

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

Dr. Ir. Dadi Karmadi, M.M.;

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

JUNAL TEKNOLOGI DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN

Volume 3, Nomor 1, April 2016

- 1 Penentuan Waktu Optimum Uji Coba Daur Ulang Air Limbah Domestik Dengan Menggunakan Reaktor Biofilter Aerob Pilot System 1-16
- 2 Penerapan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Di PT NOK Indonesia 17-30
- 3 Hubungan Antara Paparan Kebisingan Dengan Tingkat Stress Kerja di Bagian Filling Di Danone Dairy Indonesia (IKSM)..... 31-45
- 4 Modifikasi Bak Flokulator, Studi Kasus Pada Water Treatment Plant (WTP) Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi..... 46-71

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM UJI COBA DAUR ULANG AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR BIOFILTER AEROB PILOT SISTEM

Martin Darmasetiawan

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

e-mail : air_bersih@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini adalah mengenai Reaktor Biofilter pada skala pilot yang mengolah air limbah rumah tangga. Reaktor yang digunakan merupakan gabungan dari aerasi melalui media sarangtawon yang diaerasi dan saringan pasir lambat pada dasar reactor. Reaktor dibuat pada skala pilot dengan aliran Constantly Stirred Tank Reactor dengan volume total 250 l dengan debit aliran 0,25-0,75 l/menit. Setelah dilakukan aklimatisasi selama 14 hari dilakukan kajian terhadap waktu retensi hidrolis (Hydraulic Retention Time, HRT) optimal terhadap pengolahan pilot. Parameter yang diamati adalah BOD, COD, angka $KMnO_4$ dan Amoniak. Variasi waktu retensi yang dilakukan adalah 24, 12 dan 6 jam pada durasi masing-masing 24 hari. Ditemukan bahwa HRT optimal adalah 6,54 jam. Metoda yang dipakai dalam memeriksa kualitas air adalah Metode Pemeriksaan BOD adalah dengan metode Winkler (titrasi di laboratorium), COD dengan titrasi pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$ dengan titrasi permanganometri dan Amoniak dengan diperiksa dengan metode Nessler.

Kata kunci: *Aerobic biofilter saringan pasir lambat, COD, Ammonia (NH_3), $KMnO_4$ waktu tinggal (td) optim*

PENDAHULUAN

Air limbah domestik merupakan salah satu sumber pencemar terbesar bagi perairan. Salah satu indikasi tercemarnya air adalah kadar BOD dan COD yang melebihi baku mutu. Pemilihan pengolahan limbah didasarkan pertimbangan biaya yang rendah menjadi bahan pertimbangan. Salah satu metode efektif yang dapat diterapkan adalah dengan teknik biofilm untuk menurunkan kadar BOD dan COD yang sesuai baku mutu.

Media biofilter yang digunakan adalah sarang tawon. Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilm dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah, misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Hasil penelitian sebelumnya tentang biofilter dengan media sarang tawon pada limbah rumah sakit dapat menghilangkan senyawa organik COD 87-98,6% ; BOD₅ 93,4-99,3% ; TSS 80-97,8% , Ammonia 93,75% ; Deterjen 95-99,7% (Said, 2001).

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan uji coba alat daur ulang air buangan domestik dengan suatu reaktor biofilter aerob pilot sistem. Parameter yang dikur pada saat operasi dengan variasi waktu tinggal setelah melewati masa aklimatisasi adalah KMnO₄, COD dan NH₃ sebagai acuan selama proses pengamatan, sehingga didapat efisiensi penyisihan, beban dan waktu tinggal (td) optimumnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biofilter

Proses pengolahan air limbah dengan system biofilm atau biofilter, secara garis besar terdiri dari biofilter anaerob, aerob dan kombinasi anaerob dan aerob. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut didalam reaktor air limbah, dan proses anaerob dilakukan dengan tanpa adanya oksigen dalam reaktor limbah. Sedangkan proses kombinasi anaerob – aerob adalah merupakan gabungan proses anaerob – dan proses aerob. Proses ini biasanya digunakan untuk menghilangkan kandungan nitrogen didalam air limbah. Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi yakni nitrogen ammonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3$) dan pada kondisi anaerobic terjadi proses denitrifikasi yakni nitrat yang terbentuk menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$) (Hikami,1992).

Dalam proses pengolahan air limbah secara biofilm atau biofilter aerobik terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan lapisan udarayang terletak diluar.senyawa polutan yang ada di dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD, COD), ammonia, phosphor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut dalam air limbah senyawa tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di lapisan biofilm dan energy yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya pada system RBC yakni dengan cara kontak dengan udara luar , pada system Trickling Filter engan aliran balik udara, sedangkan pada sistem biofilter tercelup dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi (Said dan Ruliasih, 2005).

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobic. Pada kondisi anaerobic akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada dalam biofilm (Said dan Ruliasih, 2005).

B. Jenis Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material anorganik .untuk media biofilter dari bahan organic misalnya dalam bentuk tali, bentuk jarring, bentuk butiran tak teratur (random packing), bentuk papan (plate), bentuk sarang tawon dan lain-lain. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik misalnya dari batu pecah (split), kerikil, batu marmer, batu tembiakar, batu bara (kokas) dan lainnya.

Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula, tetapi volume rongga menjadi lebih kecil. Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah (down flow) maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu, perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (short pass) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun drastis.

Untuk media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC dan lainnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar. Salah satu contoh media biofilter yang banyak digunakan yakni media dalam bentuk sarang tawon (honeycomb tube) dari bahan PVC.

C. Hasil olahan limbah dengan metode biofilem

Berdasarkan pengamatan secara kenampakan fisik pada awal proses yakni pengamatan setelah dua hari operasi, proses pengolahan belum berjalan secara baik. Hal ini karena mikroorganisme yang ada didalam reaktor biofilter belum tumbuh secara optimal. Proses yang terjadi terlihat masih merupakan proses pengendapan dan penyaringan secara fisik. Didalam bak aerasi buih yang terjadi masih cukup banyak. Hal ini

menunjukkan bahwa penguraian senyawa deterjen belum berjalan secara baik. Air yang keluar dari reaktor sudah relative bersih dibandingkan dengan air limbah yang masuk.

Setelah proses berjalan sekitar satu minggu, mikroorganismenya sudah mulai tumbuh dan berkembangbiak di permukaan media kerikil. Pada permukaan media kontaktor (batu pecah atau kerikil) yang ada didalam zona anaerob maupun zona aerob, telah diselubungi oleh lapisan mikroorganismenya. Dengan tumbuhnya lapisan mikroorganismenya tersebut maka selain proses penyaringan padatan tersuspensi (SS) secara fisik., penguraian senyawa polutan yang ada didalam air limbah secara biologis juga sudah mulai berjalan. Hal ini secara fisik dapat dilihat dari air limpasan yang keluar dari zona anaerob sudah cukup jernih, dan buih atau busa yang terjadi di zona aerob (bak aerasi) sudah berkurang. Sedangkan air olahan yang keluar secara fisik sudah sangat jernih (Said, 2009) :

III. Metode penelitian

Metode penelitian ini memakai metode kuantitatif, pendekatan kuantitatif dilakukan dalam menganalisis hasil pengukuran sampling air limbah guna untuk mengetahui efisiensi penyisihannya sehingga akan ditemukan waktu aklimatisasi optimum, waktu tinggal optimum dan laju pembebanannya.

A. Data Primer

Data primer merupakan data yang diambil secara langsung pada saat penelitian, atau data yang dihasilkan dari sumber-sumber asli. Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Kuantitas Air Limbah

Debit atau kuantitas air limbah pada lokasi penelitian dapat diketahui dengan memperhitungkan jumlah rumah dan kebutuhan airnya. Sesuai dengan survei yang dilakukan di lokasi, bahwa air limbah yang mengalir ke lokasi penelitian berasal dari perumahan Riviera Gallery Blok A, B dan C. Berikut perhitungannya dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 1 Metode perhitungan kuantitas air limbah

Jenis Rumah	Pemakaian (liter)	Air Air Limbah	Acuan
Mewah	12000	8400	Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing, Soufyan M. Noerbambang dan Takeo Morimura dan SNI 03-7065-2005
Sedang	10000	7000	

Sumber: Data primer, 2015

2. Metode uji karakteristik air limbah

Air limbah domestik pada saluran drainase dilokasi penelitian memiliki karakteristik yang tertera pada **Tabel 2**. sebagai berikut:

Tabel 2 Metode uji karakteristik air limbah

Nama Parameter	Satuan	Metode	Acuan
pH		pH meter	SNI 06-6989.11-2004
TDS	mg/l		SNI 06-6989.3-2004
COD	mg/l	Dengan titrasi pengoksidasi K ₂ Cr ₂ O ₇ , KMnO ₄ dengan titrasi permanganometri	SNI 6989.2:2009
BOD	mg/l	Metode Winkler	SNI 6989.72:2009
NH ₃	mg/l	Metode Nessler	SNI 06-6989.30-2005
MBAS	µg/l	Spektrofotometer	SNI 06-6989.51-2005
KMnO ₄	mg/l	Metode permanganometri	titrasi SNI 06-6989.22-2004

Sumber: Olah data, 2015

3. Metode penentuan kriteria biofilter pada penelitian

Sesuai dengan adanya percobaan yang pernah dilakukan sebelumnya, yang terdapat dari beberapa literatur. Reaktor biofilter yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan suatu reaktor berskala pilot plant. Reaktor ini mempunyai ukuran tinggi 120 cm dan diameter 87,3 cm dan memiliki volume 700 liter. Adapun untuk secara fisik reaktor biofilter terbagi menjadi beberapa unit, yaitu; unit intake dan outlet, media biofilter dan unit aerator.

B. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diambil secara tidak langsung, data sekunder berfungsi sebagai pelengkap dan penunjang di dalam penelitian atau data yang sudah didokumentasikan oleh orang lain. Adapun data sekunder yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

Studi literatur didapat dari buku referensi, jurnal, internet, dan standar baku mutu air di Indonesia. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan bahan acuan yang akan digunakan dalam pengolahan data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengoperasian Dengan Waktu Tinggal (td)

Setelah mencapai kondisi stabil untuk hasil efisiensi penyisihan senyawa organik (KMnO_4) pada masa aklimatisasi atau pembiakan. Maka untuk selanjutnya yaitu tahapan running dengan variasi waktu tinggal yaitu 24 jam, 12 jam dan 6 jam. Variasi waktu tinggal dilakukan untuk memperoleh kondisi optimum efisiensi penyisihan senyawa organiknya. Hasil dari variasi waktu tinggal tersebut dianalisis sesuai dengan parameter yang akan diuji dalam penelitian ini, yaitu Chemical Oxygen Demand (COD), Ammonia (NH_3), dan Angka Permanganat (KMnO_4).

