notch* setinggi 0,022 m, sedangkan tinggi *free board* 0,028 m Gambar 7b, menunjukkan penampang melintang bak sedimentasi tipe *circular* setelah diberi *tube settler*, tinggi *tube settler* 1,5 m, kemiringan *tube settler* α = 60°, sedangkan lubang *tube settler* ditentukan dengan produksi pasar. Pada

perhitungan *tube settler* dipilih lubang *tube settler* 0,15 m. Zona inlet tidak mengalami perubahan dimensi i pipa inlet, namun akan berpengaruh pada kecepatan aliran di dalam pipa inlet. Zona outlet terjadi perubahan jumlah V notch (n), panjang gutter (L_{gutter}). Zona lumpur tidak mengalami perubahan, namun harus diperhatikan frekwensi pembuangan lumpur. Gambar 7c, menunjukkan foto perubahan zona sedimentasi menjadi *tube settler*. Zona outlet menggunakan keliling bak sedimentasi *circular*, bukan pada jari-jari bak sedimentasi *circular*. Gambar 7d, menunjukkan stock material *tube settler*, jika terjadi kerusakan akibat pemeliharaan, maka material *stock tube settler* digunakan untuk mengganti yang rusak



(c)



(d)

Gambar 7. Gambar perubahan desain bak sedimentasi tipe *circular* (tanpa skala)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa desain sedimentasi harus dimodifikasi ketika debit (Q) ditingkatkan. Zona sedimentasi tipe *circular* diubah menjadi *tube settler*. Dengan menggunakan *tube settler* tinggi (H) 1,5 m dan diameter *tube settler* (D) 0,15 m, kemiringan *tube settler* $\alpha = 60^\circ$, aliran yang terjadi pada zona sedimentasi berubah menjadi laminar. Perubahan kondisi aliran dari turbulen menjadi laminar terlihat dari perubahan bilangan Reynold (N_{RE}) dari 2151 menjadi 3,28, pada saat kapasitas pengolahan ditingkatkan menjadi 1,5x dari kapasitas awal. Ketika kapasitas pengolahan ditingkatkan 2x, kondisi aliran pada zona sedimentasi juga masih laminar, terlihat bilangan Reynold (N_{RE}) berubah dari 2869 menjadi 4,37, pada saat kapasitas pengolahan ditingkatkan menjadi 1,5x dari kapasitas awal. Ketika kapasitas pengolahan ditingkatkan 3x, kondisi aliran pada zona sedimentasi juga masih laminar, terlihat bilangan Reynold (N_{RE}) berubah dari 6456 menjadi 6,56. Namun bilangan Fruode (N_{FR}) masih belum memenuhi kriteria, hanya mendekati kriteria, ketika zona sedimentasi diubah menjadi *tube settler*.

Zona inlet tidak mengalami modifikasi dimensi pipa inlet, hanya kecepatan aliran di dalam pipa inlet bertambah besar, namun aliran di dalam silinder akan terbagi merata menuju zona sedimentasi yang telah diubah menjadi *tube settler*.

Zona outlet mengalami perubahan pada kebutuhan panjang weir (L), jumlah *V notch* (n), panjang gutter (L_{gutter}), ketika kapasitas pengolahan ditingkatkan. Semakin besar kapasitas pengolahan, maka kebutuhan panjang weir (L), jumlah *V notch* (n), panjang gutter (L_{gutter}) juga akan semakin banyak.

Zona lumpur tidak mengalami perubahan, namun frekwensi pembuangan lumpur harus ditingkatkan dengan semakin meningkatnya kapasitas pengolahan.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan tipe zona sedimentasi untuk mendapatkan bilangan Fruode (N_{FR}) yang memenuhi kriteria.

DAFTAR PUSTAKA

- Qasim SR., Motley EM., Zhu G., 2002. Water Work Engineering, Planning, Design, and Operation. Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi.
- Yulianti PC. 2012. Studi Literatur Desain Unit Prasedimentasi Instalasi pengolahan air Minum. Jurusan Teknik Lingkungan, ITS. Surabaya.
- Pratiwi KDS., Hermana J. 2014. Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Mengandung Minyak Pelumas pada Oil Separator dengan Menggunakan Plate Settler. Jurnal Teknik Pomits. Vol. 3. No. 1.
- Standar Nasional Indonesia. SNI-6774-2008. Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air.
- Schulz CR., Okun DA., 1984. Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries. John Wiley and Son Inc. Canada.

**KAJIAN KARAKTERISTIK, POTENSI DAN PERMASALAHAN DI HULU DAERAH ALIRAN
SUNGAI (DAS) GRINDULU BAGIAN TIMUR KABUPATEN PACITAN**

Dodit Ardiatma¹⁾, Putri Anggun Sari²⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

²⁾Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

e-mail : doditardiatma@gmail.com

ABSTRACT

Daerah Aliran Sungai Grindulu memiliki topografi datar hingga bergunung dengan elevasi tertinggi 1.100 m di atas permukaan air laut (Gunung Gembes). Dominasi penguasaan lahan tegalan oleh penduduk setempat telah berdampak pada perkembangan kondisi tanah permukaan lahan DAS Grindulu yaitu 61,29% merupakan tanah dengan solum sangat tipis dan dijumpai singkapan batuan induk litosol. Kondisi demikian mengakibatkan mudah terkikisnya lapisan *top soil* yang berdampak pada tingginya tingkat longsor dan sedimentasi yang terjadi di DAS Grindulu berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut dilakukan penelitian dengan judul **Kajian Karakteristik, Potensi dan Permasalahan Hulu DAS Grindulu Bagian Timur**. Sehingga didapat rekomendasi pengelolaan lingkungan di hulu DAS Grindulu bagian timur. Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco memiliki ruang hidup yang cukup sempit, dengan lembah sungai yang berbentuk huruf "V". Hal tersebut dikarenakan kedua desa diapit oleh tebing yang sangat curam, sehingga daerah yang bermorfologi datar sangat sempit. Satu-satunya potensi yang terdapat di kawasan hulu sebelah timur DAS Grindulu yang dimanfaatkan oleh masyarakat adalah potensi bahan galian golongan c (sirtu) sementara untuk potensi lahannya belum teroptimalkan. Strategi pengelolaan lingkungan yang sesuai yakni rekayasa teknis dengan pembuatan tanggul untuk menanggulangi erosi, Merekomendasikan teknik pertambangan rakyat yang dikelola oleh kelompok, Merancang *Integrated farming system* (sistem pertanian terpadu), pemberian kompensasi yang setimpal dari pihak pabrik pengolahan aspal di Desa Mangunharjo kepada masyarakat sekitar, Penghijauan lahan di sekitar pabrik aspal untuk menyerap polutan akibat asap pabrik

Kata kunci: DAS Grindulu, potensi dan permasalahan, strategi pengelolaan lingkungan

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lainnya (UUPPLH Nomor 32 tahun 2009). Lingkungan hidup tersusun atas 3 komponen utama yaitu: komponen abiotik (lingkungan fisik), komponen biotik (lingkungan hayati atau flora-fauna), dan komponen kultural (lingkungan manusia dan perilakunya, yang meliputi aspek kependudukan, sosial ekonomi, dan sosial budaya). Ketiga komponen dalam lingkungan hidup saling ketergantungan dan terjadi suatu hubungan timbal balik antara manusia dan makhluk lain dengan faktor-faktor alam.

Kerusakan lingkungan hidup tentu akan berpengaruh terhadap kemerosotan kualitas hidup dan kesejahteraan manusia yang menjadi sasaran utama pembangunan nasional.

Daerah Aliran Sungai Grindulu memiliki topografi datar hingga bergunung dengan elevasi tertinggi 1.100 m di atas permukaan air laut (Gunung Gembes) dan mempunyai wilayah paling besar yaitu meliputi 9 kecamatan. Dominasi penguasaan lahan tegalan oleh penduduk setempat telah berdampak pada perkembangan kondisi tanah permukaan lahan DAS Grindulu yaitu 61,29% merupakan tanah dengan solum sangat tipis dan dijumpai singkapan batuan induk litosol. Kondisi demikian mengakibatkan mudah terkikisnya lapisan *top soil* yang berdampak pada tingginya tingkat longsor dan sedimentasi yang terjadi di DAS Grindulu berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut dilakukan penelitian dengan judul **Kajian Karakteristik, Potensi dan Permasalahan Hulu DAS Grindulu Bagian Timur**. Sehingga didapat rekomendasi pengelolaan lingkungan di hulu DAS Grindulu bagian timur.

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini yakni

- (1) mengetahui karakteristik, potensi dan permasalahan di DAS Grindulu bagian hulu sebelah timur.
- (2) merumuskan rekomendasi pengelolaan lingkungan yang sesuai.

(1) Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kajian penelitian deskriptif-analitis dengan menggunakan *survey* untuk menggambarkan fenomena seperti apa adanya. Contoh: *Naturalistic observation* dan *Survey research*, sedangkan metode survei digunakan untuk mendapatkan informasi dalam bentuk opini dari sejumlah orang terhadap isu dan topik tertentu. Tiga (3) karakter utama dalam survei, yaitu

- (1) Informasi dikumpulkan dari kelompok besar orang yang digunakan untuk menjelaskan beberapa aspek tertentu,
- (2) informasi dikumpulkan lewat pengajuan pertanyaan (biasanya tertulis), dan
- (3) informasi yang didapat dari sampel, tidak dari populasi. Tujuan dari survei adalah untuk mengetahui gambaran umum dari populasi.

Menurut Davis dan Cosenza (1993), metode yang digunakan dalam sebuah penelitian harus memiliki ciri: (1) bersifat kritis dan analitis, (2) logis, (3) objektif (4) bersifat konseptual dan teoritis, (5) empiris dan (6) sistematis. Penelitian Ilmiah itu sendiri, seperti yang disampaikan Kerlinger (1986), merupakan suatu investigasi yang sistematis, terkontrol, empiris dan kritis dari suatu proposisi hipotesis mengenai hubungan tertentu antar fenomena.

Pola pikir yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pola berpikir deduktif, yaitu adanya penarikan kesimpulan untuk hal spesifik (khusus) dari gejala umum, penelitian yang dilakukan harus: (1) berdasarkan fakta, (2) bebas dari prasangka, (3) menggunakan prinsip-prinsip analisis, (4) menggunakan hipotesis, (5) menggunakan ukuran objektif, (6) menggunakan teknik kuantifikasi.

Selanjutnya data diolah dan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif, menganalisa dan menyajikan fakta secara sistematis sehingga lebih mudah untuk di pahami dan disimpulkan, sehingga didapatkan gambaran yang benar mengenai subyek yang diteliti. Persyaratan pokok melaksanakan penelitian, antara lain:

- (1) sistematis, penelitian tersebut hendaknya mengikuti pola urutan yang telah ditentukan, setiap urutan hendaknya dilaksanakan secara tertib tidak boleh ada yang dilewati tanpa alasan yang dapat dipertanggung-jawabkan,
- (2) terencana, penelitian hendaknya dilakukan secara sengaja yang telah dilengkapi dengan rancangan dan prosedur penelitiannya, dan; mengikuti metode serta langkah-langkah ilmiah sebagaimana yang telah dilakukan oleh para saintis.

(2) Alat dan Bahan Kajian Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat komputer dengan sistem operasi *Microsoft Windows 7 Professional* yang dilengkapi beberapa *software*, yaitu, *ArcView GIS 10.3.*, *Camera Digital*, dan *Microsoft Office 2007*. Adapun alat yang digunakan untuk pengukuran langsung di lapangan dapat dibaca pada **Tabel 2.1.** dibawah ini.

Tabel 2.1. Alat yang digunakan dalam kajian penelitian

N	Nama Alat	Tipe Alat	Fungsi Alat
0			
1	<i>EC meters</i>	WL400	Mengukur daya hantar listrik air Mengukur TDS air
2	Meteran	RG600	Mengukur kecepatan air
3	GPS	Garmin 3 pro x	Mengukur koordinat lokasi pengamatan
4	Anemometer		Mengukur kecepatan angin
5	Monoxor	Bacharach Monoxore III	Mengukur kadar Cox
6	Abney meter		Mengukur kemiringan lereng

Sumber: hasil inventarisasi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data primer dan data sekunder. Bahan yang digunakan berupa data primer diperoleh dari pengukuran di lapangan dan data sekunder **Tabel 2.2.** Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data primer dan data sekunder.

Tabel 2.2. Data sekunder yang digunakan dalam kajian penelitian

No	Data / Peta Digital	Tahun	Sumber
1	Penggunaan lahan	2013	
2	Tanah	2013	
3	Curah hujan	2013	
4	Bentang lahan	2013	
5	Geologi	2014	
6	Citra landsat 8	2013	
7	Wilayah administratif Pacitan	2008	
8	Sosial dan Ekonomi masyarakat	2013	Kecamatan Dalam Angka Kab. Pacitan & Buku Putih Sanitasi Kab. Pacitan

(3) Pendekatan Kajian Penelitian

Analisis permasalahan lingkungan di hulu DAS menjadi dasar bagi upaya pengendalian permasalahan lingkungan, setelah pengolahan data dilakukan pada zonasi wilayah pengembangan. Prioritas penanganan wilayah pengembangan didasarkan pada prioritas permasalahan lingkungan yang dinilai menurut kerawanan dan kerusakan komponen lingkungan (aspek abiotik, biotik dan sosio kultural). Pendekatan kajian yang dilakukan meliputi:

- (1) analisis bio-fisik DAS (lereng, tanah, erosi, sedimentasi, dan lahan kritis),
- (2) analisis sosio-kultural ekonomi masyarakat DAS
- (3) Analisis morfologi DAS (hulu DAS Grindulu)
- (4) analisis penataan ruang

Kajian karakteristik sumberdaya DAS Grindulu meliputi kajian sumberdaya bio-fisik, penggunaan lahan, sumberdaya manusia dan sumberdaya sosial. Pengkajian bio-fisik, dan penggunaan lahan dilakukan melalui kajian terhadap peta-peta, citra satelit, dan laporan-laporan serta observasi lapangan. Kajian sumberdaya manusia dan sumberdaya sosial, yang meliputi tingkat pendidikan dan mata pencaharian, kepemilikan dan penguasaan lahan, pranata institusi formal/informal masyarakat, struktur dan instrumen kebijakan lembaga-lembaga pemerintah, wawancara dan diskusi kelompok dengan pelaku langsung maupun tidak langsung kegiatan pengelolaan. Kajian permasalahan hulu DAS Grindulu bagian timur dilakukan melalui pendekatan beberapa pendekatan, yaitu melalui pendekatan ekoregion, penggunaan lahan, tanah, bentang lahan, curah hujan dan geologi sehingga dapat digunakan untuk merumuskan strategi (kebijakan dan program/kegiatan) pencapaian tujuan yang disepakati bersama atas dasar karakter khas kondisi sumberdaya alam (*natural capital*), yaitu udara (*atmosphere*), tanah dan batuan penyusunnya, vegetasi, satwa, sumberdaya manusia (*human capital*) beserta pranata institusi formal maupun informal masyarakat (*social capital*), maupun sumberdaya buatan (*man made capital*) sehingga didapatkan penyelenggaraan pengelolaan sumberdaya alam yang adil, efektif, efisien dan berkelanjutan.

(4) Tahapan Kajian Penelitian

Kajian penelitian, dilakukan 3 tahapan yang terdiri dari tahapan persiapan, tahapan observasi lapangan dan analisis data dan tahapan perumusan hasil, seperti berikut ini.

Tahap persiapan, meliputi:

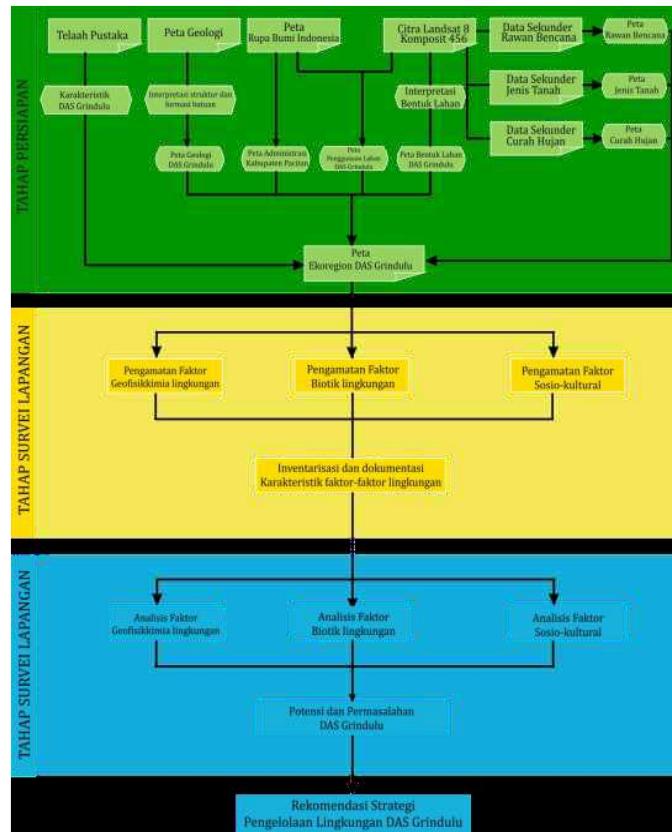
- (a) pengumpulan literatur untuk menelaah konsep, teori, dan hasil-hasil kajian terdahulu yang terkait ekoregion, pengelolaan lingkungan dan kajian sosial dan budaya pada daerah penelitian secara umum,
- (b) pembuatan peta untuk mendapatkan batas daerah penelitian,
- (c) penyusunan daftar pertanyaan untuk mendapatkan jawaban yang berupa informasi yang dibutuhkan,
- (d) pengumpulan data sekunder yang terkait dengan tema kajian penelitian; data klimatologi, jenis dan sifat fisik tanah, data kelerengan, data penggunaan lahan, dan;
- (e) penetapan titik plot atau proses pemilihan lokasi yang dinilai mampu untuk mewakili seluruh populasi.

Tahap observasi dan analisis data, meliputi:

- (a) pengamatan observasi komponen geofisik kimia, komponen biotik sosiokultur, ekonomi.
- (b) melakukan dokumentasi pada setiap lokasi sampel dan fenomena yang terjadi
- (c) melakukan interview kepada masyarakat mengenai permasalahan yang terdapat pada lokasi kajian penelitian yang telah ditentukan.

Tahap perumusan hasil, meliputi:

- (a) rekapitulasi dan pembuatan tabulasi data-data hasil pengamatan observasi di lapangan,
- (b) analisis data hasil observasi di lapangan,
- (c) evaluasi pengelolaan berdasarkan potensi dan permasalahan ekoregion di lokasi kajian; dan
- (d) menyusun rekomendasi strategi pengelolaan lingkungan hidup;



Gambar 2.1 Bagan Alir Penelitian

3. Karakteristik DAS Grindulu

Karakteristik masing-masing bentang lahan pada ekoregion DAS Grindulu. Karakteristik yang akan dijelaskan adalah karakteristik abiotik (komponen benda mati), Biotik (komponen makhluk hidup) dan karakteristik sosio-kultural dan ekonomi masyarakat yang terdapat pada DAS Grindulu.

(1) Hulu DAS Grindulu Bagian Timur

Daerah Aliran Sungai (DAS) Grindulu bagian Timur memiliki bentanglahan atau ekoregion perbukitan denudasional yang memiliki karakteristik lembah sungai berbentuk “V” dan “U”. Ekoregion perbukitan denudasional merupakan kesatuan dari proses pelapukan, erosi, gerak massa batuan (*mass movement*), dan proses pengendapan/sedimentasi. Morfologi ekoregion perbukitan denudasional berupa perbukitan dengan lereng curam (30-40%). Proses utama ekoregion ini berupa denudasional yang dicirikan oleh tingkat pelapukan batuan yang telah lanjut, erosi lereng dan gerakan massa batuan. Proses ini menyebabkan morfologi perbukitan tidak teratur, banyak alur-alur dan parit-parit erosional, dan degradasi lahan semakin meningkat. Ekoregion perbukitan denudasional DAS Grindulu bagian Timur yang memiliki lembah sungai

berbentuk V memiliki curah hujan bervariasi antara 500 – 1000 mm/tahun. Material dominan adalah batuan-batuan beku gunungapi tua yang telah mengalami pelapukan tingkat lanjut, dan batuan sedimen berupa batu gamping, napal, dengan potensi sumberdaya mineral berupa bahan galian C, berupa batu pasir dan kerikil.

Material batuan gunungapi tua dan batuan sedimen batu gamping napal dengan proses pelapukan intensif menyebabkan pembentukan tanah-tanah Kambisol dan Latosol yang terakumulasi pada lereng dan lembah. Sedangkan pada sebagian yang lain terbentuk tanah litosol yang tipis dan langsung kontak dengan batuan induk. Tanah Kambisol dan Latosol merupakan dua jenis tanah yang bersolum tebal, bertekstur lempung bergeluh, dan cukup subur, tetapi

mudah mengalami longsor jika mengalami kejenuhan tinggi (saat hujan) dan berada pada lereng yang miring. Sementara tanah Litosol adalah tanah tipis yang miskin hara, sehingga umumnya hanya tumbuh semak belukar atau savana. Airtanah relatif sulit didapatkan, kecuali pada lembah-lembah sempit yang ada, itupun dalam jumlah yang sangat terbatas. Umumnya airtanah dijumpai dalam bentuk rembesan (*seepage*) di antara lapisan batuan yang telah lapuk di bagian atas dan lapisan batuan yang masih padu di bagian bawah, atau dalam bentuk mataair kontak dan terpotong lereng pada tekuk-tekuk lereng atau lerengkaki perbukitan (*contact spring* atau *topographic spring*), dengan debit aliran yang umumnya kecil.



Gambar 2.2. Longsor Batuan di Desa Gemaharjo Kecamatan Tegalombo
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Kerawanan lingkungan yang potensial adalah bahaya erosi dan longsor lahan, yang seringkali dan selalu terjadi selama musim penghujan. Daerah ini yang memiliki tingkat risiko bahaya longsor tertinggi. Longsor (*landslide*) adalah perpindahan material pembentuk lereng

berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran bergerak ke bawah atau keluar lereng.

Peristiwa longsor atau dikenal sebagai gerakan massa tanah, batuan atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng-lereng alami atau buatan dan sebenarnya merupakan fenomena alam. Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah. Sementara, gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban serta berat jenis tanah dan batuan. Selain bahaya erosi dan longsor, DAS Grindulu bagian Timur juga rentan terhadap kekeringan dan lahan kritis saat kemarau seperti kekurangan air bersih, kerusakan hutan dan penurunan keanekaragaman hayati. Titik pengamatan pada lembah sungai yang berbentuk "U" dilakukan di Desa Mangunharjo dan Desa Pagutan Kecamatan Arjosari. Secara genetis, material penyusun umumnya berupa aluvium, dengan komposisi pasir, debu, dan lempung. Sumber material penyusunnya sangat bergantung kepada kondisi geologi daerah hulu, yang terbentuk akibat aktivitas pengendapan aliran sungai. Topografi bentanglahan ini berupa dataran dengan morfologi atau relief datar, dan kemiringan lereng secara umum 0-8%. Bentanglahan ini terbentuk oleh proses pengendapan fluvial (aliran sungai), yang membentuk struktur berlapis horisontal dan tersortasi baik (lapisan dengan material kasar di bagian bawah, dan semakin ke atas semakin halus).

Aliran Sungai Grindulu bersifat mengalir sepanjang tahun (perennial). Material aluvium yang berada pada lembah Sungai Grindulu menjadikan tanah ini sangat subur, yang disebut dengan tanah Aluvial. Tanah ini potensial untuk pengembangan lahan-lahan pertanian tanaman semusim dengan irigasi intensif. Potensi sumberdaya mineral yang mungkin dijumpai berupa pasir dan batu.

Kondisi hidrologi satuan ini dibangun oleh material aluvium yang mampu membentuk akuifer yang potensial, dengan dukungan morfologi yang datar, maka menyebabkan cadangan atau ketersediaan airtanah dangkal sangat potensial, sehingga membentuk reservoir airtanah. Material aluvium merupakan material yang mudah untuk mengalami pengikisan oleh aliran sungai, sehingga pada umumnya satuan ini dicirikan oleh pola aliran berkelok-kelok (*meander*) seperti yang berada di Desa Pagutan Kecamatan Arjosari.

Meander terbentuk akibat dari proses pengikisan dan pengendapan oleh arus sungai di daerah lembah yang memiliki kelerengan yang tidak terlalu tajam. Proses pengerjaan sungai ini dimulai dari arah hulu dengan arus yang deras kemudian ketika memasuki bagian tengah, relief

lembah semakin datar dan kecepatan aliran sungai mulai menurun. Aliran sungai ini membentuk alur di lekukan dalam dan lekukan luar sungai. Lekukan luar memiliki kecepatan aliran yang lebih besar dibanding lekukan dalam, sehingga di bagian lekukan dalam sering terjadi erosi. Kondisi biotik di daerah lembah sungai berbentuk V seperti di lokasi pengamatan di Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco memiliki jenis vegetasi mempunyai peran yang cukup besar terhadap proses pelapukan batuan. Hal ini dapat terjadi karena:

- Secara mekanis akar tumbuh-tumbuhan itu menembus batuan, bertambah panjang dan membesar menyebabkan batuan pecah.
- Secara kimiawi tumbuh-tumbuhan melalui akarnya mengeluarkan zat-zat kimia yang dapat mempercepat proses pelapukan batuan. Akar, batang, daun yang membusuk dapat pula membantu proses pelapukan, karena pada bagian tumbuhan yang membusuk akan mengeluarkan zat kimia yang mungkin dapat membantu menguraikan susunan kimia pada batuan. Oleh karena itu, jenis dan jumlah tumbuhan yang ada di suatu daerah sangat besar pengaruhnya terhadap pelapukan. Sebenarnya antara tumbuh-tumbuhan dan proses pelapukan terdapat hubungan yang timbal balik.

Kondisi biotik atau hayati asli yang dapat beradaptasi pada kondisi lahan ini adalah tanaman jati, mahoni, akasia, dan vegetasi atau tanaman lain yang berakar tunjang dalam, sehingga mampu menembus lapisan-lapisan batuan untuk mendapatkan air. Penggunaan lahan di satuan bentanglahan ini antara lain ladang, perkebunan, hutan rakyat, permukiman, industri, bangunan dan lahan lainnya. Pada daerah sekitar lainnya masih banyak dijumpai lahan yang digunakan untuk pertanian campuran/lahan kering. Banyak dijumpainya daerah pertanian jenis ini dikarenakan ketersediaan sumberdaya air untuk irigasi masih cukup sulit untuk terpenuhi.



Gambar 3.1. Kondisi Vegetasi di Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Sedangkan kondisi biotik di daerah lembah sungai berbentuk “U” sebagian besar merupakan kebun campuran dengan jenis tanaman seperti: kacang/padi/jagung/pakan ternak; tanaman hutan seperti: jati/sengon/akasia. Selain itu penggunaan lahan lainnya yaitu pemukiman desa, semak belukar, dan tanah terbuka. Pemanfaatan lahan secara umum berupa lahan pertanian

tanaman semusim yang potensial yang produktif. Salah satu komoditas yang cukup banyak ditanam oleh petani pada wilayah ini adalah tanaman sejenis kacang-kacangan dan palawija.



Gambar 3.2. Kondisi Vegetasi Sekitar Desa Mangunharjo dan Desa Pagutan
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Kedaaan Penduduk di sekitar DAS Grindulu Timur di daerah lembah sungai berbentuk “V” mengikuti alur Sungai Grindulu khususnya yang dekat dengan sumber-sumber air. Mata pencaharian penduduk di wilayah ini adalah petani dan penambang. Kondisi lingkungan fisik yang demikian menyebabkan kondisi sosial ekonomi rentan terhadap kemiskinan (pendapatan perkapita rendah), struktur kependudukan lebih banyak tua dibandingkan muda, sehingga kekurangan tenaga kerja produktif akibat usia produktif melakukan migrasi ke kota-kota besar. Kondisi tersebut menyebabkan masyarakat yang tinggal di wilayah ini memiliki ruang hidup yang cukup sempit.

Sedangkan di daerah lembah sungai berbentuk “V” memiliki karakteristik kehidupan sosial yang masih homogen, di mana pola permukiman hampir merata mengikuti alur Sungai Grindulu. Mata pencaharian masyarakat sekitar lembah Sungai Grindulu berada pada sektor agraris. Pekerjaan ini didominasi oleh petani, pedagang, dan penambang.