B. Penghilangan COD

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan untuk COD pada pengoperasian minggu ke-1 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi COD pada air limbah dari 74 mg/l menjadi 23 mg/l dengan efisiensi penyisihan 68,92%. Waktu tinggal 12 jam dan 6 jam dapat menurunkan konsentrasi COD dari 73 mg/l menjadi 25 mg/l – 30 mg/l dengan efisiensi penyisihan 58,90%-65,75%.

Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi COD serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-1 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter dengan Analisa Konsentrasi COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-1

Td (jam)	COD Masuk (mg/l)	COD Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	74	23	68,92
12	73	25	65,75
6	73	30	58,90

Sumber: Olah data, 2015

Pada minggu ke 2 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi COD dari 86 mg/l menjadi 15 mg/l dengan efisiensi penyisihan 82,56%. Untuk waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi COD pada air limbah dari 104 mg/l menjadi 17 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD 83,65%. Untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi COD pada air limbah dari 104 mg/l menjadi 25 mg/l dengan efisiensi

penyisihan COD 75,96%. Hasil pada percobaan untuk penurunan konsentrasi COD serta efisiensi penyisihan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter dengan Analisa Konsentrasi COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-2

Td (jam)	COD Masuk (mg/l)	COD Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	86	15	82,56
12	104	17	83,65
6	104	25	75,96

Sumber: Data primer, 2015

Pada minggu ke 3 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi COD dari 71 mg/l menjadi 19 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD 73,24%. Untuk waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi COD pada air limbah dari 68 mg/l menjadi 17 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD 75,00%. Untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi COD pada air limbah dari 88 mg/l menjadi 11 mg/l dengan efisiensi penyisihan COD 87,50%. Hasil pada percobaan untuk penurunan konsentrasi COD serta efisiensi penyisihan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter dengan Analisa Konsentrasi COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-3

Td (jam)	COD Masuk (mg/l)	COD Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	71	19	73,24
12	68	17	75,00
6	88	11	87,88

Sumber: Data primer, 2015

C. Penghilangan Ammonia (NH₃)

Konsentrasi ammonia (NH₃) pada air limbah yang masuk pada reaktor biofilter berkisar antara 13 mg/l sampai dengan 24 mg/l. Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan untuk ammonia (NH₃) pada pengoperasian minggu ke-1 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia pada air limbah dari 19 mg/l menjadi 10 mg/l dengan efisiensi penyisihan 47,37%. Waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH₃) dari 20 mg/l menjadi 9 mg/l – 30 mg/l dengan

efisiensi penyisihan 55,00%. Sedangkan untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 20 mg/l menjadi 14 mg/l dengan efisiensi penyisihan 30,00%. Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi ammonia (NH_3) serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-1 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 6**

Tabel 6 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter dengan Analisa Konsentrasi Ammonia (NH_3) Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke1

Td (jam)	NH_3 Masuk (mg/l)	NH_3 Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	19	10	47,37
12	20	9	55,00
6	20	14	30,00

Sumber: Data primer, 2015

Pada minggu ke-2 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 21 mg/l menjadi 1 mg/l dengan efisiensi penyisihan 95,24%. Untuk waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 23 mg/l menjadi 10 mg/l dengan efisiensi penyisihan 56,52%. Sedangkan untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 23 mg/l menjadi 10 mg/l dengan efisiensi penyisihan 56,52%. Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi ammonia (NH_3) serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-2 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter dengan Analisa Konsentrasi Ammonia (NH_3) Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-2

Td (jam)	NH_3 Masuk (mg/l)	NH_3 Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	21	1	95,24
12	23	10	56,52
6	23	10	56,52

Sumber: Data primer, 2015

Pada minggu ke-3 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 17 mg/l menjadi 10 mg/l dengan efisiensi penyisihan 41,18%. Untuk waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 16 mg/l menjadi 7 mg/l dengan efisiensi penyisihan 56,25%. Sedangkan untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi ammonia (NH_3) dari 25 mg/l menjadi 12 mg/l dengan efisiensi

penyisihan 52,00%. Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi ammonia (NH_3) serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-3 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter Dengan Analisa Konsentrasi Ammonia (NH_3) Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-3

Td (jam)	NH_3 Masuk (mg/l)	NH_3 Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	17	10	41,18
12	16	7	56,25
6	25	12	52,00

Sumber: Data primer, 2015

D. Penghilangan KMnO_4

Konsentrasi KMnO_4 pada air limbah yang masuk pada reaktor biofilter berkisar antara 39 mg/l sampai 232 mg/l. Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan untuk KMnO_4 pada pengoperasian minggu ke-1 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 pada air limbah dari 54 mg/l menjadi 26,8 mg/l dengan efisiensi penyisihan 50,37%. Waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 35,8 mg/l menjadi 6,9 mg/l dengan efisiensi penyisihan 80,73%. Sedangkan untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 42,5 mg/l menjadi 8,15 mg/l dengan efisiensi penyisihan 80,82%. Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi KMnO_4 serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-1 selengkapnya dapat dilihat di **Tabel 9**.

Tabel 9 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter Dengan Analisa Konsentrasi KMnO_4 Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-1

Td (jam)	KMnO_4 Masuk (mg/l)	KMnO_4 Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	54	26,8	50,37
12	35,8	6,9	80,73
6	42,5	8,15	80,82

Sumber: Data primer, 2015

Pada minggu ke-2 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 23,5 mg/l menjadi 8,25 mg/l dengan efisiensi penyisihan 65,32%. Untuk waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 27,8 mg/l menjadi 14,7 mg/l dengan efisiensi penyisihan 47,12%. Sedangkan untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 23,5 mg/l menjadi 12,5 mg/l dengan efisiensi penyisihan 46,81%. Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi KMnO_4 serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-2 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter Dengan Analisa Konsentrasi KMnO_4 Sebelum dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-2

Td (jam)	KMnO_4 Masuk (mg/l)	KMnO_4 Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	23,5	8,15	65,32
12	27,8	14,7	47,12
6	23,5	12,5	46,81

Sumber: Data primer, 2015

Pada minggu ke-3 dengan waktu tinggal 24 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 24,6 mg/l menjadi 16,9 mg/l dengan efisiensi penyisihan 31,30%. Untuk waktu tinggal 12 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 20,2 mg/l menjadi 12,4 mg/l dengan efisiensi penyisihan 38,61%. Sedangkan untuk waktu tinggal 6 jam dapat menurunkan konsentrasi KMnO_4 dari 22,4 mg/l menjadi 11,4 mg/l dengan efisiensi penyisihan 49,11%. Hasil percobaan untuk penurunan konsentrasi KMnO_4 serta efisiensi penyisihan pada minggu ke-3 selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11 Hasil Percobaan Reaktor Biofilter Dengan Analisa Konsentrasi KMnO_4 Sebelum Dan Sesudah Pengolahan Pada Minggu Ke-3

Td (jam)	KMnO_4 Masuk (mg/l)	KMnO_4 Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
24	24,6	16,9	31,30
12	20,2	12,4	38,61
6	22,4	11,4	49,11

Sumber: Data primer, 2015

E. Waktu Tinggal Optimum

Penentuan waktu tinggal optimum dilakukan melalui seleksi nilai efisiensi penyisihan senyawa COD, dengan mempertimbangkan teknis perencanaan, kelayakan dan aplikasi teknologi biofilter termasuk metode dalam pengukurannya. Waktu tinggal optimum yang dipilih adalah waktu tinggal tersingkat namun efisiensi penyisihannya tinggi. Efisiensi penyisihan COD rata-rata dengan waktu tinggal 24 jam, 12 jam dan 6 jam dapat dilihat pada Tabel 12.

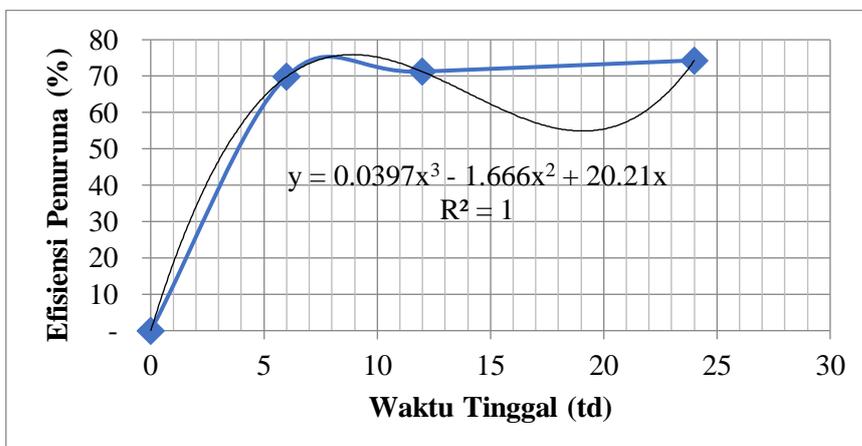
Tabel 12 Efisiensi penyisihan COD

Minggu ke	Waktu Tinggal (jam)	COD		
		COD Masuk (mg/l)	COD Keluar (mg/l)	Efisiensi (%)
I	24	74	23	68.92
	12	73	25	65.75
	6	73	30	58.90
	0	73	73	-
II	24	86	15	82.56
	12	104	17	83.65
	6	104	25	75.96
	0	104	104	-
III	24	71	19	70.73
	12	68	21	67.69
	6	88	11	87.88
	0	88	88	-

Sumber: Olah data, 2015

Dari tabel diatas dapat ditentukan bawa waktu tinggal dapat diitung dihitung sebagai berikut:

1. Penentuan waktu tinggal optimum untuk minggu ke-1



Gambar 1 Penentuan waktu tinggal (td) optimum minggu ke-1

Gambar 1 menunjukkan bahwa waktu tinggal optimum (td) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = -1,666x^2 + 20,21x \text{ dengan } R^2 = 1$$

dimana:

y_0 = COD keluar (mg/l)

x_0 = Waktu tinggal (td) (jam)

Penyelesaian:

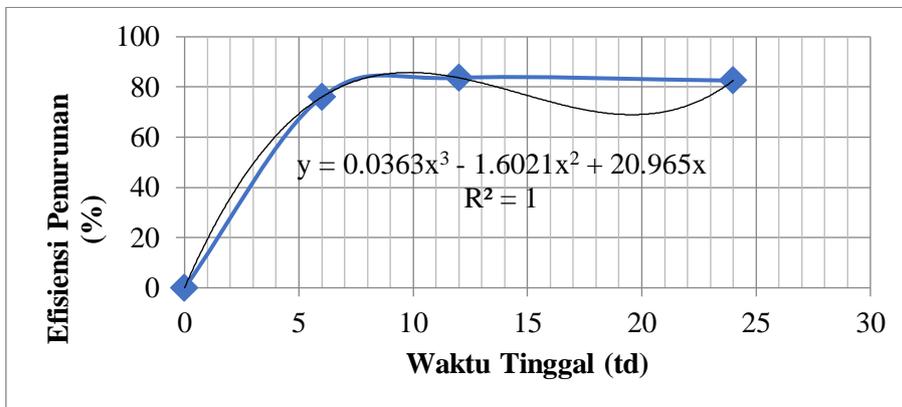
$$y = -1,666x^2 + 20,21x$$

$$0 = \frac{dy}{dx} = -1,666 \cdot 2x + 20,21$$

$$x = \frac{20,21/1,666}{2} = 6,06 \text{ Jam}$$

Jadi dari perhitungan diatas, didapat bahwa waktu tinggal optimum pada waktu minggu ke-1 adalah 6,06 jam

2. Penentuan waktu tinggal optimum untuk minggu ke-2



Gambar 2 Penentuan waktu tinggal (td) optimum minggu ke-2

Gambar 2 menunjukkan bahwa waktu tinggal optimum (td) untuk minggu ke-2 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = -1,602x^2 + 20,96x \text{ dengan } R^2 = 1$$

dimana:

y_0 = COD keluar (mg/l)

x_0 = Waktu tinggal (td) (jam)

Penyelesaian:

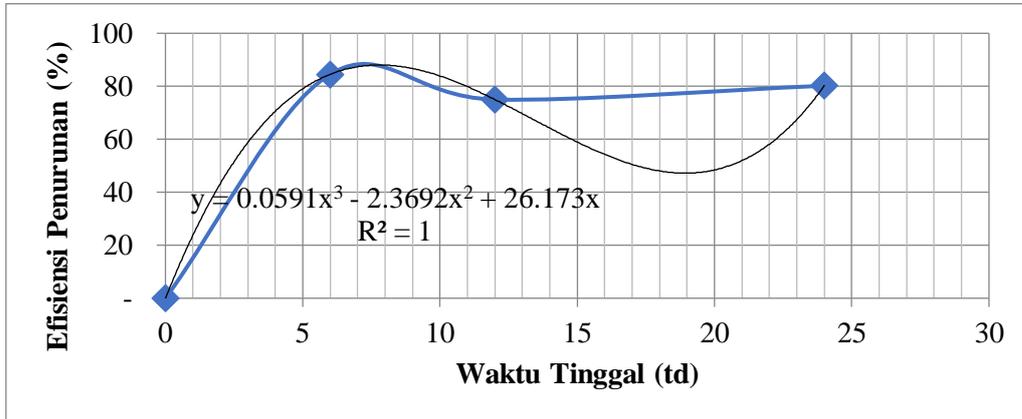
$$y = -1,602x^2 + 20,96x$$

$$0 = \frac{dy}{dx} = -1,602 \cdot 2x + 20,96$$

$$x = \frac{20,96/1,602}{2} = 6,54 \text{ Jam}$$

Jadi dari perhitungan diatas, didapat bahwa waktu tinggal optimum pada waktu minggu ke-2 adalah 6,54 jam

3. Penentuan waktu tinggal optimum untuk minggu ke-3



Gambar 3 Penentuan waktu tinggal (td) optimum minggu ke-3

Gambar 3 menunjukkan bahwa waktu tinggal optimum (td) untuk minggu ke-2 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = -2,369x^2 + 26,17x \text{ dengan } R^2 = 1$$

dimana:

$$y_0 = \text{COD keluar (mg/l)}$$

$$x_0 = \text{Waktu tinggal (td) (jam)}$$

Penyelesaian:

$$y = -2,369x^2 + 26,17x$$

$$0 = \frac{dy}{dx} = -2,369 \cdot 2x + 26,1$$

$$x = \frac{26,17/2,369}{2} = 5,52 \text{ Jam}$$

Jadi dari perhitungan diatas, didapat bahwa waktu tinggal optimum pada waktu minggu ke-2 adalah 5,52 jam.

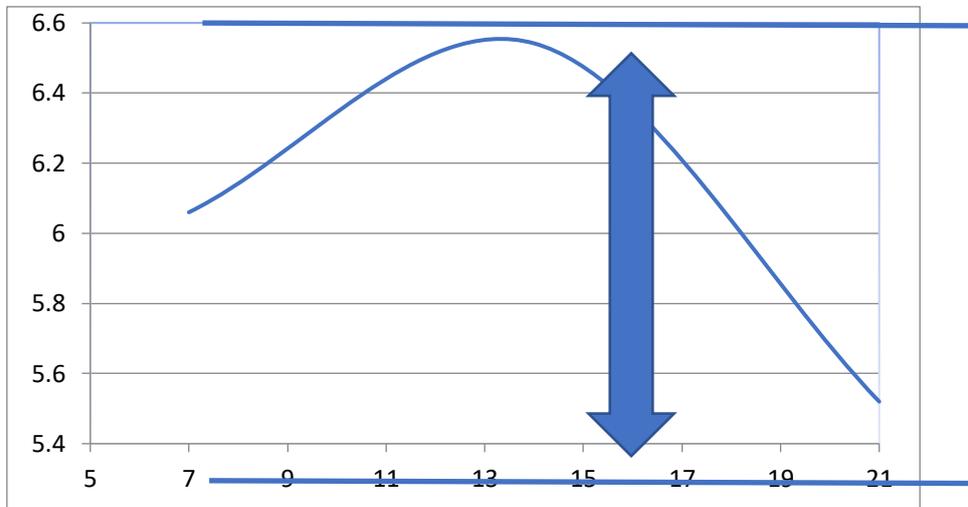
Dari hasil perhitungan untuk waktu tinggal (td) optimum diatas diketahui kisaran yang dapat dijadikan patokan untuk desain lanjutan. Adapun kisaran waktu tinggal (td) optimum dapat di jelaskan seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 13 Kisaran waktu tinggal (td) optimum

Hari	Waktu Tinggal (td) Optimum
7	6,06 jam
14	6,54 jam
21	5,52 jam

Sumber: Olah data, 2015

Dari tabel diatas diketahui bahwa kisaran waktu tinggal (td) optimum yaitu untuk hari ke-7 atau minggu pertama td optimum pada 6,06 jam, untuk hari ke-14 atau minggu kedua td optimum pada 6,54 jam dan untuk hari ke-21 atau minggu ketiga td optimum pada 5,52 jam. Adapun untuk kisaran waktu tinggal (td) optimum dapat lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4 Kisaran waktu tinggal (td) optimum

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan didalam teknis perencanaan dan aplikasi reaktor biofilter aerob, antara lain:

1. Waktu tinggal hidrolis dalam reaktor harus singkat
2. Efisiensi penyisihan senyawa organik atau polutan tinggi
3. Ukuran lahan yang dipakai kecil
4. Bentuk rancangan yang fleksibel
5. Biaya investasi dan biaya operasional rendah

Ukuran, bobot reaktor, efisiensi dan kebutuhan energy merupakan faktor penting dalam perencanaan pembangunan instalasi pengolahan air . ukuran reaktor menjadi acuan dalam penyediaan lahan, sedangkan bobot reaktor menjadi pertimbangan dalam kontruksi, dimana semakin kecil waktu tinggal (td) maka ukuran reaktor semakin hemat dalam penggunaan lahan dan dengan reaktor yang lebi kecil memerlukan kontruksi yang lebih ringan. Reaktor dengan efisiensi tinggi mempunyai kemampuan yang lebi besar dalam mengolah air sehingga lebih efisien dalam pemakaian energy untuk peralatan

pendukung seperti pompa dan blower. Kualitas air hasil pengolahan juga merupakan faktor yang penting dalam menentukan waktu tinggal (td) optimum yang terpilih.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian uji coba daur ulang air limbah domestik dengan reaktor biofilter aerob dengan menggunakan media tipe sarang tawon dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Waktu tinggal optimal dari reaktor biofilter
 - Untuk waktu tinggal 24 jam menghasilkan efisiensi terbaik dengan penurunan COD sebesar 82,56% laju pembebanan COD 0,42 kg/m³ media.hari, efisiensi penurunan NH₃ sebesar 95,24% dan efisiensi penurunan KMnO₄ sebesar 65,32%
 - Untuk waktu tinggal 12 jam menghasilkan efisiensi terbaik dengan penurunan COD sebesar 65,75% dengan laju pembebanan 0,80 kg/m³ media.hari , efisiensi penurunan NH₃ sebesar 83,65% dan untuk efisiensi penurunan KMnO₄ adalah sebesar 80,73%.
 - Untuk waktu tinggal 6 jam menghasilkan efisiensi terbaik dengan penurunan COD sebesar 87,88% dengan laju pembebanan 1,43 kg/m³ media.hari, pada saat setelah operasi minggu ke-3, efisiensi penurunan NH₃ sebesar 56,52% dan efisiensi penurunan KMnO₄ adalah sebesar 80,82%.
2. Waktu tinggal (td) optimum yaitu antara 5,52 sampai dengan 6,54 jam.

DAFTAR PUSTAKA

Metcalf And Eddy, 1978 "Waste Water Engineering", Mc Graw Hill

Said, 2006. "Penghilangan Deterjen dan Senyawa Organik Dalam Air Baku Air Minum Dengan Proses Biofilter Ungun Tetap Tercelup". Pusat Teknologi Lingkungan, BBPT.