Gambar 3.3. Kondisi Permukiman Desa dan Aktivitas Warga Desa
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Perkembangan suatu daerah dapat menyebabkan kebutuhan lahan permukiman semakin meningkat, yang berakibat pada alih fungsi lahan pertanian menjadi permukiman. Aktivitas industri yang ada, juga menghasilkan bahan-bahan pencemar yang menyebabkan pencemaran lingkungan semakin tinggi yang berasal dari pabrik aspal dan pabrik pengolahan besi dan seng, sehingga dalam jangka panjang dapat menyebabkan menurunkan kualitas lingkungan.

(2) Potensi DAS Grindulu

Potensi dari masing-masing bentang lahan yang merupakan jasa yang disediakan lingkungan untuk dimanfaatkan sebaikbaiknya oleh masyarakat yang ada di sekitar DAS Grindulu.

3.2.1. Hulu DAS Grindulu Bagian Timur

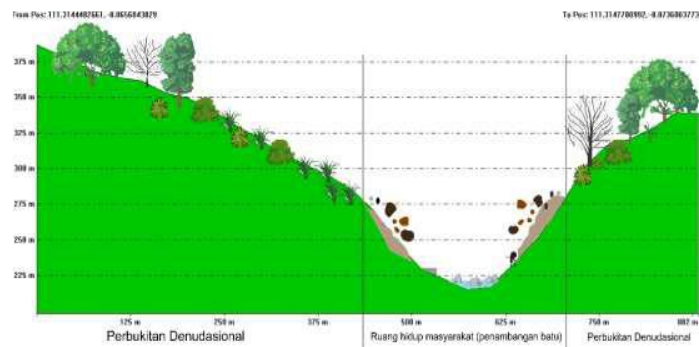
Satu-satunya potensi yang terdapat di kawasan hulu sebelah timur DAS Grindulu yang dimanfaatkan oleh masyarakat adalah potensi bahan galian golongan c (sirtu) sementara untuk potensi lahannya belum teroptimalkan.



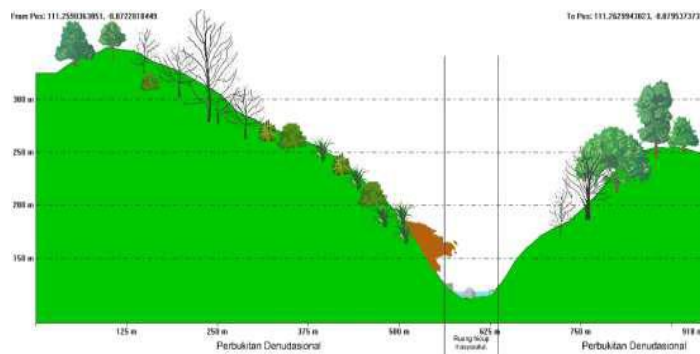
Gambar 3.4. Aktivitas penambangan sirtu oleh masyarakat di Desa Ngreco. Kec.Tegalombo
Sumber: Dokementasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

3.2.2. Permasalahan Hulu DAS Grindulu Bagian Timur

Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco memiliki ruang hidup yang cukup sempit, dengan lembah sungai yang berbentuk huruf “V”. Hal tersebut dikarenakan kedua desa diapit oleh tebing yang sangat curam, sehingga daerah yang bermorfologi datar sangat sempit. Penampang horizontal Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco ditunjukkan pada **Gambar 3.5.** dan **Gambar 3.6.**



Gambar 3.5. Penampang Horizontal Desa Gemaharjo; Kabupaten Pacitan, Jawa Timur
Sumber: Pengolahan Data Primer



Gambar 3.6. Penampang Horizontal Desa Ngreco, Kec.Tegalombo, Kab. Pacitan, Jawa Timur
Sumber: Pengolahan Data Primer

Tebing curam yang menyusun Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco memiliki karakteristik yang berbeda. Tebing yang terdapat di Desa Gemaharjo tersusun atas batuan andesit tua hasil dari aktivitas vulkanik. Sehingga sering terjadi longsor batu atau *rock fall*. Hal tersebut dimanfaatkan oleh masyarakat yang tinggal sebagai bahan tambang galian C sebagai mata pencaharian utama karena ketersediaan lahan untuk bercocoktanam atau melakukan aktivitas lainnya sangat sempit. Aktivitas penambangan batuan di Desa Gemaharjo ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 3.7. Aktivitas Penambangan Sirtu Oleh Masyarakat di Desa Ngreco, Kec. Tegalombo
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Longsor batuan tersebut jatuh ke sungai dan menjadi salah satu penyebab sedimentasi di Sungai Grindulu. Fenomena lain terdapat di Desa Ngreco yang memiliki topografi berupa tebing curam tersusun atas batuan andesit lebih muda serta lapisan tanah yang relatif tipis dan berhubungan langsung dengan batuan induk seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.7.**, sehingga saat terjadi hujan batuan menjadi bidang gelincir karena terjadi infiltrasi di permukaan batuan yang bersifat *impermeable layer*. Hal tersebut menyebabkan adanya permasalahan longsor lahan atau *land slide* di Desa Ngreco jika hujan turun.

Kondisi ruang hidup yang sempit menjadikan masyarakat Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco harus cermat dalam memanfaatkan potensi lahan yang ada. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, lahan yang ada di Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco belum dioptimalkan dengan baik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.8.**



Gambar 3.8. Fenomena *Land Slide* Pada Tebing curam di Desa Ngreco, Kec.Tegalombo
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

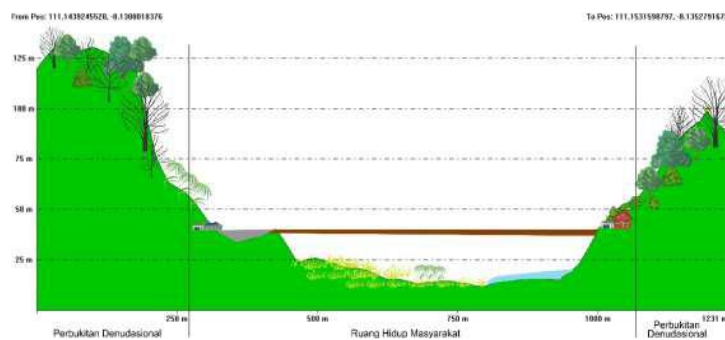
Lahan yang belum dioptimalkan ini merupakan potensi bagi Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco. Karena lahan tidur terletak di atas tebing curam, maka tanaman dapat ditanami adalah tanaman obat jenis herbal dan tanaman berupa rumput-rumputan karena bersifat mengikat tanah agar struktur tanah menjadi lebih kuat. Selain dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, tanaman-tanaman tersebut juga berguna untuk meresap air hujan yang turun sehingga tidak

langsung jatuh dan infiltrasi di atas permukaan tanah. Hal tersebut dapat mencegah potensi terjadinya longsor dan mengurangi sedimentasi di Sungai Grindulu.

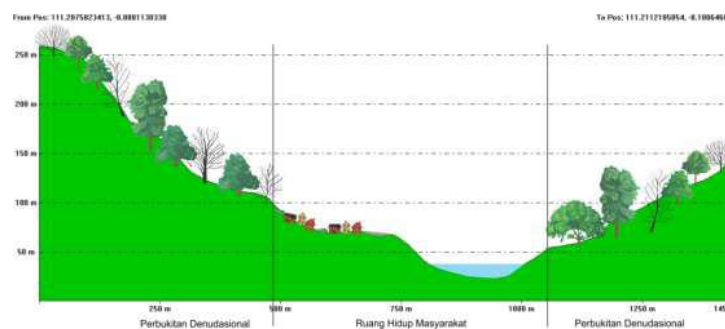


Gambar 3.9. Lahan tidur di Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco yang belum dioptimalkan
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Pada Kecamatan Arjosari, desa yang dijadikan lokasi pengamatan adalah Desa Mangunharjo dan Desa Pagutan. Berbeda dengan Kecamatan Tegalombo, Kecamatan Arjosari memiliki ruang hidup yang lebih luas dengan lembah sungai berbentuk huruf “U”, sehingga potensi dan permasalahan yang ada cukup jauh berbeda. Penampang horizontal Desa Mangunharjo dan Desa Pagutan ditunjukkan pada **Gambar 4.18.** berikut ini.



Gambar 3.10. Penampang Horizontal Desa Mangunharjo; Kec. Tegalombo, Kab.Pacitan
Sumber: Pengolahan Data Primer



Gambar 3.11. Penampang Horizontal Desa Pagutan, Kecamatan Tegalombo,
Sumber: Pengolahan Data Primer

Di Desa Mangunharjo, masyarakat memiliki usaha kecil dengan berdagang makanan atau membuka toko kelontong seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.12**. Perbedaan yang cukup mencolok dibandingkan dengan Desa Gemaharjo dan Desa Ngreco adalah perbedaan mata pencaharian, karena masyarakat di Desa Mangunharjo memiliki ketersediaan lahan yang cukup untuk bercocoktanam ataupun berdagang sehingga tidak perlu melakukan aktivitas penambangan.



Gambar 3.12. Aktivitas Masyarakat Desa Mangunharjo, Kecamatan Arjosari yang Bermatapencaharian Sebagai Pedagang

Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Permasalahan yang terdapat di Desa Mangunharjo, Kecamatan Arjosari disebabkan oleh adanya aktivitas pabrik pengolahan aspal di tepi Sungai Grindulu. Berdasarkan hasil wawancara, masyarakat desa cukup meresahkan aktivitas pabrik tersebut karena menimbulkan pencemaran udara. Pencemaran yang terjadi menyebabkan gangguan kesehatan berupa penyakit ISPA dan gangguan sistem pernafasan lainnya. Selain itu, pencemaran udara akibat asap pabrik pengolahan aspal tersebut menimbulkan gangguan pada tanaman yang berada di sekitar pabrik, tanaman menjadi kering dan mengalami hambatan pertumbuhan seperti yang terlihat pada **Gambar 3.13**. Di samping itu, pencemaran udara yang terjadi menimbulkan konflik sosial pada masyarakat setempat. Konflik yang timbul diakibatkan pihak pabrik tidak memberikan kompensasi yang setimpal pada masyarakat terhadap dampak negatif yang telah ditimbulkan dari aktivitas pabrik.



Gambar 3.13. Tanaman yang mengering di Sekitar Pabrik Pengolahan Aspal, Desa Mangunharjo, Kecamatan Arjosari

Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Berikutnya adalah Desa Pagutan yang juga terletak di Kecamatan Arjosari. Di Desa Pagutan, terdapat potensi berupa lahan yang cukup luas. Lahan yang terdapat di Desa Pagutan sudah dimanfaatkan oleh masyarakat namun belum terpilah dengan baik. Terdapat permasalahan berupa sedimentasi yang cukup tebal karena tipe sungai yang berkelok-kelok (*meandering*), sehingga terjadi erosi pada bagian luar sungai (*outer bend*) dan sedimentasi pada bagian dalam sungai (*inner bend*). Erosi yang terjadi menimbulkan permasalahan berupa retakan jembatan yang lama-kelamaan menyebabkan jembatan amblas seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.14.** berikut ini.



Gambar 3.14. Retakan jembatan di Desa Pagutan, Kecamatan Arjosari Akibat Erosi Sungai Grindulu

Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014



Gambar 3.15. Erosi dan Sedimentasi Sungai Grindulu di Desa Pagutan, Kecamatan Arjosari
Sumber: Dokumentasi Penelitian Tanggal 18 Agustus 2014

Erosi dan sedimentasi yang terjadi sangat dinamis mengakibatkan terjadinya dinamika fluvial yaitu pergeseran/perpindahan sungai yang dipengaruhi oleh perubahan debit air dan material tersuspensi. Oleh karena itu, pemanfaatan lahan di sekitar Sungai Grindulu harus dipertimbangkan dengan tepat. Potensi lahan di Desa Mangunharjo dan Desa Pagutan, Kecamatan Arjosari serupa dengan potensi lahan di Desa Gemaharjo dan Desa Pagutan yaitu

penanaman tanaman-tanaman berupa rumput-rumputan. Namun karena cukup banyak lahan yang relatif datar maka tanaman semusim pun dapat menjadi pilihan. Selain itu, padi-padian, kacang-kacangan dan jagung juga dapat dijadikan sebagai tanaman di lahan-lahan kosong yang dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan hidup sehari-hari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian dapat disimpulkan mengenai:

4.1. Karakteristik, permasalahan dan potensi serta strategik pengelolaan lingkungan yang sesuai di lingkungan DAS Grindulu bagian hulu sebelah timur, penejasannya sebagai berikut;

(1) Karakteristik, DAS Grindulu bagian hulu sebelah timur memiliki bentanglahan atau ekoregion perbukitan denudasional yang memiliki karakteristik lembah sungai berbentuk "V" dan "U",

(2) Permasalahan yang terjadi diantaranya erosi yang tinggi dan sedimentasi.

(3) Adanya aktivitas pabrik pengolahan aspal di tepi Sungai Grindulu. karena pencemaran yang terjadi menyebabkan gangguan kesehatan berupa penyakit ISPA dan gangguan sistem pernafasan lainnya, menimbulkan gangguan pada tanaman yang berada di sekitar pabrik, tanaman menjadi kering dan mengalami hambatan pertumbuhan. Konflik yang timbul diakibatkan pihak pabrik tidak memberikan kompensasi yang setimpal pada masyarakat terhadap dampak negatif yang telah ditimbulkan dari aktivitas pabrik.

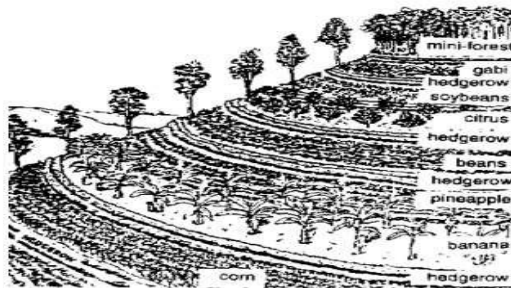
(4) Terdapat permasalahan di Desa Pagutan berupa sedimentasi yang cukup tebal karena tipe sungai yang berkelok-kelok. Erosi yang terjadi menimbulkan permasalahan berupa retakan jembatan yang lama-kelamaan menyebabkan jembatan amblas.

(5) Erosi dan sedimentasi yang terjadi sangat dinamis mengakibatkan terjadinya dinamika fluvial yaitu pergeseran/perpindahan sungai yang dipengaruhi oleh perubahan debit air dan material tersuspensi.

4.2. Rekomendasi Strategi Pengelolaan DAS Grindulu Berdasarkan karakteristik, potensi hingga permasalahan yang diuraikan diatas, maka rekomendasi strategi pengelolaan lingkungan yang dapat dilakukan antara lain:

(1) Rekayasa teknis dengan pembuatan tanggul untuk menanggulangi erosi.

- (2) Merekomendasikan teknik pertambangan rakyat yang dikelola oleh kelompok, sehingga masyarakat merasa memiliki tanggung jawab terhadap ketersediaan tambang yang ada.
- (3) Diberlakukannya peraturan pelarangan penggunaan alat berat bagi para penambang
- (4) Merancang *Integrated farming system* (sistem pertanian terpadu), yaitu penggabungan semua komponen pertanian dalam suatu sistem usaha pertanian yang terpadu dalam rangka pemanfaatan lahan tidur serta mencegah terjadinya erosi. Gambaran penggunaan lahan untuk *integrated farming* ditunjukkan pada Gambar berikut ini:



Gambar 4.1. Model Penggunaan Lahan Untuk *Integrated farming* Tebing Curam di Desa Gemaharjo Kecamatan Arjosari
Sumber: nzdl.org



Gambar 4.2. Model Penggunaan Lahan Untuk *Integrated farming* pada dataran Desa Mangunharjo, Kecamatan Arjosari.
Sumber: activistpost.com

- (5) Permasalahan masyarakat akan gangguan kesehatan yang menimbulkan konflik sosial dapat diatasi dengan pemberian kompensasi yang setimpal dari pihak pabrik pengolahan aspal di Desa Mangunharjo kepada masyarakat sekitar.
- (6) Penghijauan lahan di sekitar pabrik aspal untuk menyerap polutan akibat asap pabrik. Tanaman yang dapat ditanam adalah tanaman-tanaman yang berdaun lebar dan tanaman

berkayu.. Perbaiki bangunan jembatan di Desa Pagutan dengan memilih lokasi di bagian sungai yang lurus, bukan di bagian kelokan sungai.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Davis, D. dan Cosenza, R.M. 1993. Business research for decision making Belmont University: Nashville.
- Kerlinger, F. 1986. Foundation of Behavioral Research 3rd Edition, Orlando: Harcourt Brace and Company.
- Rahim, S.E. 1995. Pelestarian Lingkungan Hidup Melalui Pengendalian Erosi Tanah. Palembang: Palembang: UNSRI.
- Santosa, L.W. 2010. Pengaruh Genesis Bentuk lahan Terhadap Hidrostratigrafi Dan Hidrogeokimia Dalam Evolusi Air tanah Bebas. (Kasus Pada Bentanglahan Kepesisiran Kabupaten Kulonprogo DIY). Yogyakarta: Disertasi, Fakultas Geografi, Program Pascasarjana UGM.

PENINGKATAN YIELD BIODIESEL MINYAK NYAMPLUNG MENGGUNAKAN IRADIASI MICROWAVE

Nisa Nurhidayanti

¹⁾Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

e-mail : nisanurhidayanti@yahoo.co.id

Abstrak

Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* Linn) adalah satu tanaman nonpangan yang berpotensi menghasilkan randemen biodiesel yang tinggi. Minyak nyamplung dalam penelitian ini memiliki kandungan FFA sebesar 27,498%, oleh karena itu diperlukan proses pretreatment yang terdiri dari *degumming* untuk menghilangkan getah, esterifikasi dan netralisasi untuk menurunkan FFA < 2% agar minyak dapat dilanjutkan pada proses transesterifikasi. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji pengaruh daya microwave, waktu dan suhu reaksi terhadap yield biodiesel, mengidentifikasi metil ester dalam produk biodiesel. Transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan variasi daya (100, 200 dan 400W), variasi waktu (5, 7, 10, 12 dan 15 menit) dan variasi suhu (50, 55, 60, 65 dan 70 °C). Hasil penelitian menunjukkan kondisi terbaik menggunakan power microwave 200W pada suhu 65 °C selama 5 menit, yield biodiesel maksimal sebesar 84,62% dan sifat fisik biodiesel telah memenuhi standar SNI 04-7182-2006, ASTM 6751-02 dan EN-14214. Analisis GCMS menunjukkan bahwa metil ester dari biodiesel minyak nyamplung adalah 30,23% metil oleat, metil linolelaidat 25,76%, metil palmitat 19,21%, metil stearat 15,75%, metil lignocerat 2,11%, metil eicosanoic 1,41%, metil behenate 0,54% dan metil palmitoleat 0,37%. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan iradiasi microwave dapat meningkatkan yield biodiesel dan mengurangi waktu reaksi menjadi 1/6 kali lebih cepat dibandingkan metode konvensional.

Kata kunci: biodiesel, microwave, minyak nyamplung

1. Pendahuluan

Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Sedangkan persediaan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar minyak semakin terbatas. Bahan baku biodiesel yang digunakan di Indonesia adalah minyak kelapa sawit dan minyak jarak pagar. Penggunaan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku biodiesel dinilai kurang efisien karena mengganggu ketahanan pangan. Sedangkan minyak jarak pagar masih menjadi kendala karena rendahnya produktivitas tanaman jarak pagar. Salah satu tanaman non pangan yang memiliki potensi menghasilkan randemen biodiesel yang tinggi adalah nyamplung (*Calophyllum inophyllum* Linn). Biji nyamplung memiliki kandungan minyak yang sangat tinggi sekitar 65-75% (Ong *et al*, 2014).

Berbagai reaksi katalitik yang digunakan dalam produksi biodiesel adalah katalis basa, katalis asam dan transesterifikasi enzimatis (Lin *et al*, 2014). Transesterifikasi menggunakan katalis basa memberikan hasil yang optimal pada suhu rendah. Kendalanya adalah setelah reaksi akan mengalami kesulitan pemisahan dari gliserol, penghilangan katalis basa dari produk dan limbah yang dihasilkan tidak ramah lingkungan, serta tidak efektif untuk produksi biodiesel dari minyak mentah dengan FFA tinggi karena pembentukan sabun (Deng *et al*, 2011). Pemilihan teknologi untuk proses pembuatan biodiesel sangat penting karena biodiesel merupakan suatu sumber energi terbarukan sehingga proses pembuatannya harus memperhatikan efisiensi prosesnya. Radiasi gelombang mikro adalah metode yang baik untuk mempercepat terjadinya reaksi dikarenakan energi langsung ditransfer ke reaktan sehingga proses transfer panas lebih efektif bila dibandingkan dengan pemanasan konvensional dan reaksi dapat selesai dalam waktu yang lebih pendek. Penggunaan *microwave* adalah metode terbaik untuk mengurangi waktu reaksi dan menghasilkan yield yang lebih besar pada produksi biodiesel (Motasemi & Ani, 2012). Kepolaran metanol dapat menyerap radiasi gelombang mikro dengan sangat baik karena dipol metanol dapat menghancurkan permukaan pembatas antara metanol dan minyak, sehingga dapat meningkatkan kelarutan metanol dan minyak di bawah radiasi gelombang mikro dan meningkatkan reaksi transesterifikasi (Lidstrom *et al*, 2001).

Minyak *Calophyllum inophyllum* Linn mengandung FFA sebesar 27,498%, oleh karena itu tidak dapat dikonversi secara langsung menjadi biodiesel mengikuti reaksi transesterifikasi berkatalis basa secara konvensional. Metode dua atau tiga tahap telah diterapkan untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi dari bahan baku ini oleh beberapa peneliti. Misalnya, Sahoo *et al.*, (2009) menggunakan proses transesterifikasi tiga tahap untuk menghasilkan biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum* dengan bilangan asam awal 44 mg KOH/g. Venkanna & Reddy (2009) meneliti biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum* Linn melalui *pretreatment* esterifikasi berkatalis asam, tahap transesterifikasi dan *post treatment*. SathyaSelvabala *et al* (2011) melakukan proses dua tahap untuk menghasilkan biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum* Linn menggunakan katalis asam padat dimodifikasi zeolite untuk langkah *pretreatment* diikuti oleh reaksi transesterifikasi menggunakan katalis KOH.

Penelitian Muhammad Fatih Ridho, dkk (2014) menunjukkan bahwa iradiasi *microwave* dengan katalis CaO dapat digunakan dalam proses pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung dengan kondisi operasi terbaik pada daya 100W, katalis 4%wt serta

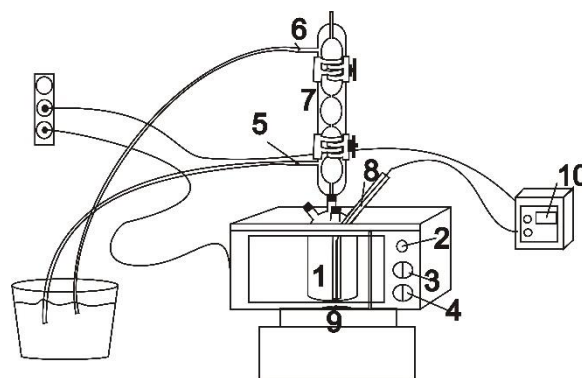
rasio mol metanol terhadap minyak 9:1. Yield maksimal sebesar 94% dan sifat biodiesel telah memenuhi standar SNI 04-7182-2006. Penelitian Antonius Prihanto, dkk (2013) mengenai pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung melalui proses esterifikasi-netralisasi-transesterifikasi (E-N-T) menghasilkan yield biodiesel lebih tinggi dibanding proses Esterifikasi-transesterifikasi (E-T). Kondisi terbaik pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung melalui proses E-N-T pada rasio molar metanol-minyak 8:1, konsentrasi katalis KOH 1,25%wt pada suhu 60°C dengan yield biodiesel sebesar 92,20 %. Penelitian Yuan-Chun Lin *et al* (2014) menunjukkan bahwa penggunaan microwave menghasilkan yield biodiesel sebanyak 96,5 % dengan kondisi operasi waktu 7 detik, suhu 65 °C, 1%berat katalis NaNH₂ dan rasio molar minyak terhadap metanol 1:8 lebih tinggi dibandingkan dengan metode pemanasan konvensional dengan yield sebesar 95,6% selama 90 menit, suhu 65 °C, 1%berat katalis NaNH₂ dan rasio molar minyak terhadap metanol 1:8.

Kebaruan dalam penelitian ini adalah kajian reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung menggunakan iradiasi microwave yang akan dibandingkan dengan metode konvensional. Hipotesis penelitian ini adalah penggunaan iradiasi microwave dapat meningkatkan yield biodiesel dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional.

2. Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum Linn*) dari Koperasi Jarak Lestari Cilacap, Jawa Tengah, KOH pa (Merck), H₂C₂O₄.2H₂O extrapure (Merck), H₂SO₄ pa, H₃PO₄ pa dan CH₃COOH pa dan etanol 96%.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah microwave merk Elektrolux model EMM2007X type MM820AYC-PA0C, rangkaian reaktor transesterifikasi, oven vakum merk MTI model EQ-6020-FP, GC (*Gas Chromatography*) merk Hewlett Packard 5890 Series II dan GCMS Shimadzu-QP2010S.



Gambar 1. Rangkaian alat percobaan

Keterangan gambar:

- 1). Reaktor labu
- 2). Microwave
- 3). Kontrol daya
- 4). Kontrol waktu
- 5). Aliran air pendingin masuk

- 6). Aliran air pendingin keluar
- 7). Kondensor reflux
- 8). Magnetic stirrer
- 9). Kontrol suhu

2.1 Prosedur penelitian

2.1.a. Pretreatment

Minyak nyamplung dari Koperasi Jarak Lestari Cilacap memiliki kadar *free fatty acid* (FFA) sebesar 27,498%, sehingga diperlukan tahap *pretreatment* sebelum transesterifikasi. Tahap *pretreatment* ini terdiri dari *degumming* yang bertujuan untuk menghilangkan getah (*gum*) yang terdiri dari fosfolipid, glikolipid, liprotein, resin fosfatida dan *impurities* dan tahap esterifikasi dan netralisasi yang bertujuan untuk menurunkan kadar FFA dan air sehingga dapat dilanjutkan ke tahap transesterifikasi.

a) Tahap *Degumming*

Minyak nyamplung sebanyak 400 mL dipanaskan hingga suhu 80°C kemudian ditambahkan asam fosfat sebanyak 8 mL (2% v/v) minyak nyamplung, sambil diaduk selama 15 menit. Selanjutnya minyak didiamkan dalam corong pisah hingga gum dan kotoran terpisah dari minyak (Sahirman, dkk, 2009).

b) Esterifikasi dengan katalis asam

Menurut S. Zhang *et al* (2010) rasio minyak terhadap metanol efektif untuk proses esterifikasi adalah 6,82:1-54,55:1. 300 mL minyak nyamplung hasil *degumming* dipanaskan dalam labu leher tiga hingga suhu 60 °C kemudian ditambahkan 6 mL H₂SO₄ sebagai katalis (2% v/v) dan 82 mL metanol (rasio molar metanol:minyak 8:1) dengan kecepatan pengadukan 400 rpm selama 60 menit pada suhu 60°C. Setelah melalui proses pemanasan, dilakukan pemisahan antara metanol, minyak dan air menggunakan corong pisah. Minyak yang terbentuk pada esterifikasi I memiliki FFA 13,19% sehingga perlu dilakukan esterifikasi II. 300 mL minyak hasil esterifikasi I dipanaskan hingga suhu 60 °C kemudian ditambahkan 6 mL katalis H₂SO₄ (2% v/v) dan 42 mL metanol dengan kecepatan pengadukan 400 rpm selama 60 menit pada suhu 60°C. Selanjutnya minyak dicuci dengan aquades bersuhu 40 °C dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 20 menit untuk mengurangi kadar air (Ridho, dkk, 2014).

c) Netralisasi

250 mL minyak hasil esterifikasi II selanjutnya dipanaskan hingga suhu ± 60 °C, ditambah 5 ml larutan KOH 1 N (2% v/v) dan diaduk selama 2 menit. Minyak

dipindahkan ke dalam corong pisah dan ditambah air suhu $\pm 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebanyak 10 % dari volume minyak dan dibiarkan hingga minyak dan air dapat dipisahkan. Proses pencucian diulang hingga air cucian netral, selanjutnya dikeringkan pada suhu $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan pengeringan vakum selama 30 menit (Prihanto, dkk.,2013).

d) Transesterifikasi

✓ Transesterifikasi metode konvensional

Sebanyak 1,874 gram katalis KOH (1%wt) dicampurkan dengan 86mL metanol dalam bak air termostatik yang dilengkapi pengaduk magnetik selama 5-10 menit. 200 mL minyak nyamplung dimasukkan kedalam reaktor berisi campuran katalis dan metanol dilanjutkan dengan pemanasan di dalam reaktor transesterifikasi hingga suhu $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proses transesterifikasi dilakukan dengan kecepatan pengadukan 400 rpm pada tekanan 1 atm, rasio molar metanol terhadap minyak 8:1 selama 30 menit dengan pengambilan sampel setiap 6 menit sekali. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan hingga kedua lapisan terpisah. Lapisan biodiesel dicuci dengan aquades hangat dan asam asetat untuk menghilangkan katalis, metanol dan pengotor lainnya. Kemudian dikeringkan dalam vakum oven selama 30 menit dengan suhu 105°C untuk mengurangi kadar air. Massa biodiesel diukur setelah reaksi transesterifikasi (Ridho, dkk, 2014).