S. (1996). Ecological design. Washington, DC: Island Press.

**PENERAPAN PENGELOLAAN LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN (B3) DI PT.
NOK INDONESIA**

Neny Mulyani¹⁾ dan Ahmad Naseh²⁾

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

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

e-mail : mulyanineny.insyan@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan di bidang industri akan menghasilkan barang yang bermanfaat bagi kesejahteraan hidup rakyat, dan di lain pihak industri itu juga akan menghasilkan limbah. Diantara lain limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri tersebut terdapat limbah bahan berbahaya beracun (B3). Limbah B3 yang dibuang langsung ke dalam lingkungan dapat menimbulkan bahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Mengingat resiko tersebut, perlu diupayakan agar setiap kegiatan industri dapat menghasilkan limbah B3 seminimal mungkin dan mencegah masuknya limbah B3 dari luar wilayah Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengelolaan limbah B3, penanganan limbah, sampai manajemen pengelolaan limbah B3 pada industri-industri yang menerapkan konsep *Clean Production* dan mengetahui seberapa besar biaya operasional pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT. NOK Indonesia. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang berasal dari responden. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan studi pustaka dan survey lapangan. Proses Pengelolaan Limbah B3 di PT. NOK sudah mengacu pada Peraturan Pemerintah RI nomor 18 tahun 1999 Juncto Peraturan Pemerintah RI nomor 85 tahun 1999, Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 1 tahun 1995, Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 2 tahun 1995 dan Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 5 tahun 1995. Nilai Kepatuhan terhadap peraturan pemerintah dalam pengelolaan limbah B3 tiap section yaitu Section dengan nilai tertinggi (Nilai 5): 5.00 (QCI, PUR, PPC, MCS, SPR, GA-1, MNF, DES, RUB, BON, MTN), Section dengan nilai kurang dari 5: 4.91 (GA-2); Section dengan nilai kurang dari 5 & terendah 4.86 (SURF). Biaya Pengelolaan limbah B3 di PT. NOK Indonesia setiap bulan cukup besar, Adapun biaya pengelolaan limbah B3 pada bulan Januari 2016 sebesar Rp 49.229.323,00 dengan rincian Pembayaran ke PT. PPLI sebesar Rp 45.874.323,00 dan pembayaran ke PT. Tenang Jaya sebesar Rp 3.355.000,00.

Kata Kunci: limbah, bahan berbahaya, beracun, PT NOK Indonesia

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah B3 adalah rangkaian kegiatan yang mencakup reduksi, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan penimbunan limbah B3. Kegiatan pembangunan bertujuan meningkatkan kesejahteraan hidup rakyat yang dilaksanakan melalui rencana pembangunan jangka panjang yang bertumpu pada pembangunan di bidang industri.

Pembangunan di bidang industri akan menghasilkan barang yang bermanfaat bagi kesejahteraan hidup rakyat, dan di lain pihak industri itu juga akan menghasilkan limbah. Diantara lain limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri tersebut terdapat limbah bahan berbahaya beracun (B3).

Limbah B3 yang dibuang langsung ke dalam lingkungan dapat menimbulkan bahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Mengingat resiko tersebut, perlu diupayakan agar setiap kegiatan industri dapat menghasilkan limbah B3 seminimal mungkin dan mencegah masuknya limbah B3 dari luar wilayah Indonesia. Peran Pemerintah Indonesia dalam pengawasan perpindahan lintas batas limbah B3 tersebut telah diratifikasi Konvensi Basel pada tanggal 12 Juli 1993 dengan Keputusan Presiden Nomor 61 Tahun 1993.

Hirarki Pengelolaan limbah B3 dimaksudkan agar limbah B3 yang dihasilkan masing-masing unit produksi sesedikit mungkin dan bahkan diusahakan sampai nol, dengan mengupayakan reduksi pada sumber dengan pengolahan bahan, substitusi bahan, pengaturan operasi kegiatan dan digunakannya teknologi bersih. Bilamana masih dihasilkan limbah B3 maka diupayakan pemanfaatan limbah B3.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengelolaan limbah B3, penanganan limbah, sampai manajemen pengelolaan limbah B3 pada industri-industri yang menerapkan konsep *Clean Production* dan mengetahui seberapa besar biaya operasional pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT. NOK Indonesia.

2. METODOLOGI

2.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan mulai dari tanggal 4 Januari 2016 sampai 3 Maret 2016. Lokasi pelaksanaan bertempat di PT. NOK Indonesia Kawasan MM2100 Jl. Sulawesi II blok F3, Cikarang Barat, Bekasi.

2.1.1 Lokasi Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan Limbah B3 dilakukan di TPS (Tempat Penyimpanan Sementara) Limbah B3. Lokasi TPS berada di area belakang PT. NOK Indonesia pada posisi koordinat $S. 06^{\circ}17'47,03'' E. 107^{\circ}05'34,83''$.

2.2 Sumber, Jenis Dan Teknik Pengumpulan Data

2.2.1 Sumber Data

Sumber data penelitian ini adalah sumber data primer yang diperoleh dari responden pengelola / industri.

3.2.2 Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang berasal dari responden.

3.2.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan studi pustaka dan survey lapangan.

1. Studi Pustaka

Digunakan untuk memberi acuan bagi penyelesaian permasalahan yang ada. Pada tahap ini peneliti mencari, mengumpulkan dan mempelajari literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, yang nantinya dapat dipergunakan sebagai acuan dan kerangka berpikir bagi perancangan dan pengembangan penelitian.

2. Survei Lapangan

Pelaksanaan survey lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi real dari perusahaan pada saat ini, terutama yang berkaitan dengan objek yang akan diteliti. Selanjutnya data yang didapatkan diolah menjadi laporan penelitian sesuai dengan desain penelitian masing-masing.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sumber Limbah B3

Sumber limbah B3 PT. NOK Indonesia baik yang berbentuk padat maupun cair bersumber dari kegiatan produksi dan maintenance peralatan produksi. Timbulan limbah B3 yang dihasilkan oleh perusahaan disajikan pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1 Sumber Timbulan limbah B3

No	Jenis Limbah	Sumber Timbulan Limbah
A.	Limbah Padat	
1	Iron scrap	Mesin Stamping
2	Sludge B3	WWTP
3	Grinding Sludge	Mesin Grinding
4	Bekas Kemasan B3	Kegiatan produksi
5	Dust Collector	Kegiatan produksi
6	Limbah B3 padat Terkontaminasi (sarung tangan, kain majun, masker)	Kegiatan produksi
7	Limbah cartridge printer	Mesin printer
8	Toner	Mesin fotocopy
9	Sponge Coating	Kegiatan produksi
10	Drum bekas	Produksi
11	Lampu TL Bekas	Penerangan pabrik
B.	Limbah Cair	
1	Oli Bekas (Minyak kotor)	Engineering
2	Solvent Bekas	Bonding
3	Coolant	Bonding
4	Latex	Postcure
5	F. Process	Bonding

Sumber : UKL-UPL PT. NOK Indonesia, 2013

3.2 Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan limbah di PT. NOK Indonesia dilakukan oleh section general affairs dibawah Departemen Personnel and General Affairs (PGA). Sebagai salah satu penghasil limbah B3, PT. NOK Indonesia berusaha dengan sebaik mungkin memenuhi peraturan pemerintah yang berlaku. Sehingga dalam pelaksanaannya juga melibatkan jasa pihak ke-3 baik sebagai pengangkut (*transporter*), pengumpul (*Collecting*), pengolah (*treatment*), pemanfaat dan juga penimbun (*landfill*) limbah B3.

3.3 Pengelolaan limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan dari kegiatan operasional pabrik meliputi limbah padat B3 dan non B3. Dikarenakan karakteristik limbah tersebut berbeda, maka pengelolaan yang akan dilakukan juga berbeda.

3.3.1 Pengelolaan Limbah Padat B3

Limbah padat B3 dihasilkan dari kegiatan produksi antara lain sludge WWT, sludge grinding, scrap iron terkontaminasi B3, bekas kemasan chemical, drum bekas, majun bekas terkontaminasi B3, sarung tangan terkontaminasi B3. Upaya Pengelolaan yang dilakukan terhadap limbah B3 padat adalah sebagai berikut :

- a. Telah disiapkan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) limbah B3 padat (dengan desain sesuai keputusan Kepala Bapedal No. 1 Tahun 1995 dan dilengkapi dengan surat ijin Tempat Penyimpanan sementara (TPS) Limbah B3 dari Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bekasi.
- b. Seluruh limbah B3 padat ditempatkan didalam TPS Limbah B3 yang dikemas dengan menggunakan kemasan sesuai dengan karakteristik tiap jenis limbah B3 padat, kemudian diberi simbol dan label limbah.
- c. Melakukan konsep 3 R (reuse, reduce, recycle) untuk mengurangi volume limbah dengan melakukan pengepresan kaleng sisa kemasan B3.
- d. Pengelolaan limbah B3 padat dikerjasamakan dengan PT. PPLI dan PT. Tenang Jaya sebagai pengolah limbah yang telah mendapat ijin dari Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- e. Pada saat pengambilan limbah B3 oleh PT. PPLI dan PT. Tenang Jaya harus dilengkapi dengan manifest yang diisi secara lengkap sesuai ketentuan yang berlaku.
- f. Dibuatkan laporan neraca limbah B3 setiap bulan kemudian dikirim ke instansi-instansi yang berwenang minimal 3 bulan sekali.

3.3.2 Periode Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan Limbah B3 dilakukan selama setiap hari kegiatan pabrik berlangsung.

3.3.3 Upaya Pemantauan Limbah B3

Pemantauan terhadap volume limbah B3 dilakukan dengan pengamatan/pemeriksaan secara visual. Lokasi Pemantauan adalah di TPS limbah B3 yang

berada di belakang pabrik. Pemantauan terhadap volume limbah B3 dilakukan 1 x sehari dengan mengisi ceklist yang telah disediakan.

3.3.4 Tolok Ukur Dampak Limbah B3

Tolok ukur dampak yang digunakan adalah:

- a. Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 jo. Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3.
- b. Tidak adanya cecceran limbah B3 di area TPS limbah B3.

3.4 Pengelolaan limbah padat Non B3

Limbah padat yang termasuk dalam kategori limbah non B3 padat meliputi limbah berupa reject product, kardus, plastik serta limbah padat domestic berupa kertas, plastik dan sampah organik yang berasal dari kegiatan administrasi, kantin dan pemeliharaan taman.

- Telah disediakan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) limbah Non B3 Padat dengan design bangunan permanen dan kapasitas memadai dengan dilengkapi atap, pintu dan penerangan.
- Untuk limbah sisa makanan dari kantin dikelola oleh supplier catering.
- Melakukan konsep 3 R (reuse, reduce, recycle) untuk mengurangi volume limbah yang dihasilkan seperti pemanfaatan kertas bekas untuk kegiatan administrasi internal.
- Pengelolaan limbah padat non B3 bernilai ekonomis dikerjasamakan dengan CV. Gotong Royong, CV. Maju Jaya dan PT. ATI.