✓ Transesterifikasi iradiasi microwave

Sebanyak 200 mL minyak nyamplung dimasukkan kedalam reaktor microwave. 1,874 gram katalis KOH (1%wt) dilarutkan dalam 86 mL metanol. Campuran katalis dan metanol dimasukkan ke dalam reaktor microwave berisi minyak nyamplung, dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pemanasan campuran di dalam *microwave* menggunakan power 100W selama 5 menit. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan hingga kedua lapisan terpisah. Lapisan biodiesel dicuci dengan aquades hangat. Kemudian dikeringkan dalam vakum oven dengan suhu 105°C untuk mengurangi kadar air. Transesterifikasi dilakukan dengan kecepatan pengadukan 400 rpm pada tekanan 1 atm dengan variasi power microwave (100, 200 dan 400W), variasi suhu reaksi (50, 55, 60, 65 dan 70°C) dan variasi waktu reaksi (5, 7, 10, 12 dan 15 menit). Massa biodiesel diukur setelah reaksi transesterifikasi.

2.2 Metode analisis kualitas biodiesel

Sifat fisik biodiesel dari minyak nyamplung yang diuji antara lain densitas, bilangan asam, viskositas kinematik, flash point dan nilai kalor menggunakan metode standar ASTM.

2.3 Metode analisis kandungan metil ester biodiesel

Kandungan metil ester dalam biodiesel dianalisis menggunakan GCMS Shimadzu-QP2010S dilengkapi kolom Agilent HP 5MS (30mLx0,25 IDx0,25 μm tebal film). Sebanyak 0,5 μL diinjeksikan dengan tekanan 12 kPa dengan laju alir gas pembawa He 10mL/menit dan suhu injektor $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suhu oven dimulai dari $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ditahan selama 5 menit dengan kenaikan $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ sampai suhu $260\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Yield biodiesel dihitung dengan menggunakan persamaan (1):

$$\text{Yield biodiesel} = \frac{\text{massa biodiesel}}{\text{massa minyak nyamplung}} \times 100\% \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Minyak nyamplung murni berwarna hijau kehitaman, kental dan berbau menyengat. Minyak nyamplung dalam penelitian ini memiliki kandungan FFA sebesar 27,498%, oleh karena itu diperlukan proses pretreatment yang terdiri dari *degumming* untuk menghilangkan getah, esterifikasi dan netralisasi untuk menurunkan FFA < 2% agar minyak dapat dilanjutkan pada proses transesterifikasi.

Setelah proses *degumming* warna minyak nyamplung berubah menjadi kuning kemerahan. Hal itu disebabkan karena hilangnya zat warna alami klorofil pada minyak nyamplung. Menurut Leksono Budi (2012) apabila minyak mentah memiliki kandungan FFA >20% maka reaksi esterifikasi dilakukan dua tahap. Proses esterifikasi I menghasilkan tiga lapisan produk. Lapisan atas berwarna coklat adalah metanol, lapisan tengah berwarna kuning kecoklatan adalah minyak dengan dan lapisan bawah berwarna hitam adalah air. Proses esterifikasi II menghasilkan dua lapisan produk. Lapisan atas berwarna coklat adalah minyak dan lapisan bawah berwarna hitam adalah air.

Penurunan kadar FFA dan viskositas selama proses treatment disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penurunan kadar FFA dan viskositas selama *pretreatment*

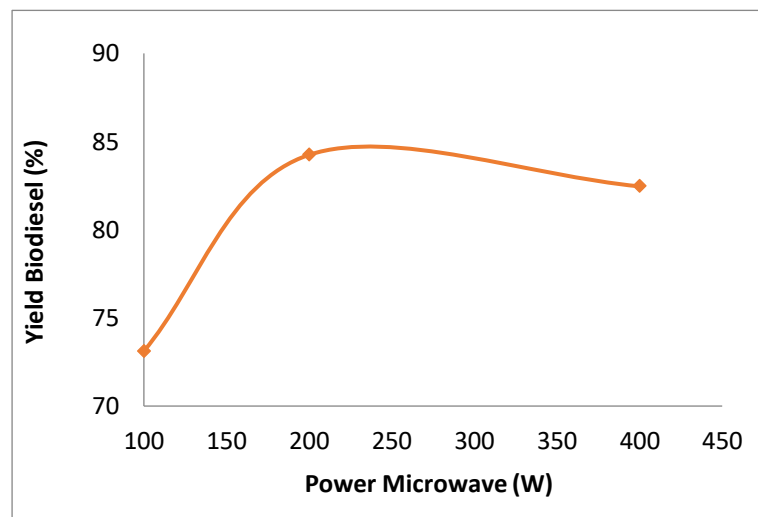
Perlakuan <i>pretreatment</i>	Levels FFA(%)	Viskosity (mm ² /s)
Minyak nyamplung	27,498	54,088
<i>Degumming</i>	25,521	43,848
Esterifikasi I	13,190	40,837
Esterifikasi II	5,940	28,633
Netralisasi	1,269	11,519

Tabel 1 menunjukkan bahwa setelah proses *degumming*, terjadi penurunan FFA yang sangat kecil karena kadar FFA masih tinggi sebesar 25,521%. Penurunan viskositas pada proses *degumming* disebabkan karena hilangnya getah dan kotoran lain karena proses *degumming*. Penurunan kadar FFA terjadi secara signifikan selama proses esterifikasi I, esterifikasi II dan netralisasi. Hal ini disebabkan karena reaksi esterifikasi mengkonversi asam lemak bebas pada minyak yang bereaksi dengan metanol membentuk metil ester dan air, dan pada netralisasi asam lemak bebas bereaksi dengan basa sehingga menjadi netral. Penurunan viskositas yang terjadi selama esterifikasi dan netralisasi disebabkan karena proses pemanasan yang dilakukan secara terus menerus. Minyak hasil proses *pretreatment* berwarna kuning kecoklatan dengan kadar FFA sebesar 1,269% dan telah memenuhi persyaratan minyak untuk dapat dilakukan reaksi transesterifikasi. Biodiesel dari minyak nyamplung yang dihasilkan pada penelitian ini berwarna coklat bening seperti warna teh, tidak seperti biodiesel pada umumnya berwarna kuning bening. Hal ini dikarenakan proses *pretreatment* biodiesel yang melalui

proses pemanasan berulang kali dari *degumming*, esterifikasi dan netralisasi yang menyebabkan warna menjadi gelap. Warna gelap pada minyak dikarenakan beberapa proses pemanasan yang menyebabkan rusaknya beberapa senyawa organik dan terbentuknya radikal bebas yang membentuk polimer.

3.1 Pengaruh power microwave terhadap yield biodiesel

Pengaruh power microwave terhadap yield biodiesel disajikan pada Gambar 2.



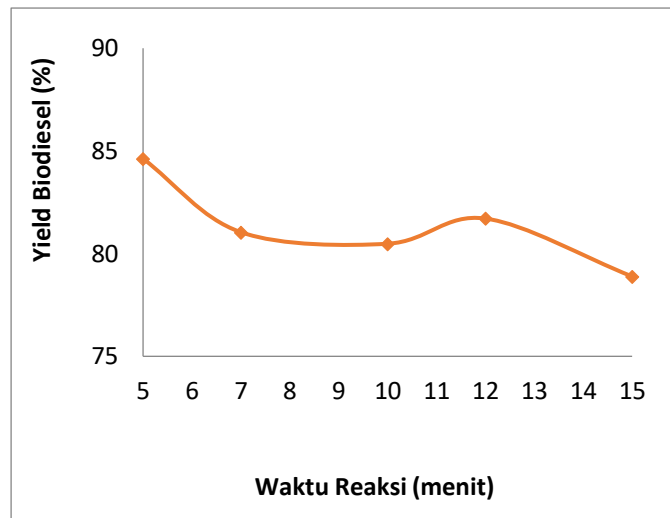
Gambar 2. Pengaruh power microwave terhadap yield biodiesel

Gambar 2 menunjukkan bahwa yield biodiesel mengalami peningkatan pada power microwave 100 W ke 200 W dari 74,12% menjadi 84,25% dan mengalami penurunan yang tidak signifikan pada power 400 W menjadi 82,46%. Hal ini sesuai dengan penelitian Groisman & Gedanken (2008); Patil *et al* (2010) yang menunjukkan bahwa peningkatan power microwave akan menyebabkan peningkatan yield biodiesel, peningkatan daya microwave akan meningkatkan rotasi dipol, yang menghasilkan mempercepat pencampuran reaksi karena panas yang dihasilkan. Sedangkan penurunan yield biodiesel pada power 400 W dikarenakan tingginya suhu dalam microwave sehingga menyebabkan sebagian dari metanol berubah menjadi fase uap yang menyebabkan jumlah metanol yang bereaksi dengan trigliserida menjadi berkurang. Hal ini sesuai dengan penelitian Patil *et al* (2012) bahwa power microwave yang tinggi menyebabkan kecepatan pergerakan momen dipol dalam metanol yang dapat merusak batas metanol dan minyak sehingga menurunkan konstanta dielektrik dan polaritas metanol sehingga terjadi homogenitas metanol dalam minyak. Suhu reaksi dan pemanasan microwave dalam percobaan ini maksimal pada 70 °C, yang berarti bahwa iradiasi microwave dihentikan ketika suhu lebih tinggi daripada suhu yang ditentukan.

3.2 Pengaruh waktu reaksi terhadap yield biodiesel

Waktu iradiasi merupakan salah satu faktor penting untuk produksi biodiesel dari minyak nyamplung, yang berhubungan dengan efisiensi percepatan proses

transesterifikasi. Pengaruh waktu reaksi terhadap yield biodiesel disajikan pada Gambar 3.

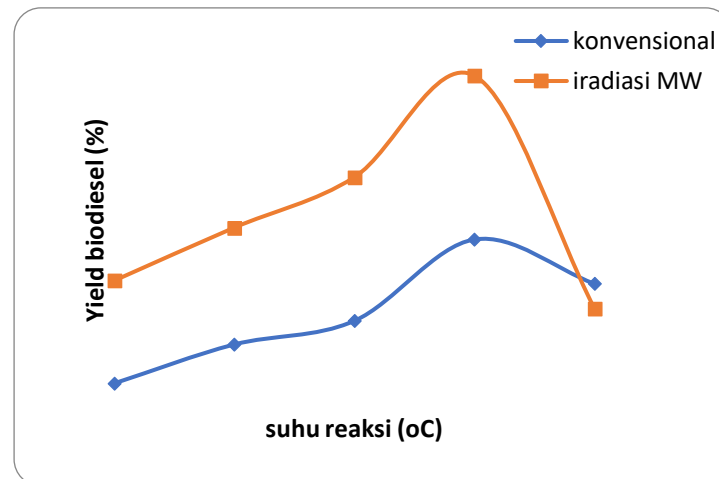


Gambar 3. Pengaruh waktu reaksi terhadap yield biodiesel

Gambar 3 menunjukkan yield biodiesel optimum pada waktu reaksi 5 menit, kemudian mengalami penurunan hingga waktu reaksi 10 menit dan meningkat secara tidak signifikan pada menit ke12 kemudian mengalami penurunan lagi pada menit ke15. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan microwave selama 5 menit dapat menghasilkan yield biodiesel yang tinggi dibandingkan reaksi yang lebih lama. Semakin lama waktu reaksi, maka yield biodiesel yang dihasilkan semakin berkurang. Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa pada tahap awal iradiasi microwave terjadi akumulasi termal dari campuran reaksi untuk produksi biodiesel yang efektif. Setelah itu, difusivitas dari campuran reaksi menurun sehingga yield biodiesel berkurang. Hal ini sesuai dengan penelitian Eevera T *et al* (2009) dan Ma, FR *et al* (1998) yang menunjukkan bahwa waktu reaksi yang berlebihan akan mereduksi yield biodiesel karena reaksi samping transesterifikasi sehingga metil ester akan berkurang karena sisa asam lemak bebas yang bereaksi dengan katalis membentuk sabun. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi menggunakan iradiasi microwave dapat berlangsung 1/6 kali lebih cepat dibandingkan dengan transesterifikasi menggunakan metode konvensional selama 30 menit.

3.3 Pengaruh suhu reaksi terhadap yield biodiesel

Pengaruh suhu reaksi terhadap yield biodiesel disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh suhu reaksi terhadap yield biodiesel

Gambar 4 menunjukkan kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu, maka semakin tinggi yield biodiesel. Peningkatan yield secara signifikan pada suhu 50 °C hingga suhu 65 °C dari 70,99% hingga 77,15%, tetapi yield biodiesel menurun pada suhu 70°C sebesar 75,26%. Semakin tinggi suhu akan meningkatkan aktifitas katalitik. Hal ini sesuai dengan penelitian Azcan dan Danisman (2008) yang menyatakan bahwa yield biodiesel akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu reaksi. Kenaikan suhu reaksi akan menurunkan viskositas minyak karena kelarutan trigliserida dalam metanol meningkat akibat meningkatnya energi kinetik antara molekul trigliserida dan metanol, sehingga laju reaksi meningkat. Meningkatnya suhu reaksi dapat meningkatkan jumlah tumbukan efektif untuk menghasilkan biodiesel (Leung *et al*, 2010).

Pada suhu 70 °C terjadi penurunan yield biodiesel karena telah melewati titik didih metanol (64,7 °C), sehingga sebagian metanol mengalami perubahan fase dari cair menjadi gas. Terjadinya perubahan fasa metanol ini menyebabkan jumlah metanol dalam fase cair berkurang sehingga jumlah tumbukan efektif untuk yield biodiesel akan berkurang Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Leung & Guo (2006) dan Antonius P. dkk (2013) bahwa pada suhu 70 °C yield biodiesel dikarenakan penguapan metanol dan terjadinya reaksi saponifikasi trigliserida yang semakin cepat.

3.4 Hasil Analisis Biodiesel

Sifat fisik biodiesel nyamplung dari iradiasi microwave dibandingkan dengan standar SNI 04-7182-2006, ASTM 6751-02 dan EN-14214 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik biodiesel nyamplung dibandingkan SNI 04-7182-2006, ASTM 6751-02 dan EN-14214

Sifat fisik	Biodiesel	SNI 04-7182-2006	ASTM 6751-02	EN-14214
Massa jenis pada 40 °C (kg/m ³)	881	850-890	870-890	860-900
Bilangan asam (mg KOH/g)	0,4910	Maks.0,8	Maks. 0,5	Maks 0,5
Viskositas kinematik suhu 40°C (mm ² /s)	4,1338	2,3-6,0	1,9-6,0	3,5-5,0
Titik nyala (°C)	165	Min. 100	Min. 131	Min.101
Nilai kalor (BTU/1h)	15.814	-	-	-

Tabel 2 menunjukkan bahwa sifat fisik biodiesel nyamplung dengan iradiasi microwave yang diuji telah memenuhi standar SNI 04-7182-2006, ASTM 6751-02 dan EN-14214.

Dari hasil analisis GCMS yang telah dilakukan, maka diperoleh kandungan metil ester dari biodiesel minyak nyamplung dengan iradiasi microwave yaitu 30,23% metil oleat, metil linolelaidat 25,76%, metil palmitat 19,21%, metil stearat 15,75%, metil lignocerat 2,11%, metil eicosanoic 1,41%, metil behenate 0,54% dan metil palmitoleat 0,37%. Hal ini sesuai dengan analisis Balitbanghut (2008) bahwa asam lemak yang terkandung dalam minyak nyamplung adalah asam oleat 37,57%, asam linoleat 26,33%, dan asam stearat 19,96%. Selebihnya berupa asam palmitat, asam linolenat, asam arachidat dan asam erukat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa iradiasi *microwave* dengan katalis KOH dapat digunakan dalam proses pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung. Yield biodiesel maksimum sebanyak 84,62% lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional sebanyak 77,15% pada suhu 65 °C. Sifat fisik biodiesel yang diuji telah memenuhi standar SNI 04-7182-2006, ASTM 6751-02 dan EN-14214. Analisis GCMS menunjukkan bahwa metil ester dari biodiesel minyak nyamplung adalah 30,23% metil oleat, 25,76% metil linolelaidat, 19,21% metil palmitat, 15,75% metil stearat, 2,11% metil lignocerat, 1,41% metil eicosanoat, 0,54% metil behenate dan 0,37% metil palmitoleat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan yield biodiesel dengan menggunakan iradiasi microwave dan waktu reaksi menjadi 1/6 kali lebih cepat dibandingkan metode konvensional.

5. Daftar Pustaka

- Azcan, N. & Danisman, A., (2008). Microwave assisted transesterification of rapeseed oil. *Fuel* (87): 1781–1788
- Balitbanghut (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan). (2008). *Nyamplung (Calophyllum inophyllum L) Sumber energi biofuel yang potensial* : Jakarta
- Deng, X., Fang, Z., Liu, YH., & Yu, CL. (2011). Production of biodiesel from *Jatropha* oil catalyzed by nanosized solid basic catalyst. *Energy* (36): 777-784.

- Evera T, Rajendran K, Saradha S. (2009). Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. *Renewable Energy* (34): 762–765.
- Groisman Y, Gedanken A. (2008). Continuous flow, circulating microwave system and its application in nanoparticle fabrication and biodiesel synthesis. *J Phys Chem*(112):8802-8808.
- Leksono, B., Hendrati, RL., Mashudi, Windyarini, E. & Hasnah, TM. (2012). Pemuliaan Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) untuk Bahan Baku Biofuel : Keragaman Produktivitas Biodiesel dan Kandungan Resin Kumarin dari Populasi Nyamplung di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan: Jakarta.
- Leung, DYC, Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Process Technology*. (87):883–90.
- Lidstrom P, Tierney J, Wathey B, Westman J. (2001). Microwave assisted organic synthesis - a review. *Tetrahedron* (57) :9225–9283.
- Lin, YC., Chen, SC., Chen, CE., Yang, PM. & Jhang, SR. (2014). Rapid *Jatropha*-biodiesel production assisted by a microwave system and a sodium amide catalyst. *Fuel* (135): 435-442.
- Ma, FR., Clements LD, Hanna MA. (1998). The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Trans Am Soc Agric Eng* (141):1261–4.
- Motasemi, F., & Ani, F. N. (2012). A review on microwave-assisted production of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7),4719_4733.<http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.069>
- Muhammad, Fatih Ridho, Jatranti, S., Qadariyah, L.& Mahfud. (2014). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Pemanasan Gelombang Mikro. *Jurnal teknik Pomits Vol. 3, No. 2, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Ong, HC., Masjuki, HH., Mahlia, TMI, Silitonga AS, Chong WT, & Leong KY. (2014). Optimization of biodiesel production and engine performance from high free fatty acid *Calophyllum inophyllum* oil in CI diesel engine. *Energy Conversion and Management* (81): 30-40.
- Patil PD, Gude VG, Camacho LM, Deng S.(2010) Microwave-assisted catalytic transesterification of *Camelina Sativa* oil. *Energy Fuels* (24):1298-1304
- Patil, PD. (2012). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Sulfuric Acid and Microwave Irradiation Processes. *Journal of Environmental Protection*, 03(01), 107–113. <http://doi.org/10.4236/jep.2012.31013>
- Patil PD., Reddy H., Muppaneni T., Mannarswamy A., Schuab T., Holguin FO. (2012). Power dissipation in microwave-enhanced in situ transesterification of algal biomass to biodiesel. *Green Chem* (14):809-818.
- Prihanto, Agus, Pramudono, B & Santosa, H. (2013). Peningkatan Yield Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung melalui Transesterifikasi dua Tahap. *Momentum*, Vol. 9, No. 2, Hal. 46-53 ISSN 0216-7395.
- Sahirman, Suryani, A., Mangunwidjaja, D., Sukardi & Sudradjat, R. (2009). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) pada Proses Produksi Biodiesel. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan*: Bogor.

- Sahoo, PK., Das, LM. (2009). Process optimization for biodiesel production from jatropha, karanja and polanga oils. *Fuel* 88 (9) : 1588–1594..
- Sathyaselvabala, V., Ponnusamy, S., Periyaraman, PM., Selvaraj, DK., Thangaraj, V., & Subramanian, S. (2011). Two step biodiesel production from *Calophyllum inophyllum* oil: studies on thermodynamic and kinetic modelling of modified β -zeolite catalysed pre-treatment. *Can J Chem Eng*, (9999) : 1–8.
- S. Zhang, Y.G. Zu, Y.J. Fu, M. Luo, D.Y. Zhang, E. Thomas. (2010). Rapid microwave assisted transesterification of yellow horn oil to biodiesel using a heteropolyacid solid catalyst. *Bioresource Technology* (101): 931–936.
- Venkanna, BK., Reddy, VC. (2009). Biodiesel production and optimization from *Calophyllum inophyllum linn.* oil (honne oil) – a three stage method. *Bioresource Technology* (100) : 5122–5125.

EVALUASI POLA PEMBUANGAN SAMPAH DI PINGGIRAN KAWASAN INDUSTRI MM2100

Putri Anggun Sari¹⁾, Achmad Naseh³⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

e-mail : poetrispt@yahoo.co.id

ABSTRACT

Evaluasi Pola Pembuangan Sampah di Pinggiran Kawasan Industri MM2100 menjadi masalah yang belum bisa diatasi sepenuhnya baik oleh pihak pengelola kawasan Industri maupun pemerintah daerah. Pihak pengelola maupun Pemda sebenarnya menyadari masalah ini, tetapi belum menemukan solusi jangka panjang yang tepat. Penelitian perihal Pengelolaan persampahan di Sekitar kawasan industri MM2100 ini bertujuan untuk (1) mengetahui akar masalah pengelolaan sampah di pinggiran kawasan Industri MM2100, (2) mengetahui pola pengelolaan sampah rumah tangga di pinggiran kawasan Industri MM2100, (3) memberikan rumusan pengelolaan sampah di pinggiran kawasan Industri MM2100. Penelitian ini berlokasi di Kp. Cibarengkok, Desa Jatiwangi, Cikarang Barat Bekasi yang termasuk daerah di sekitar kawasan industri MM2100 sebagai sampling area pengelolaan sampah berbasis masyarakat. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kualitatif, yakni penelitian yang bermaksud mendeskripsikan suatu fenomena. Pengumpulan datanya menggunakan teknik wawancara, kuesioner, observasi, dan dokumentasi. Uji validitas datanya memakai statistika SPSS. Datanya dianalisis secara deskriptif-kualitatif. Dari hasil penelitian ini, dapat ditarik tiga kesimpulan. Pertama, pengelolaan persampahan di pinggiran kawasan Industri MM2100 belum berjalan secara baik. Kedua, Pola pengelolaan sampah rumah tangga berbasis masyarakat sebagian besar adalah dengan metode pewadahan/pengumpulan dilanjutkan dengan membakar sampah. Ketiga, tariff dasar biaya retribusi/iuran masyarakat untuk pendanaan biaya opsional sebesar Rp.2.546,-/bulan.

Kata kunci: Evaluasi, persampahan, MM2100, Cikarang Barat, 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*)

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pertambahan jumlah penduduk, perubahan pola konsumsi masyarakat, peningkatan konsumsi masyarakat dan aktivitas kehidupan masyarakat di sekitar kawasan industri MM2100 Kecamatan Cikarang Barat, Kabupaten Bekasi menimbulkan

bertambahnya volume dan jenis sampah, serta karakteristik sampah yang semakin beragam. Sampah yang ditimbulkan dari aktivitas dan konsumsi masyarakat ini, telah menjadi permasalahan lingkungan yang harus ditangani oleh setiap pemerintah daerah dengan dukungan partisipasi aktif dari masyarakat itu sendiri.

Sampah di sekitar kawasan industri MM2100 belum sepenuhnya tertangani dengan baik walau pun telah terdapat peraturan pemerintah yang dipampang di papan himbuan (lihat gambar 1.1). Salah satu penyebabnya adalah sebagian komponen masyarakat di sekitar MM2100 membuang sampahnya ke pinggir kawasan pada areal kosong dan di pinggir jalan secara tidak bertanggung jawab.

Hal itu membawa konsekuensi hukum bahwa pemerintah merupakan pihak yang berwenang dan bertanggung jawab di bidang pengelolaan sampah meskipun secara operasional pengelolaannya dapat bermitra dengan badan usaha. Selain itu organisasi pengelola sampah, dan kelompok masyarakat yang bergerak di bidang persampahan dapat juga diikuti sertakan dalam kegiatan pengelolaan sampah. Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul: " Evaluasi Persampahan di Pinggiran Kawasan Industri MM2100. "

1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini yakni

- a) Mengetahui akar masalah persampahan di pinggiran kawasan industri MM2100.
- b) Mengetahui pola pengelolaan sampah yang dilakukan masyarakat di pinggiran kawasan industri MM2100.
- c) Mengetahui dan membuat rumusan/solusi pengelolaan sampah yang sesuai di pinggiran kawasan industri MM2100.

2. Metode Penelitian

Penelitian tentang Pengelolaan Persampahan di sekitar kawasan Industri MM2100 menurut metodenya termasuk penelitian evaluasi. Penelitian evaluasi bermaksud membandingkan suatu kejadian atau kegiatan dengan standar yang telah ditetapkan. Evaluasi sebagai penelitian berarti akan berfungsi untuk menjelaskan fenomena.

Menurut tingkat eksplanasi dan jenis data serta analisisnya penelitian ini termasuk penelitian deskriptif kualitatif, yaitu penelitian yang bermaksud mendeskripsikan fenomena yang terjadi berdasarkan hasil eksplorasi pengelolaan sampah berbasis masyarakat di di sekitar kawasan Industri MM2100 Industrial Town. Penelitian yang dilakukan berusaha menelaah secara cermat, sistematis terhadap fenomena empirik aktual mengenai pengelolaan sampah berbasis masyarakat di sekitar kawasan Industri MM2100.

Penggunaan metode kualitatif ini memiliki keunggulan karena eksplorasi terhadap masalah yang dikaji tidak sekedar berdasarkan pada laporan suatu kejadian atau fenomena saja melainkan juga dikroscek dengan sumber-sumber lain yang relevan. Metode ini juga memungkinkan pendekatan yang lebih luwes, tidak terlalu rinci, tidak lazim mendefinisikan suatu konsep, serta memberi kemungkinan bagi perubahan-perubahan manakala ditemukan fakta yang lebih mendasar, menarik, unik, dan bermakna di lapangan.

Dengan demikian, penelitian deskriptif kualitatif yang dilakukan dimaksudkan untuk mengeksplorasi dan mendeskripsikan fenomena pengelolaan sampah berbasis masyarakat di sekitar kawasan Industri MM2100.

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini terletak di pinggiran Kawasan Industri MM 2100 yang tepatnya Kp. Cibarengkok RT 02 RW 02, Desa Jatiwangi Cikarang Barat, Kabupaten Bekasi. Kecamatan Cikarang Barat merupakan satu dari sebelas kecamatan yang berada di Kabupaten Bekasi dengan titik koordinat yaitu 107° 01' 21" BT - 107° 08' 21" BT dan 06° 20' 20" LS - 06° 15' 40" LS.

Batas wilayah Kecamatan Cikarang Barat adalah sebagai berikut:

Sebelah Utara : Berbatasan dengan Kecamatan Cibitung

Sebelah Selatan : Berbatasan dengan Kecamatan Setu

Sebelah Barat : Berbatasan dengan Kecamatan Cibitung

Sebelah Timur : Berbatasan dengan Cikarang Utara

Kawasan Industri MM 2100 (KI MM 2100) merupakan salah satu kawasan industri dari empat kawasan yang terdapat di Kabupaten Bekasi. Kawasan Industri MM 2100 telah beroperasi sejak tahun 1989 dengan luas 1.005 Ha yang dikelola PT. Megalopolis Manunggal Industrial Development (PT. MMID) dan PT. Fajar Industrial Estate (PT. BFIE). Lokasi KI MM 2100 berada di 5 Desa yaitu Desa Gandasari, Desa Ganda Mekar, Desa Danau Indah, Desa Jatiwangi dan Desa Mekar Wangi Kecamatan Cikarang Barat Kabupaten Bekasi.