3.5 Pengelolaan Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan industri ini dikelompokkan menjadi 2, yaitu:

1. Limbah cair B3
2. Limbah cair domestik.

3.5.1 Pengelolaan Limbah B3 cair

Limbah B3 cair PT. NOK Indonesia terdiri limbah hasil produksi yang langsung diolah ke dalam Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) / *Waste Water Treatment Plant (WWTP)* dan limbah yang tidak dapat diolah kedalam IPAL. Adapun limbah B3 yang tidak

dapat diolah oleh IPAL terdiri dari limbah minyak kotor dan solvent bekas yang dikerjasamakan dengan PT. Tenang Jaya kemudian limbah profile coolant, latex, F-Process yang dikerjasamakan dengan PPLI.

3.5.2 Penyimpanan limbah B3 Cair

- a. Telah disiapkan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) limbah B3 cair (desain sesuai keputusan Kepala Bapedal No. 1 Tahun 1995 dan dilengkapi dengan surat izin Tempat Penyimpanan sementara (TPS) Limbah B3 dari Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bekasi.
- b. Seluruh limbah B3 padat ditempatkan didalam TPS Limbah B3 yang dikemas dengan menggunakan kemasan sesuai dengan karakteristik tiap jenis limbah B3 padat, kemudian diberi simbol dan label limbah.
- c. Melakukan konsep 3 R (reuse, reduce, recycle) untuk mengurangi volume limbah cair seperti penggunaan kembali air limbah bonding sludge yang direcycle untuk digunakan lagi dalam mesin.
- d. Pengelolaan limbah B3 padat dikerjasamakan dengan PT. PPLI dan PT. Tenang Jaya sebagai pengolah limbah yang telah mendapat izin dari Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- e. Pada saat pengambilan limbah B3 oleh PT. PPLI dan PT. Tenang Jaya harus dilengkapi dengan manifest yang diisi secara lengkap sesuai ketentuan yang berlaku.

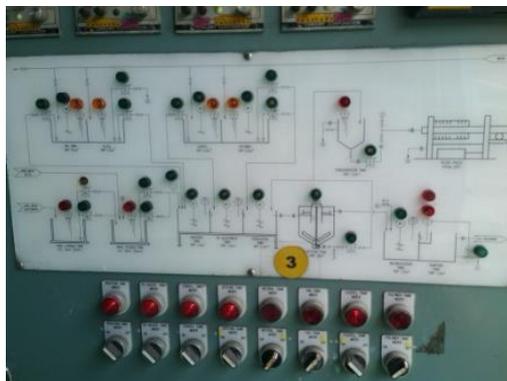
3.5.3 Pengolahan Air limbah

IPAL PT. NOK Indonesia merupakan salah satu unit pengolahan air limbah yang mengolah limbah B3 cair yang berasal dari limbah *surface treatment*. IPAL yang ada menggunakan prinsip pengolahan kimia-fisika dengan parameter utama yang selalu dipantau adalah pH. Unit pengolahan limbah cair dapat dilihat pada gambar 4.1. Sedangkan untuk pengoperasiannya sudah menggunakan panel kontrol yang dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Unit Pengolahan Air Limbah

Sumber : Dokumentasi Kerja Praktek, 2016



Gambar 4. 2 Panel Control IPAL

Sumber : Dokumentasi Kerja Praktek, 2016

3.6 Pengelolaan Limbah Cair Non B3

Sementara itu, limbah cair dari aktifitas domestik karyawan (toilet, kantin dan masjid) langsung dialirkan melalui saluran tertutup menuju ke *WWTP* kawasan Industri MM2100.

3.7 Pencatatan Pembuangan Limbah B3

Pembuangan limbah PT. NOK Indonesia sudah dilakukan dokumentasi yang di input pada aplikasi *waste management* berbasis data access. Dokumentasi dilakukan setiap terjadi transaksi pembuangan limbah oleh data entri/clerk. Aplikasi *waste management* dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Aplikasi waste management

Sumber : Prosedur pengisian *waste management*, PT. NOK Indonesia

3.8 Data Pembuangan Limbah B3

Data entri/clerk melakukan penginputan data limbah untuk selanjutnya dilaporkan sebagai laporan bulanan kepada *supervisor*. Selanjutnya *supervisor* akan melaporkan kepada manager sebagai bahan laporan bulanan biaya pengelolaan limbah. Setelah diterima oleh manager selanjutnya akan dilaporkan kepada direksi PT. NOK Indonesia dalam *meeting manager* (MM).

Data laporan limbah yang akan dipaparkan menggunakan data pengelolaan limbah B3 periode januari 2016. Data pengambilan limbah oleh PPLI dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Data Pengambilan limbah oleh PT. PPLI

Periode : 01/01/2016 s/d 31/01/2016					
PENGAMBILAN LIMBAH CHEMICAL : PPLI, PT					
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	08/01/2016	COOLANT	2016	AA 0324242	3 DRUM
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	12/01/2016	CONTAMINATED GOODS	7526	AA 0324392	3 MB
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	1/14/2016	BONDING SLUDGE	2026	AA 0322031	2.46 TON
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	18/01/2016	DUST	6322	AA 0322263	3 MB
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	19/01/2016	COOLANT	2016	AA 0322317	4 DRUM
2	19/01/2016	F PROCESS WASTE	12183	AA 0322316	1 DRUM
3	19/01/2016	LATEX	4053	AA 0322318	1 DRUM
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	1/28/2016	BONDING SLUDGE	2027	AA 0322032	2.28 TON
2	1/28/2016	COOLANT	2017	AA 0322318	3 DRUM

Sumber: Data Primer

Data pengambilan limbah B3 oleh PT. Tenang Jaya dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3. 2 Data pengambilan limbah oleh PT. Tenang Jaya

PENGAMBILAN LIMBAH CHEMICAL : TENANG JAYA SEJAHTERA, PT					
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY
1	11/01/2016	MINYAK KOTOR/SLOP OIL		RP 0073701	16 DRUM
2	11/01/2016	SOLVENT BEKAS		RP 0073702	4 DRUM
3	11/01/2017	BIAYA TRANSPORT			1 LOT

Sumber: Data Primer

Data yang diinput diatas akan menjadi dasar dalam pembuatan neraca limbah maupun laporan biaya pembuangan limbah. Neraca limbah akan dilaporkan ke Bapedal dalam format laporan UKL-UPL setiap 6 bulan sekali.

3.9 Neraca Limbah B3

Tabel 3.4 Neraca Limbah B3

NERACA LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN

Nama Perusahaan : PT. NOK Indonesia
 Bidang Usaha : Oil seal device
 Periode Waktu : Januari 2016

I		JUMLAH (ton)	CATATAN
JENIS AWAL LIMBAH			
Latex		1 drum	
Coolant		10 drum	
F Process		1 drum	
Solvent		4 drum	
Minyak kotor		16 drum	
Oil bekas		drum	
Total Limbah cair (31/5)		32 drum	
Drum Terkontaminasi		6.4 ton	
Limbah Used TL Lamp		ton	
Bonding Sludge		4.74 ton	
Contaminated Goods		3 ton	
Limbah dust		3 ton	
Limbah WWT		ton	
TOTAL	A (+)	17.14 ton	

Semua limbah dibuang ke PPLi kecuali limbah Minyak kotor solvent, Oil bekas dan drum terkontaminasi diangkut oleh PT. Tenang Jaya

II	PERLAKUAN :	JUMLAH (TON)	JENIS LIMBAH YANG DIKELOLA	PERIZINAN LIMBAH B3 DARI KLH		
				ADA	TIDAK ADA	KADALUARSA
	1. DISIMPAN					
	2. DIMANFAATKAN					
	3. DIOLAH					
	4. DITIMBUN					
	5. DISERAHKAN KE PIHAK III	6.40 Ton	Limbah B3 Cair	√		
		4.74 Ton	Bonding Sludge (limbah B3 padat)	√		
		3 Ton	Contaminated Goods (limbah B3 padat)	√		
		3 Ton	Limbah dust (limbah B3 padat)	√		
		0.0 Ton	Limbah Used TL lamp	√		
		0.0 Ton	Limbah endapan WWT	√		
		0.0 Ton	Limbah drum terkontaminasi (limbah B3 padat)	√		
	6. EKSPORT					
	7. PERLAKUAN LAINNYA					
	TOTAL	B (-)	17.14 ton			
	RESIDU*	C (+)	0 ton			
	JUMLAH LIMBAH YANG BELUM TERKELOLA**	D (+)	0 ton			
	TOTAL JUMLAH LIMBAH YANG TERSISA	(C+ D)	0 ton			
	KINERJA PENGELOLAAN LB3 SELAMA PERIODE SKALA WAKTU PENATAAN		(A-(C+D))/A X 100% = 100%			

* RESIDU adalah jumlah limbah tersisa dari proses perlakuan seperti abu insenerator, bottom ash dan fly ash dari pemanfaatan sludge oil di boiler, residu dan penyimpanan dan pengumpulan oli bekas dll
 ** JUMLAH LIMBAH YANG BELUM TERKELOLA adalah limbah yang disimpan melebihi skala waktu penataan

Data-data tersebut di atas diisi dengan sebenar-benarnya sesuai dengan kondisi yang ada,

Sumber: Data Primer

3.10 Biaya Pembuangan Limbah B3

Tabel 3. 3 Laporan biaya pembuangan Limbah B3

MONTHLY REPORT WASTE

Periode : 01/01/2016 s/d 31/01/2016

PENGAMBILAN LIMBAH CHEMICAL : PPLI, PT

NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	TOTAL PRICE (IDR)
1	08/01/2016	COOLANT	2016	AA 0324242	3 DRUM	USD 65	USD 195.00	IDR 2,632,500
TOTAL							USD 195.00	IDR 2,632,500
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	TOTAL PRICE (IDR)
1	12/01/2016	CONTAMINATED GOODS	7526	AA 0324392	3 M3	USD 264	USD 792.00	IDR 10,692,000
TOTAL							USD 792.00	IDR 10,692,000
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	TOTAL PRICE (IDR)
1	1/14/2016	BONDING SLUDGE	2026	AA 0322031	2.46 TON	USD 207	USD 509.22	IDR 6,874,470
TOTAL							USD 509.22	IDR 6,874,470
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	TOTAL PRICE (IDR)
1	18/01/2016	DUST	6322	AA 0322263	3 M3	USD 185	USD 555.00	IDR 7,492,500
TOTAL							USD 555.00	IDR 7,492,500
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	TOTAL PRICE (IDR)
1	19/01/2016	COOLANT	2016	AA 0322317	4 DRUM	USD 65	USD 260.00	IDR 3,510,000
2	19/01/2016	F PROCESS WASTE	12183	AA 0322316	1 DRUM	USD 45	USD 45.00	IDR 607,500
3	19/01/2016	LATEX	4053	AA 0322318	1 DRUM	USD 63	USD 63.00	IDR 850,500
TOTAL							USD 368.00	IDR 4,968,000
NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	TOTAL PRICE (IDR)
1	1/28/2016	BONDING SLUDGE	2027	AA 0322032	2.28 TON	USD 207	USD 471.96	IDR 6,371,460
2	1/28/2016	COOLANT	2017	AA 0322318	3 DRUM	USD 66	USD 198.00	IDR 2,673,000