2.2 Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah keseluruhan wilayah Kecamatan Cikarang Barat yang meliputi sebelas desa yang merupakan lokasi adanya KI MM 2100. Adapun jumlah populasinya sebesar 253.280 orang dengan jumlah laki-laki sebanyak 132.175 orang dan perempuan sebanyak 121.105 orang.

Tabel 3. 1 Jumlah Populasi Kecamatan Cikarang Barat

No.	Nama Desa	Laki-laki	Perempuan	L+P
1	Telajung	14.681	13.677	28.358
2	Cikedokan	3.535	3.662	7.197
3	Jatiwangi	4.319	3.638	7.957
4	Mekarwangi	7.099	6.619	13.718
5	Gandamekar	4.930	3.496	8.426
6	Danau Indah	7.142	2.614	9.756
7	Ganda Sari	7.281	7.505	14.786
8	Suka Danau	18.937	16.418	35.355
9	Telaga Asih	18.865	19.332	38.197
10	Telaga Murni	31.041	30.843	61.884
11	Kalijaya	14.345.00	13.301	27.646
12	Kec. Cikarang barat	132.175	121.105	253.280

Sumber : Kecamatan Cikarang Barat Dalam Angka tahun 2015

2.3 Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah masyarakat yang berada di Kp. Cibarengkok, Desa Jatiwangi, Kecamatan Cikarang Barat yang dekat dengan KI MM 2100. Dimana jumlah populasinya sebesar 253.280 orang dengan jumlah laki-laki sebanyak 132.175 orang dan perempuan sebanyak 121.105 orang. Untuk menentukan besaran sampel yang diambil penulis menggunakan rumus *slovin* dalam pengambilan sampel.

$$n = \frac{N}{Nd^2 + 1}$$

Keterangan :

- n = ukuran sampel
- N = ukuran populasi
- d = batas toleransi pengambilan sampel yang digunakan.

Batas toleransi kesalahan yang diambil oleh penulis dalam penelitian adalah 16%. Dengan menggunakan rumus di atas, maka hasil yang didapat adalah sebagai berikut :

$$n = \frac{253.280}{253.280(0,16)^2 + 1}$$

$$n = 39,062$$

$$n = 40$$

Berdasarkan perhitungan rumus di atas, maka ukuran sampel yang didapat sebanyak 45 orang sampel dari kalangan masyarakat di Kecamatan Cikarang Barat Kabupaten Bekasi. Setelah ukuran sampel diperoleh, selanjutnya penulis melakukan penarikan sampel dengan cara teknik *random sampling* yaitu teknik pengambilan sample secara acak.

2.4 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini meliputi dua variabel, yaitu variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y). Variabel Bebas (X) Pemberian saran agar diadakan pengelolaan sampah lebih baik. Variabel Terikat (Y) Kesiediaan membayar iuran retribusi pengelolaan sampah.

2.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengambilan data primer dan sekunder dilakukan dengan beberapa cara, yaitu: wawancara; kuesioner; observasi; dan dokumentasi.

Pengukuran Volume dan Komposisi Sampah

Tujuan kegiatan ini adalah untuk mengetahui komposisi masing-masing jenis sampah. Untuk menghitung besaran volume dan komposisi sampah di wilayah penelitian, Dalam pelaksanaannya di lapangan, peneliti bekerja sama dengan pengelola.

Peralatan yang digunakan:

- 1 Alat pengambil contoh berupa kantong plastik dengan volume 40 liter.
- 2 Alat pengukur volume contoh sampah, berupa kotak berukuran 40 cm x 40 cm x 100 cm.
- 3 Meteran
- 4 Alat penunjang: sarung tangan, sekop, masker, alat tulis

2.6 Teknik Analisis Data

Sesuai dengan tema penelitian yang dilakukan, maka model analisis yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah Metode Analisis Deskriptif Kualitatif, yaitu metode analisa yang melakukan pendekatan analisis dengan menggunakan sudut pandang peneliti sebagai tool analisis utama. Pada metode analisis ini hasil eksplorasi dipaparkan atau dideskripsikan untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Analisis data juga akan dilengkapi dengan data lain untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.

Tabel 3. 2 Matriks Operasional Pengambilan Data Penelitian

No.	Data/info	Kuesioner	Wawancara			Observasi Lapangan	Dokumentasi	Keterangan
		Warga	RT/RW	Pengelola	Pemerintah			
1	Data persampahan				√		Data Statistik Undang-undang, Perda	
2	Regulasi sampah							
3	Perencanaan dan perintisan							
4	Sosialisasi	√						
5	Pembentukan Lembaga							
6	Administrasi lembaga	√						
7	Pengelolaan	√						
8	Sarana dan prasarana	√						
9	Besaran timbulan							
10	Komposisi sampah					√		
11	Lokasi	√	√	√	√	√	Dok. Foto	
12	Persepsi masyarakat	√						
13	Respon masyarakat	√						
14	Bantuan pemerintah		√	√	√	√		
15	Kendala-kendala	√	√	√	√			

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengelolaan Persampahan Desa Jatiwangi

Pengelolaan sampah rumah tangga di pinggiran kawasan industri MM2100 sampai saat ini masih belum tuntas. Kondisi permasalahan sampah langsung dapat diketahui melalui pengamatan langsung di lapangan. Saat melewati pinggir jalan maka akan didapati beberapa titik kritis permasalahan sampah ini. Peneliti menggunakan sample Penelitian persampahan di Kp. Cibarengkok, Desa Jatiwangi, Cikarang Barat, Bekasi.

3.2 Pewadahan dan Pengumpulan

Tahap pertama operasional pengelolaan sampah adalah pewadahan pada tingkat sumber timbulan (masyarakat). Pewadahan dimaksudkan untuk mencegah sampah berserakan dan mempermudah proses pengumpulan. Sesuai Perda nomor 81 tahun 20012 tentang Pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga dan pengangkutan sampah dari sumber hingga tempat pembuangan sampah sementara (TPSS) adalah tanggung jawab setiap sumber sampah.

Dari hasil observasi diketahui bahwa pewadahan pada umumnya dilakukan tanpa pemisahan jenis sampah menjadi organik dan an-organik, Pemerintah sebenarnya

sudah berusaha untuk menyediakan wadah sampah terpisah di pinggir-pinggir jalan untuk pejalan kaki. Akan tetapi kurangnya edukasi kepada pejalan kaki menyebabkan mereka masih mencampur antara sampah organik dan sampah anorganiknya.

Tahap berikutnya setelah pewadahan adalah tahap pengumpulan. Operasional pengumpulan sampah rumah tangga dari sumber yang dilakukan dengan banyak cara. Berdasarkan sarana pemindahan yang digunakan. Operasional pengumpulan yang ada pada suatu kawasan pelayanan merupakan kombinasi pola-pola diatas, sesuai dengan sumber sampahnya. Pada tabel 3.3 disajikan pola operasional pengumpulan menurut sumber sampahnya. Sistem TPSS adalah yang paling banyak dipakai saat ini. Akan tetapi untuk operasionalnya tidak mudah, karena membutuhkan sarana pengambilan sampah dan tenaga kerja yang relatif lebih banyak. Untuk saat ini, sistem yang dianjurkan adalah pola door to door dan jemput bola karena operasionalnya mudah, murah, dan cepat. Hanya saja dalam sistem ini perlu kerjasama dari petugas dan masyarakat untuk mentaati jam pengambilan sampah yang sudah ditetapkan.

Tabel 3. 1 Tabel Timbulan Sampah
Komposisi sampah desa Jatiwangi

No	Observasi	Jenis Sampah										Jumlah	
		Organik		Plastik		Kertas		Kaca&logam		Campursari			
		Vol (m3)	%	Vol (m3)	%	Vol (m3)	%	Vol (m3)	%	Vol (m3)	%	Vol (m3)	%
1	Hari-1	0,28	45%	0,06	10%	0,07	12%	0,09	9%	0,15	24%	0,62	100%
2	Hari-2	0,22	40%	0,07	13%	0,05	10%	0,02	2%	0,19	35%	0,54	100%
3	Hari-3	0,20	42%	0,07	14%	0,05	11%	0,04	4%	0,14	29%	0,48	100%
4	Hari-4	0,23	45%	0,07	13%	0,03	5%	0,00	0%	0,19	37%	0,52	100%
5	Hari-5	0,31	50%	0,11	17%	0,07	12%	0,04	4%	0,11	17%	0,62	100%
6	Hari-6	0,26	43%	0,08	14%	0,08	13%	0,02	2%	0,17	28%	0,60	100%
7	Hari-7	0,21	42%	0,07	13%	0,05	10%	0,04	4%	0,16	31%	0,50	100%
8	Hari-8	0,24	44%	0,07	12%	0,05	9%	0,07	7%	0,15	28%	0,55	100%
9	Hari-9	0,19	39%	0,06	12%	0,07	14%	0,00	0%	0,17	35%	0,48	100%
10	Hari-10	0,21	38%	0,04	8%	0,06	11%	0,05	5%	0,21	38%	0,54	100%
11	Hari-11	0,24	40%	0,05	9%	0,10	17%	0,10	10%	0,14	24%	0,60	100%
12	Hari-12	0,21	41%	0,07	14%	0,04	7%	0,04	4%	0,18	34%	0,52	100%
13	Hari-13	0,22	44%	0,08	15%	0,07	13%	0,00	0%	0,14	28%	0,50	100%
14	Hari-14	0,21	41%	0,08	16%	0,06	11%	0,06	6%	0,14	26%	0,52	100%
	Rata-rata	0,23	42%	0,07	13%	0,06	11%	0,04	4%	0,16	30%	0,54	100%

Sumber : Data Primer Penelitian, 2016

3.3 Pengangkutan Sampah

Keberhasilan penanganan sampah bisa dilihat dari efektivitas dan efisiensi pengangkutan. sampah dari sumber ke TPSA. Pengangkutan tidak boleh ditunda karena hal ini akan menambah beban pengangkutan berikutnya dan beresiko menimbulkan gangguan kenyamanan lingkungan di sekitar tempat penyimpanan. Tahap ini istimewa karena banyak porsi biaya, waktu, tenaga, dan koordinasi dibutuhkan. Evaluasi dan perencanaan terhadap jenis sarana, jadwal operasi, dan rute pengangkutan merupakan hal penting dalam pengangkutan. Ada beberapa jenis sarana pengangkutan sampah yang digunakan, yaitu: dengan menggunakan truck dan mobil *pick up*.

3.4 Pembuangan Akhir

Pembuangan akhir sampah diangkut ke TPSA Burangkeng, Bantar Gebang. Proses pembuangan sampah akhir dilakukan setelah dilakukan pemilahan. Minimnya proses pengolahan disumber sampah menyebabkan jumlah yang dibuang semakin banyak.

3.5 Sistem Pembiayaan

Saat ini pemerintah desa Jatiwangi tidak melakukan pungutan retribusi dikarenakan dikarenakan pengelolaan sampah yang dilakukan oleh pihak desa sudah berhenti. Idealnya sumber dana untuk kegiatan pengelolaan sampah di Desa Jatiwangi berasal dari pemerintah dan swasta maupun retribusi dari warga. Dana yang berasal dari pemerintah pada umumnya digunakan untuk pengadaan barang/investasi.

Dana yang berasal dari retribusi, pada umumnya digunakan untuk biaya operasional/pemeliharaan rutin. Dana dari swasta pada umumnya berwujud sumbangan peralatan kebersihan, seperti gerobag sampah dan tong sampah.

3.6 Sistem Peran Serta Masyarakat

Masyarakat Jatiwangi mempunyai kewajiban membayar retribusi dan iuran warga jika dilakukan system pengelolaan sampah oleh pihak pemerintah desa jatiwangi. Besarnya retribusi ditentukan berdasarkan Perda Kab. Bekasi nomor 06 tahun 2006

tentang Retribusi Pelayanan Sampah atau bisa juga menurut kesepakatan terhadap warga desa Jatiwangi.

Berdasarkan survey yang sudah dilakukan, menunjukkan kesediaan warga untuk membayar retribusi (92.5%) dan hanya sebagian kecil yang tidak setuju (7.5%).

3.7 Aspek Pemantauan dan Evaluasi

Kegiatan pemantauan dan evaluasi merupakan kegiatan yang sangat penting dalam sebuah program kegiatan. Pemantauan dan evaluasi dilakukan dalam rangka mengetahui sejauh mana program telah dilaksanakan sesuai dengan rencana. Agar arah program tetap berjalan sesuai dengan tujuan program terhadap kegiatan pemantauan dan evaluasi yang dilaksanakan di Jatiwangi, dibandingkan dengan standar SNI 3242-2008 tentang Pengelolaan Sampah Pemukiman.

3.8 Aspek Regulasi

Aspek regulasi dari pemerintah perlu diketahui sebagai payung hukum dalam pelaksanaan sistem pengelolaan sampah rumah tangga. Pemerintah telah mengeluarkan landasan hukum di bidang pengelolaan persampahan yaitu Undang-undang nomor 18 tahun 2008 tentang pengelolaan persampahan dan juga Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 81 Tahun 2012 tentang pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. Sedangkan dalam pelaksanaannya juga telah tersedia SNI 3242-2008 tentang Pengelolaan sampah permukiman.