PENGAMBILAN LIMBAH CHEMICAL : TENANG JAYA SEJAHTERA, PT

NO.	DATE	ITEM	PROFILE	MANIFEST	QTY	PRICE	TOTAL PRICE	NOTE
1	11/01/2016	MINYAK KOTOR/SLOP OIL		RP 0073701	16 DRUM	IDR 125,000	IDR 2,000,000	
2	11/01/2016	SOLVENT BEKAS		RP 0073702	4 DRUM	IDR 75,000	IDR 300,000	
3	11/01/2017	BIAYA TRANSPORT			1 LOT	IDR 750,000	IDR 750,000	
TOTAL							IDR 3,050,000	
TAX							IDR 305,000	
GRAND TOTAL							IDR 3,355,000	

BAYAR KE PPLI, PT

DATA TAGIHAN PERBULAN

BULAN	TOTAL	TOTAL
1	USD 3,398.10	IDR 45,874,323
2	USD -	IDR -
3	USD -	IDR -
4	USD -	IDR -
5	USD -	IDR -
6	USD -	IDR -
7	USD -	IDR -
8	USD -	IDR -
9	USD -	IDR -
10	USD -	IDR -
11	USD -	IDR -
12	USD -	IDR -
TOTAL	USD 3,398.10	IDR 45,874,323

BAYAR KE TENANG JAYA SEJAHTERA, PT

DATA TAGIHAN PERBULAN

BULAN	TOTAL
1	IDR 3,355,000
2	IDR -
3	IDR -
4	IDR -
5	IDR -
6	IDR -
7	IDR -
8	IDR -
9	IDR -
10	IDR -
11	IDR -
12	IDR -
TOTAL	IDR 3,355,000

Sumber : Data Primer

3.11 Penilaian Kepatuhan Peraturan Lingkungan

Tabel 3.6 Penilaian Kepatuhan Peraturan Lingkungan

No	Poin Pemeriksaan	Dept / Sect													
		Stam ping	Surfac e Treat ment	Rub ber	Sprin g	Prod. 1-2	Prod. 3-4	Manu factur e	Maint enanc e	QC	Gener al Affair s	Desig n	PPC	Purch ase	Other s
PENGELOLAAN LIMBAH B3															
PP No. 18 jo PP No. 85 tahun 1999															
KepKa Bapedal No. Kep-01/BAPEDAL/09/1995															
KepKa Bapedal No. Kep-02/BAPEDAL/09/1995															
KepKa Bapedal No. Kep-05/BAPEDAL/09/1995															
1	Tempat limbah/sampah memiliki identitas pembeda yang jelas antara tempat sampah B3 dan Non B3.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5
2	Limbah dibuang sesuai dengan jenisnya pada tempat sampah yang sudah diberi identitas (tidak dicampur antara limbah B3 dan Non B3).	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	Tempat sampah/Drum kemasan limbah B3 dalam kondisi baik (tidak rusak, tidak bocor dan tidak berkarat).	5	5			5		5	5	5	5				
4	Limbah B3 yang tidak saling cocok disimpan terpisah (tidak dalam satu kemasan).		3								5				
5	Limbah B3 cair tidak diisi penuh ke dalam drum (diisi ± 90 % dari kapasitas kemasan).	5	5			5		5	5	5	5				
6	Drum kemasan limbah B3 selalu dalam keadaan tertutup.	5	5			5		5	5	5	5				
7	Kemasan limbah B3 dilengkapi dengan simbol limbah yang sesuai (mudah terbakar / beracun / korosif).	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
8	Simbol pada kemasan limbah B3 berukuran 10 x 10 cm.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
9	Tempat Pembuangan Akhir (TPA) limbah cair dan padat B3 telah dilengkapi dengan simbol limbah yang sesuai (berbahaya / beracun / korosif / mudah terbakar) dan dalam kondisi bagus (tidak rusak).										5				
10	Simbol pada TPA berukuran 25 x 25 cm.										5				
11	Kemasan yang kosong dan telah dibersihkan untuk digunakan kembali, disimpan di tempat penyimpanan limbah B3 dan dipasang stiker "KOSONG".		5								5				
12	Tempat penyimpanan limbah B3 (TPS) memiliki kondisi : - Bebas banjir dan terlindung dari hujan secara langsung maupun tidak langsung - Memiliki sirkulasi udara yang baik - Terpisah (tidak tercampur) dengan barang-barang lain										5				

13	Limbah B3 disimpan paling lama 90 hari sebelum dibuang (periksa berdasarkan manifest pembuangan terakhir), form pembuangan limbah informatif											5				
14	Limbah B3 diserahkan kepada pengolah atau penimbun limbah B3 yang mempunyai ijin (cek ketersediaan ijin)											5				
15	Setiap pembuangan limbah B3 dilengkapi dengan dokumen pembuangan limbah B3 (manifest)											5				
16	GA membuat catatan / rangkuman jumlah dan waktu limbah B3 yang dihasilkan											5				
17	Tersedia peralatan di TPA bila terjadi tumpahan limbah B3 atau kebakaran karena limbah B3.											5				
POINT CHECK TAMBAHAN																
18	;-Tumpahan dan ceceran limbah B3 yang terjadi segera dibersihkan, dan dibuang pada limbah B3 '- Tidak terdapat kondisi yang berpotensi menyebabkan tumpahan/ceceran	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
19	Pekerja yang menangani ceceran / tumpahan limbah B3 menggunakan APD	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		5	
20	Peralatan tanggap darurat pada TPA B3 cair dicek secara rutin, tidak ada potensi yang merusak alat tanggap darurat											5				
21	Kendaraan yang digunakan untuk mengangkut limbah adalah kendaraan yang terdaftar di dalam surat ijin											5				
22	Dilakukan pengelolaan limbah cair yang dihasilkan perusahaan dan parameter pengukuran terpenuhi (PH sesuai dengan Standard)		5													
23	Air pada Sampling Tank WWT jernih dan tidak terdapat kotoran pada permukaan air.		5													
24	Limbah kaleng bertekanan (kaleng WD-40, Silicon, dll.) dilakukan pelubangan sebelum dibuang ke tempat sampah B3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5				
Rata-rata		5	4.857	5	5	5	5	5	5	5	5	4.91	5	5	5	5

Note :

Others : Education, Personnel, Fin&Acct, System, Sales & Marketing, Project Unit

Nilai hasil pemeriksaan :

1 = Bila belum dilaksanakan sama sekali di seluruh area

3 = Bila telah dilaksanakan namun belum dilaksanakan di seluruh area, atau masih ada yang belum dilaksanakan sesuai aturan

5 = Bila telah dilaksanakan sesuai dengan aturan di seluruh area

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses Pengelolaan Limbah B3 di PT. NOK sudah mengacu pada Peraturan Pemerintah RI nomor 18 tahun 1999 Juncto Peraturan Pemerintah RI nomor 85 tahun 1999, Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 1 tahun 1995, Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 2 tahun 1995 dan Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 5 tahun 1995.
2. Nilai Kepatuhan terhadap peraturan pemerintah dalam pengelolaan limbah B3 tiap section yaitu Section dengan nilai tertinggi (Nilai 5): 5.00 (QCI, PUR ,PPC, MCS, SPR, GA-1, MNF, DES, RUB, BON, MTN), Section dengan nilai kurang dari 5: 4.91 (GA-2); Section dengan nilai kurang dari 5 & terendah 4.86 (SURF).
3. Biaya Pengelolaan limbah B3 di PT. NOK Indonesia setiap bulan cukup besar, Adapun biaya pengelolaan limbah B3 pada bulan januari 2016 sebesar Rp 49.229.323,00 dengan rincian Pembayaran ke PT. PPLI sebesar Rp 45.874.323,00 dan pembayaran ke PT. Tenang Jaya sebesar Rp 3.355.000,00.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adriana, A. Pudja. 2013. *Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan PT. NOK Indonesia*. Bekasi.
- Kusumaatmadja, S. 1995. *Keputusan Kepala BAPEDAL*. Jakarta.
- Purwanto, A. Tri. 2000. *Perangkat Manajemen Lingkungan*. Jakarta.
- Syafrudin, C. R. 2010. *Penerapan Pengelolaan Limbah B3 di PT. Toyota Motor*. Semarang.
- Yudhoyono, Susilo Bambang. 2014. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 101*. Jakarta.

HUBUNGAN ANTARA PAPARAN KEBISINGAN DENGAN TINGKAT STRES KERJA DI BAGIAN FILLING DI DANONE DAIRY INDONESIA (IKSM)

Dadi Karmadi¹⁾, Agustina Kusumahari²⁾

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

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

e-mail : sayadadi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kebisingan mempunyai pengaruh terhadap tenaga kerja. Untuk beberapa orang yang rentan, kebisingan dapat menyebabkan rasa pusing, kantuk, sakit, tekanan darah tinggi, tegang dan stres yang diikuti dengan sakit maag, kesulitan tidur. Kebisingan yang terjadi di PT Danone Dairy Indonesia pada bagian *Filling* berasal dari mesin *filling* yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan stres kerja dengan paparan kebisingan NAB mesin *filling* yang dirasakan oleh para pekerja di bagian *filling*, gambaran dari faktor-faktor pekerja (Usia, Masa kerja, pendidikan) pada karyawan *filling* dan hubungan intristik dalam pekerjaan (beban kerja, rutinitas dan kebisingan) dengan stres kerja pada pekerja di bagian *filling* PT Danone Dairy Indonesia. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian survei analitik dengan jenis design penelitian yang digunakan adalah design penelitian *cross sectional*. Hasil uji Statistik Korelasi Non parametrik Kolmogorov-Smirnov menunjukkan nilai $D = 0,0165 < K (\text{Asymp.Sig}) = 0,624$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 95%, data dari 4 tingkat kebisingan Mesin *filling* (dalam skor/nilai) dan stres kerja yang diambil dari populasi yang berdistribusi normal (Ada hubungan yang signifikan antara NAB pada mesin *filling* dengan stres kerja. Besarnya paparan kebisingan terhadap stres kerja di bagian *Filling* PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah 62,4%. Intensitas kebisingan rata-rata dibagian *filling* PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah 91 dBA, dengan intensitas kebisingan tertinggi sebesar 101 dBA di mesin *filling* 4 dan Intensitas terendah 81 dBA di mesin *filling* 1. Penilaian stres kerja dibagian *filling* PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah stres ringan sebesar 67,50% , stres sedang 25% dan stres berat sebesar 7,50%.

Kata Kunci: kebisingan, stress kerja, filling, danone

I. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi maju yang sangat pesat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia secara luas. Penggunaan teknologi maju pada era industrialisasi ditandai dengan adanya proses mekanisasi, elektrifikasi dan modernisasi serta transformasi globalisasi. Dalam keadaan demikian penggunaan mesin-mesin, instalasi mesin dan bahan baku berbahaya terus meningkat sesuai kebutuhan industrialisasi. Hal tersebut selain dapat memberikan kemudahan bagi suatu proses produksi, tentunya efek samping yang tidak dapat dielakkan lagi adalah bertambahnya jumlah dan ragam sumber bahaya bagi pengguna teknologi itu sendiri. Sehingga tanpa disertai pengendalian yang tepat akan dapat merugikan manusia itu sendiri. Disamping itu, faktor lingkungan kerja yang tidak memenuhi syarat Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), proses kerja tidak aman dan sistem kerja semakin kompleks dan modern dapat menjadi ancaman tersendiri bagi keselamatan dan kesehatan kerja tenaga kerja (Tarwaka, 2008).

Apabila suatu tenaga kerja mendapatkan pekerjaan yang tidak sesuai dengan kemampuannya atau tidak dapat dikerjakan maka akan menimbulkan masalah tersendiri yang dapat menyebabkan stres kerja.

Terjadinya stres yang diakibatkan oleh setiap pekerjaan tidak boleh dipandang remeh. Terbukti bahwa stres kerja yang tidak ditangani dengan baik telah banyak menimbulkan dampak negatif yang bersifat merugikan, baik terhadap individu pekerja maupun terhadap perusahaan sehingga pencapaian kinerja/ produktivitas kerja tiap individu dapat menurun atau meningkat (Tarwaka, 2010).

Di Indonesia intensitas kebisingan yang disepakati sebagai pedoman bagi perlindungan alat pendengaran agar tidak kehilangan daya dengar untuk pemaparan 8 jam sehari dan 5 hari kerja 40 jam kerja seminggu adalah 85dB(A) (Suma'mur, 2009). Kebisingan mempunyai pengaruh terhadap tenaga kerja. Untuk beberapa orang yang rentan, kebisingan dapat menyebabkan rasa pusing, kantuk, sakit, tekanan darah tinggi, tegang dan stres yang diikuti dengan sakit maag, kesulitan tidur (Anizar, 2009).

Kebisingan yang terjadi di PT Danone Dairy Indonesia pada bagian *Filling* berasal dari mesin *filling* yang digunakan. Terdapat 4 mesin/line, dimana setiap operator, helper dan QC in Line bertanggung jawab atas 1 mesin dan 1 orang leader di setiap shift. Tenaga kerja

bekerja selama 8 jam dalam 1 hari istirahat 30 menit dan longshift 12 jam selama 2 hari dan libur 1 hari. Total pekerja yang ada dibagian Filling berjumlah 40 orang dalam 1 hari. Terdapat keluhan dari tenaga kerja yang mengalami pusing, mual, cepat lelah, kurang konsentrasi, dan susah tidur yang merupakan gejala terjadinya stress kerja. Kebisingan dibagian *Filling* berasal dari mesin *filling* yang digunakan. Terdapat 4 mesin/line, dimana setiap operator, helper dan QC in Line bertanggung jawab atas 1 mesin dan 1 orang leader di setiap shift. Tenaga kerja bekerja selama 8 jam dalam 1 hari istirahat 30 menit dan longshift 12 jam selama 2 hari dan libur 1 hari. Total pekerja yang ada dibagian Filling berjumlah 40 orang dalam 1 hari. Terdapat keluhan dari tenaga kerja yang mengalami pusing, mual, cepat lelah, kurang konsentrasi, dan susah tidur yang merupakan gejala terjadinya stress kerja.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan stres kerja dengan paparan kebisingan NAB mesin filling yang dirasakan oleh para pekerja di bagian filling, gambaran dari faktor-faktor pekerja (Usia, Masa kerja, pendidikan) pada karyawan filling dan hubungan intristik dalam pekerjaan (beban kerja, rutinitas dan kebisingan) dengan stres kerja pada pekerja di bagian filling PT Danone Dairy Indonesia.

II. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dibagian Filling PT. Danone Dairy Indonesia (IKSM), Jl Kranji Blok F5 no 2A Delta Silicon 2 Lippo Cikarang Bekasi 17550.

2.2 Obyek Penelitian

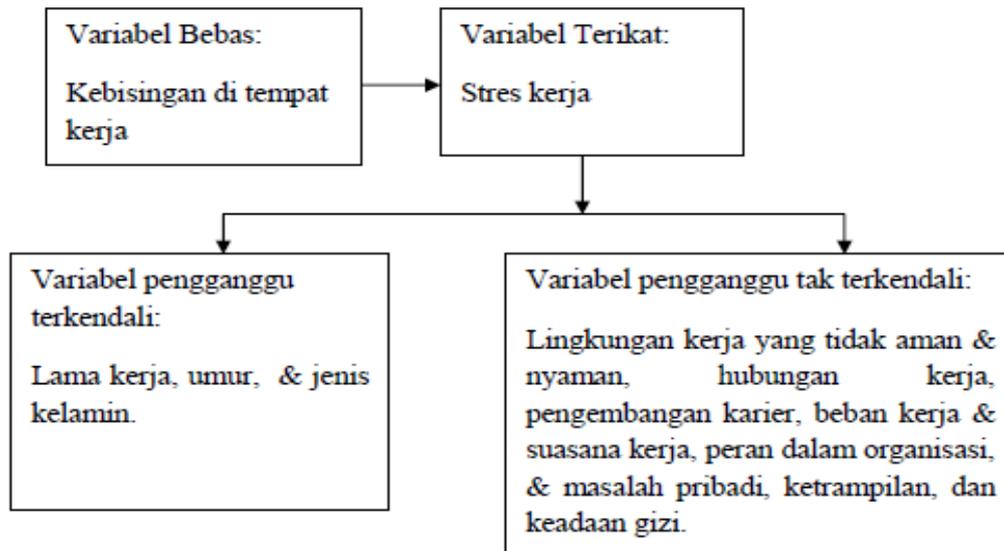
Penelitian ini menggunakan jenis penelitian survei analitik dengan jenis design penelitian yang digunakan adalah design penelitian cross sectional yaitu suatu penelitian yang mempelajari hubungan antara faktor risiko (independent) dengan faktor (dependent), dimana melakukan observasi atau pengukuran variabel sekali dan sekaligus pada waktu yang sama (Riyanto,2011).

2.3 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan terhitung mulai 1 Juni 2015 sampai dengan 26 Desember 2015. Di PT Danone Dairy Indonesia IKSM Jawa Barat- Bekasi.

2.4 Kerangka konsep

Kerangka konsep dalam penelitian digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka Konsep Pemikiran

2.5 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Alat Ukur *Sound Level Meter* RION NA-20 dan alat ukur stres kerja yaitu Kuesioner *HRS-A* (terjemahan dari kuesioner *Hamilton Rating Scale Anxiety*).



Gambar 2. Sound Level Meter

2.6 Pengolahan dan Analisis Data

2.6.1 Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh kemudian dikumpulkan dan diolah sesuai dengan tujuan kerangka konsep penelitian.

2.6.2 Editing

Editing dimaksudkan untuk pengecekan terhadap kelengkapan data yang supaya ada keseragaman. Serta menggunakan aplikasi MS Excel 2007 dan rumus statistic Chi – Square sebagai penghitungan dan pengolahan data.

2.6.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan rumus statistik chi-square (chi-kuadrat) adalah sebaran yang dimiliki oleh suatu statistik bila ragam contoh acak berukuran n ditarik dari populasi normal dengan ragam σ^2 .

3.6.4 Analisis Univariat

Data yang telah diolah kemudian dianalisa secara diskriptif untuk menggambarkan faktor - faktor yang berpengaruh terhadap stres kerja karyawan bagian filling. Hasil analisa disajikan dalam bentuk tabel dan narasi dari variabel-variabel yang diteliti dengan tujuan untuk membuat gambaran suatu kondisi secara obyektif.

2.6.5 Analisis Bivariat

Untuk melihat ada tidaknya hubungan antara sumber kebisingan dengan stres kerja, bahan peralatan dilakukan analisa data dan menggunakan korelasi chi-square.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

3.1.1 Gambaran Umum Perusahaan

PT. Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah pabrik yang memproduksi susu cair UHT. Dalam 1 hari mampu mencapai ± 25.000 kg/ line mesin. Proses produksi Susu UHT cair meliputi proses pemasakan *Fresh Milk* (Susu Segar), Proses *Mixing*, *UHT*, *Filling*, *Pasteurisasi* dan *Packing*. Serta dikontrol oleh tenaga Quality Control dengan memenuhi spesifikasi khusus meliputi analisa fisik dan kimia, analisa *Raw material* (bahan Baku), Analisa *Packaging*, analisa mikrobiologi serta analisa uji kelulusan produk. Agar konsumen merasa yakin bahwa produk yang beli aman untuk dikonsumsi.

Proses dibagian filling beroperasi 24 jam dan terdiri dari 3 shift yaitu shift 1, shift 2 dan shift 3. Shift 1 beroperasi mulai jam 07:00 – 15:00 WIB, Shift 2 beroperasi 15:00 – 23:00 WIB dan Shift 3 beroperasi dari 23:00 – 07:00 WIB.

Bagian Filling adalah bagian yang menghasilkan intensitas kebisingan paling tinggi daripada bagian lain. Kebisingan dibagian Filling dihasilkan oleh mesin filling.

Mesin filling yang dimiliki oleh PT. Danone Dairy Indonesia (IKSM) berjumlah 4 Mesin, dimana setiap operator, Helper dan QC inline bertanggung jawab atas 1 mesin dan 1 orang leader di setiap shift. Tenaga kerja bekerja selama 8 jam dalam 1 hari dan istirahat 30 menit dan longshift 12 jam selama 2 hari dan libur 1 hari. Selama jam kerja tersebut tenaga kerja bekerja dilokasi tersebut dan terpapar oleh kebisingan yang dihasilkan oleh mesin filling.