Tabel 3.3 Perbandingan SNI dengan Kondisi di Lapangan

Persyaratan umum	Temuan Lapangan
Persyaratan hukum	
Ketentuan perundang-undangan mengenai pengelolaan lingkungan hidup, analisis mengenai dampak lingkungan, ketertiban umum, kebersihan kota/lingkungan, pembentukan institusi/organisasi/retribusi dan perencanaan tata ruang kota serta peraturan-peraturan pelaksanaannya;	Saat dilakukan wawancara, pihak desa tidak mengetahui mengenai ketentuan perundang-undangan mengenai pengelolaan lingkungan hidup, dan pembentukan organisasi pengelola sampah berdasarkan instruksi kepala desa.
Persyaratan kelembagaan	
Pengelola di permukiman harus berfokus pada peningkatan kinerja institusi pengelola sampah, dan perkuatan fungsi regulator dan operator. Sasaran yang harus dicapai adalah sistem dan institusi yang mampu sepenuhnya mengelola dan melayani persampahan di lingkungan dengan mengikutsertakan masyarakat dalam pengelolaan dan retribusi atau iuran serta semaksimal mungkin melaksanakan konsep 3 R di sumber.	Organisasi Kelompok Swadaya Masyarakat (KSM) Colblem telah berusaha melakukan fungsinya sebagai penyedia jasa pengambilan sampah, namun peran serta masyarakat dalam memilah sampah masih rendah.
Teknis operasional	
1) Menerapkan pemilahan sampah organik dan non organik	Pemilahan sampah dilakukan di area pemilahan, belum terlaksana pemilahan pada sumber
2) Menerapkan teknik 3 R di sumber dan TPS	Belum terlaksana
3) Penanganan residu oleh pengelola sampah kota;	Belum terlaksana
Pembiayaan	
Memperhatikan peningkatan kapasitas pembiayaan untuk menjamin pelayanan dengan pemulihan biaya secara bertahap supaya sistem dan institusi, serta masyarakat dan dunia usaha punya kapasitas cukup untuk memastikan keberlanjutan dan kualitas lingkungan untuk warga.	Belum terlaksana
Aspek peran serta masyarakat	
1) Melakukan pemilahan sampah di sumber	Belum terlaksana
2) Melakukan pengolahan sampah dengan konsep 3 R	Belum terlaksana
3) Membayar iuran/retribusi sampah	Belum terlaksana
4) Mematuhi aturan pembuangan sampah yang ditetapkan	Belum terlaksana
5) Turut menjaga kebersihan lingkungan sekitarnya	Sebagian masyarakat telah turut serta menjaga kebersihan lingkungan dengan cara menyapu dan membuang sampah ditempat sampah.
6) Berperan aktif dalam sosialisasi pengelolaan sampah lingkungan.	Belum terlaksana

Sumber : Data Primer Penelitian, 2016

3.9 Rumusan Pengelolaan Sampah

Kondisi Umum

DATA UMUM DESA JATIWANGI

Luas Areal	578 ha
Jumlah Penduduk	7957 orang
Jumlah Rumah	2000 Rumah meliputi :
	Rumah besar 100 Rumah
	Rumah sedang : 300 Rumah
	Rumah kecil : 500 Rumah
	Rumah susun : 100 Rumah
	Kontrakan : 1000 Rumah
Kondisi jalan	: teratur dengan lebar 2 m, relatif datar.
- Pendapatan penduduk	:
	* Tinggi > Rp 3000.000,-
	* Menengah Rp 1000.000,- - Rp3000.000,-
	* Rendah < Rp 1000.000,-
- Fasilitas umum	
Pertokoan	: 300 Unit
Perkantoran	: 50 Unit
Sekolah	: 2 Unit
Masjid	: 3 Unit
Fasilitas kesehatan	: 2 Unit
Tempat usaha khusus	: 10 Unit
	367 Unit
- Besaran timbulan sampah	
Rumah permanen	(Perorang/hari) : 2.5 L
Rumah semi permanen	(Perorang/hari) : 2.25 L
Rumah non permanen	(Perorang/hari) : 2 L
Kantor	(perpegawai/hari) : 0.5-0.75 L
Toko	(Per petugas/hari) : 2.5-3.0 L
Sekolah	(Per murid/hari) : 0.15 L
- Produksi sampah	
Rumah tangga	30 m ³ /hari
Non rumah tangga	5 m ³
- Kebutuhan peralatan	
Komposter individual	: 400 buah (disediakan Penghuni rumah)
Komposter komunal 1 m ³	: (1000/20)=50 buah
Gerobak 1 m ³	: (35m ³ /1.2 fc x 2 kali/hari x 0.6)= 9 buah
Transfer depo 200 m ²	: 1 buah

Biaya Depresiasi dan Investasi

Perhitungan Investasi dan biaya operasional sangat penting dalam merencanakan kegiatan pengelolaan sampah.

Tabel 3.4 Perhitungan Retribusi/Iuran Bulan

SUMBER	Jumlah wajib retribusi	Efisiensi tertagih	Wajib tertagih	Perkiraan produksi retribusi maksimum (l)	Bobot (l) sampah	(4x6)	Tarif
1	2	3	4	5	6	7	8
Tipe rumah							
Besar	100	100%	100	10	8	800	Rp25,461.81
Sedang	300	100%	300	7	5	1500	Rp17,823.27
Kecil	500	100%	500	4	2	1000	Rp10,184.73
Rumah susun	100	100%	100	4	2	200	Rp10,184.73
Kontrakan	1000	100%	1000	4	2	2000	Rp10,184.73
Toko	300	100%	300	52	50	15000	Rp132,401.43
Kantor	50	100%	50	27	25	1250	Rp68,746.89
Fas kesehatan			0	2			Rp5,092.36
Rumah sakit	2	100%	2	102	100	200	Rp259,710.49
Apotik	2	100%	2	10	8	16	Rp25,461.81
Tempat usaha	10	100%	10	18	16	160	Rp45,831.26
Tempat badah	3	100%	3	7	5	15	Rp17,823.27
	2367			Jumlah total		22141	Rp628,906.7793

$$\text{Harga dasar} = \frac{\text{Total Investasi}}{\text{Total (4x6)x12}} = \frac{\text{IDR } 676,500,000.00}{265692} = \text{Rp}2,546 \text{ /bulan}$$

Sumber: Data Primer Penelitian, 2016

Dari perhitungan diatas diperoleh tariff harga dasar adalah Rp. 2.546,- / bulan sehingga saat diterapkan ke sumber timbulan sampah, harga bervariasi mulai Rp. 10.184,- atau Rp 10.000,-/ bulan untuk kontrakan sampai dengan Rp 259.710,-/bulan untuk rumah sakit.

4. KESIMPULAN

Akar Permasalahan Pengelolaan sampah di pinggiran kawasan Industri MM2100 adalah belum terlaksananya pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga secara baik dan benar. Sehingga, walaupun setiap rumah tangga, toko, kontrakan, tempat usaha, fasilitas umum dan juga fasilitas sosial telah memiliki tempat sampah, namun masalah sampah masih belum tertangani dengan baik.

Pola pengelolaan persampahan di pinggiran kawasan Industri MM2100, berdasarkan data sampling yang dilakukan di Kp. Cibarengkok, Desa Jatiwangi, Cikarang Barat, Bekasi adalah dengan beberapa pola pengelolaan sampah diantaranya :

1. Pola pewadahan/pengumpulan dilanjutkan dengan pembakaran sampah.
2. Pola pewadahan/pengumpulan dilanjutkan dengan diserahkan ke pengelola sampah (dalam hal ini pengelola sampah adalah KSM Colblem)
3. Pola pewadahan/pengumpulan dilanjutkan dengan pembuangan ke kali/sungai.

Solusi persampah di pinggiran kawasan Industri MM2100 dilakukan berdasarkan SNI 3242:2008 tentang Pengelolaan sampah di permukiman yaitu diawali dengan perencanaan, penerapan dan evaluasi serta monitoring terhadap standar yang telah ditetapkan. Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan beberapa aspek diantaranya biaya investasi dan depresiasi ,jumlah penduduk/jumlah wajib retribusi, jumlah sampah yang dihasilkan, menghasilkan dasar penetapan tarif biaya retribusi/iuran masyarakat untuk pendanaan biaya operasional sebesar Rp. 2.546,- /bulan. Biaya pengelolaan sampah merupakan hal pokok yang harus diterapkan agar rumusan yang sudah dibuat dapat berjalan sesuai rencana.

Dengan adanya evaluasi pola pembuangan sampah di pinggiran kawasan industri MM2100 diharapkan dapat dijadikan bahan atau referensi untuk membuat kegiatan pengelolaan sampah lebih baik. Perlu terobosan baru dalam cara penganan sampah. Beberapa hal yang penulis sarankan adalah :

- a. Pemerintah desa bekerja sama dengan pengusaha/ Swasta dalam kegiatan pengelolaan sampah.
- b. Memasukkan kegiatan pengelolaan sampah di pinggiran kawasan industri dalam program *Corporate Social Responsibility* (CSR).
- c. Melibatkan anak muda dalam pengelolaan sampah sebagai upaya regenerasi.
- d. Mendorong inovasi dalam pengelolaan sampah sehingga lebih mudah diterapkan dan hemat biaya.

5. DAFTAR PUSTAKA

Alkadri, et al., 1999, *Tiga Pilar Pengembangan Wilayah, Pusat Pengkajian Kebijakan Teknologi Pengembangan Wilayah*, BPPT, Jakarta.

Arbi, J. (2011). *Sustaining Partnership*. Jakarta: BAPPENAS.

Azwar, Saifuddin, Drs., MA, 2003, *Sikap Manusia, Teori dan Pengukurannya*, edisi kedua, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bekasi. (2015). *Kabupaten Bekasi Dalam Angka 2015*. Kabupaten Bekasi: Badan Pusat Statistik kabupaten Bekasi.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bekasi. (2015). *Kecamatan Cikarang Barat Dalam Angka 2015*. Kabupaten Bekasi: Badan Pusat Statistik Kabupaten Bekasi.

Badan Standarisasi Nasional (BSN), 1991, *Standar Nasional Indonesia (SNI) S - 04 - 1991 - 03 tentang Spesifikasi Timbulan sampah untuk kota kecil dan kota sedang di Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta

Badan Standarisasi Nasional (BSN), 1992, *Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-2454-1992 tentang Tata cara Pengelolaan Teknik Sampah Perkotaan*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta

Badan Standarisasi Nasional (BSN), 1994, *Standar Nasional Indonesia (SNI), 1994, SIN 03-3241-1994, tentang Tata Cara Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional (BSN), 1994, *Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta

Besral. (2010). *Pengolahan dan Analisis Data-1 Menggunakan SPSS*. Depok: Universitas Indonesia.

Bintarto.R, 1997, *Geografi Kota, Pengantar*, cetakan pertama, Spring, Yogyakarta.

Branch, Melville C., 1995, *Perencanaan Kota Komprehensif: Pengantar dan Penjelasan*, cetakan pertama, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.

Bungin, Burhan, 2003, *Analisis Data Penelitian Kualitatif: Pemahaman Filosofis dan Metodologis ke Arah Penguasaan Model Aplikasi*, cetakan pertama, PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.

Damanhuri, P. E., & Padmi, D. T. (2010). *Pengelolaan Sampah*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum, 2006, *Permen PU nomor: 21/PRT/M/2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Persampahan (KSNP-SPP)*, Jakarta

Direktorat Bina Program, Dirjen. Cipta Karya, Departemen Pekerjaan Umum., 1992/1993, *Penyusunan Pedoman Teknis Operasi dan Pemeliharaan Pembangunan Prasarana Perkotaan (Komponen Persampahan)*.

Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman. (2007). *Kisah Sukses Pengelolaan Persampahan di Berbagai Wilayah di Indonesia*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya.

Erna Witoelar, 2001, *Keikutsertaan Masyarakat Dalam Penyusunan Rencana Pengembangan Wilayah dan Kota Sebagai Peluang untuk Mewujudkan Lingkungan Kehidupan yang Ideal: Kritik Terhadap Proses Penyusunan Rencana Dengan Sistem Top-Down*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.

- Faizah. (2008). *Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat (Studi kasus di Kota Yogyakarta)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Gelbert, M., et. al., 1996, *Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup dan "WallChart"*, Buku Panduan Pendidikan Lingkungan Hidup, PPPGT/VEDC, Malang.
- Hadi, Sudharto P., 2005, *Demensi Lingkungan Perencanaan Pembangunan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hartoyo, 1998. *Pemanfaatan Pengelolaan Sampah Kota Jawa Timur, Bahan Seminar Nasional Penanganan Sampah Kota*, Fakultas Teknik Brawijaya, Malang.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 1997, *Undang-Undang RI Nomor 23 Tahun 1997, tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*, Jakarta
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2008, *Undang-Undang RI Nomor 18 Tahun 2008, tentang Pengelolaan Sampah*, Jakarta
- LP3B Buleleng-Clean Up Bali, 2003, *Sistem Pengelolaan Sampah Berbasis pada Masyarakat*, USAID, Jakarta
- Mattalatta, A. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2006, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 21/PRT/M/2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Pengelolaan Persampahan*, Jakarta
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2003, *Revisi Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 - 3242 -1994 tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman*, Jakarta
- Moleong, Lexy J., 2002, *Metodologi Penelitian Kualitatif*, cetakan ketujuh belas, Penerbit PT Remaja Rosdakarya, Bandung
- Nuraftiani, D. (2015). Sikap Masyarakat terhadap Dampak Kawasan Industri MM2100 di Kecamatan Cikarang Barat Kabupaten Bekasi.
- S., H. H. (2007). *Peraturan Daerah Kabupaten Bekasi Nomor 09 Tahun 2007*. Kabupaten Bekasi: Pemerintah Daerah Kabupaten Bekasi.
- S., H. H. (2006). *Peraturan Daerah Kabupaten Bekasi Nomor 6 Tahun 2006*. Kabupaten Bekasi: Pemerintah Daerah Kabupaten Bekasi.
- Sanapiah, F., 1995, *Format-Format Penelitian Sosial: Dasar-Dasar dan Aplikasi*, cetakan ketiga, Rajawali Press, Jakarta
- Slamet, Y., 1989, *Konsep-konsep Dasar Partisipasi Sosial*, PAU-SS UGM, Yogyakarta
- Sevilla, Consuelo, et. al., 1993, *Pengantar Metode Penelitian*, Penerbit UI, Jakarta
- Standar Nasional Indonesia. (2008). *SNI 3242:2008 Tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sugiarto, et Al, 2001, *Metode Penelitian Bisnis*, Cetakan pertama, CV Alfabeta, Bandung
- Suwarto, 2006, *Model Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah: Studi Kasus di Kawasan Perumahan Tlogosari, Kota Semarang*, Tesis, Program Pasca Sarjana Magister Pembangunan Wilayah dan Kota, Inoversitas Diponegoro, Semarang
- Syafrudin, CES, Ir. MT, 2004, *Model Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat (Kajian Awal Untuk Kasus Kota Semarang)*, Makalah pada Diskusi Interaktif: Pengelolaan Sampah Perkotaan Secara Terpadu, Program Magister Ilmu Lingkungan UNDIP
- Syamsudin, A. (2012). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

- Tchobanoglous, G., Teisen H., Eliasen, R, 1993, *Integrated Solid Waste Manajemen, Mc.Graw Hill* : Kogakusha, Ltd.
- Tuti Kustiah, 2005, *Kajian Kebijakan Pengelolaan Sanitasi Berbasis Masyarakat*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Widyatmoko dan Sintorini Moerdjoko, 2002, *Menghindari, Mengolah dan Menyingkirkan Sampah*, Abadi Tandur, Jakarta.
- Yogyakarta Urban Infrastructure Management Support (YUIMS), 1999, *Inventarisasi dan Evaluasi Kinerja Aset-Aset Prasarana di Aglomerasi Perkotaan Yogyakarta: Sektor Persampahan*, Yogyakarta.