Beberapa tenaga kerja dibagian filling mengeluh mengalami gejala pusing, mual, cepat lelah, kurang konsentrasi dan susah tidur dimana gejala tersebut merupakan gejala-gejala terjadinya stress kerja. Gejala tersebut dirasa berat terutama di awal tenaga kerja bekerja.

3.1.2 Karakteristik Subjek Penelitian

3.1.2.1 Umur

Dari hasil penelitian, rata-rata umur responden 20 – 41 tahun. Sample yang digunakan dalam penelitian adalah tenaga kerja dengan batasan umur 20 – 41 tahun. Umur minimal responden 20 tahun dan maksimal responden 41 tahun. Pada distribusi umur/usia ini dibagi dalam 3 kategori :

- Muda (21 -27 Tahun)
- Sedang (28 -35 Tahun)
- Tua (36 – 41 Tahun)

Distribusi responden berdasarkan umur pada tenaga kerja dibagian Filling PT. Danone Dairy Indonesia digambarkan pada tabel berikut :

Tabel 1. Distribusi Frekuensi Usia Responden

USIA	FREQUENCY	%
Muda < 27 thn (21 -27 Thn)	11	27,50%
Sedang > 28 thn (28 -35 Tahun)	21	52,50%
Tua > 35 thn (36 – 41 Tahun)	8	20,00%
Summary	40	100,00%

3.1.2.2 Masa Kerja

Dari hasil penelitian rata – rata masa kerja adalah 1 – 11 tahun bekerja. Sampel yang digunakan adalah tenaga kerja dengan masa kerja >1 tahun. Semakin lama seseorang dalam bekerja maka semakin banyak pekerja telah terpapar bahaya yang ditimbulkan oleh lingkungan kerja tersebut (Faisal,1997). Untuk kategori masa kerja dalam penelitian dibagi menjadi 4 kategori diantaranya :

- Masa kerja Baru (1-4 tahun)
- Masa kerja Sedang (6-8 tahun)
- Masa Kerja Lama (9- 11 tahun)

Distribusi responden berdasarkan masa kerja dibagian Filling PT.Danone Dairy Indonesia (IKSM) digambarkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Masa Kerja Responden

MASA KERJA	FREQUENCY	%
Baru<4th (1-4Thn)	11	27,50%
Sedang>5th(6-8th)	16	40,00%
Lama>9th (9-11th)	13	32,50%
Summary	40	100%

3.1.3 Hasil Analisis Paparan Kebisingan di Bagian Filling

Rata-rata kebisingan dibagian filling dalam penelitian ini mencapai 91 dB(A) yang diperoleh dari 4 titik dimana tenaga kerja berada di titik-titik tersebut selama bekerja.

Kebisingan dibagian filling dihasilkan oleh mesin filling. Bising ini dapat dikategorikan kedalam jenis kebisingan menetap, berkelanjutan tanpa putus-putus (Suma'mur, 2009).

Tenaga kerja dibagian filling bekerja selama 8jam/hari sehingga selama bekerja tenaga kerja tersebut terpapar oleh bising yang ditimbulkan dari mesin filling. Berdasarkan keputusan Menteri Tenaga Kerja RI No. 51/MEN/1999 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan adalah 85 dB(A) untuk pemaparan 8 jam/hari atau 40 jam/minggu. Dari hasil pengukuran maka tenaga kerja di bagian filling telah terpapar kebisingan melebihi NAB yang telah ditentukan yaitu mencapai 91 dB(A).

Intensitas kebisingan di bagian filling yang mencapai 91dB(A) menurut KEPMENAKER RI No 52/Men/1999 hanya diperbolehkan untuk waktu pemajanan 2 jam saja. Sedangkan pada kenyataannya tenaga kerja di bagian filling bekerja sampai 8 jam. Tenaga kerja dapat bekerja dibagian filling tersebut selama 8 jam waktu pemajanan tetapi wajib menggunakan alat pelindung telinga. Alat pelindung telinga ini berfungsi untuk menurunkan tingkat kebisingan yang mencapai alat pendengar. Alat pelindung telinga dapat berupa *ear plug*, *ear muff* yang mampu menurunkan kebisingan 25-40 dB(A) (Annizar , 2009).

Selama ini PT. Danone Dairy Indonesia (IKSM) sudah menyediakan *ear plug* dan *ear muff* bagi masing-masing tenaga kerja yang bekerja di bagian *filling* untuk digunakan saat bekerja didalam ruangan filling. Hal tersebut sudah mampu mengurangi intensitas kebisingan yang diterima oleh tenaga kerja secara maksimal.

Pengendalian yang lebih efektif adalah pengendalian secara teknis yang dilakukan terhadap sumber kebisingan. Penger yang dapat dilakukan terhadap intensitas kebisingan yang melebihi NAB dibagian filling PT. Danone Dairy Indonesia antara lain dengan memberi peredam pada bagian mesin filling sehingga intensitas kebisingan yang dihasilkan tidak terlalu tinggi, pemasangan peredam berupa bantalan karet pada mesin filling dibagian rotary mesin atau melapisi dinding dengan busa, plafond dan lantai dengan bahan yang dapat menyerap suara. Memakai alat pelindung telinga merupakan cara terakhir yang harus dilakukan, apabila cara lain tidak mungkin atau sulit untuk dilaksanakan (Soeripto, 2008).

Berdasarkan tabel dan grafik distribusi kebisingan di mesin *Filling* didapatkan 11 karyawan bekerja di mesin *filling* 1 dengan intensitas kebisingan 81 dBA, 11 Karyawan di

mesin *filling* 2 dengan intensitas kebisingan 83dBA, 8 Karyawan bekerja di mesin *filling* 3 dengan intensitas kebisingan 97 dBA dan 10 karyawan bekerja di mesin *filling* 40 dengan intensitas kebisingan 101 dBA.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Intensitas Kebisingan

MESIN FILLING	NAB	KARYAWAN
MESIN 1	81	11
MESIN 2	83	11
MESIN 3	97	8
MESIN 4	101	10
TOTAL	91	40

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas kebisingan di area filling PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) intensitas kebisingan paling rendah adalah 81 dB(A) di mesin filling 1 dan paling tinggi 101dB(A) di mesin filling 4. Rata-rata intensitas kebisingan di bagian filling PT Danone Dairy Indonesia IKSM adalah 91 dB(A).

3.1.3.1 Analisis Stres Kerja

Pengukuran stres kerja dilakukan dengan menggunakan kuisisioner HRSA (*Hamilton Rating Scale Anxiety*) terdiri dari 14 kelompok gejala untuk mengukur kecemasan fisik (agitasi mental dan distress psikologi) dan kecemasan somatic (keluhan fisik). Dari hasil penelitian terhadap stres kerja pada 40 tenaga kerja sebagai sample di bagian Filling PT Danone Dairy Indonesia IKSM yaitu tenaga kerja mengalami 3 keluhan tentang dampak kebisingan terhadap kesehatan para tenaga kerja, keluhan tersebut diantaranya adalah : terdapat Keluhan dengan gejala ringan, keluhan dengan gejala sedang dan keluhan dengan gejala berat.

Tabel 4. Distribusi Penilaian Stres Kerja

Tingkat Stres	Frequency	%
Stres ringan	27	67,50%
Stres sedang	10	25,00%
Stres Berat	3	7,50%
Summary	40	100%

3.1.3.2 Analisa Bivarivat

Tabel 5. Hubungan Antara Nilai Kebisingan Pada Mesin dengan Stress Kerja

Jenis Mesin Filling dengan NAB Kebisingan	Kriteria Stres Kerja						P Value
	Ringan		Sedang		Berat		
	Frekuensi	%	Frekuensi	%	Frekuensi	%	
Filling 1 (81 dBA)	9	22.50%	2	5.00%	0	0.00%	0.001
Filling 2 (83 dBA)	9	22.50%	1	2.50%	1	2.50%	
Filling 3 (97 dBA)	4	10.00%	4	10.00%	0	0.00%	
Filling 4 (101 dBA)	5	12.50%	3	7.50%	2	5.00%	

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat dari 40 pekerja di bagian filling terdapat:

- Mesin filling 1 dengan NAB 81 dBA didapat stres ringan sebanyak 9 responden (22,50%), stres sedang 2 responden (5%), dan Stres berat dengan responden 0
- Mesin Filling 2 dengan NAB 83 dBA, didapat stres ringan sebanyak 9 responden (22,50%), stres sedang 1 responden (2,50%) dan stres berat 1 responden (2,50%)
- Mesin Filling 3 dengan NAB 97 dBA, didapat 4 responden(10%) stres ringan , stres sedang 4 responden (10%) dan 0 responden di stres berat.
- Mesin filling 4 dengan NAB 101 dBA , didapat 5 respon (12,50%) stres ringan, 3 responden (7,50%) stres sedang dan 2 responden (5%) stress berat.

3.1.4 Hubungan Antara Kebisingan Dengan Stres Kerja Dengan Menggunakan Rumus Uji Statistik Non Parametrik Kolmogorov-Smirnov

Hasil uji Statistik Korelasi Non parametrik Kolmogorov-Smirnov menunjukkan nilai $D = 0,0165 < K(\text{Asymp.Sig}) = 0,624$; dengan tingkat kepercayaan 95% dapat disimpulkan bahwa

data dari 4 tingkat kebisingan Mesin filling (dalam skor/nilai) dan stres kerja yang diambil dari populasi yang berdistribusi normal (Ada hubungan yang signifikan antara NAB pada mesin filling dengan stress kerja).

3.2 Pembahasan

3.2.1 Intensitas Kebisingan

Kebisingan adalah salah satu faktor fisik berupa bunyi yang dapat menimbulkan akibat buruk bagi kesehatan dan keselamatan kerja. Sedangkan dalam keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia “ Bising adalah semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat produksi dan atau alat-alat kerjayang pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran”. Dari kedua definisi diatas dapat disimpulkan bahwa kebisingan adalah semua bunyi atau suara yang tidak dikehendaki yang dapat mengganggu kesehatan dan keselamatan. (Anizar, 2009).

Intensitas kebisingan diartikan sebagai bunyi yang tidak dikehendaki karena tidak sesuai dengan konteks ruang dan waktu sehingga dapat menimbulkan gangguan terhadap kenyamanan dan kesehatan manusia (John Ridley, 2006).

3.2.1.1 Mekanisme Bising Pada Telinga

Telinga adalah organ halus yang mampu mendeteksi rentang bunyi yang luas (John Ridley, 2006). Telinga juga merupakan alat penerima gelombang suara atau gelombang udara kemudian gelombang mekanik ini diubah menjadi pulsa listrik dan diteruskan ke korteks pendengar melalui syaraf pendengaran (Syarifuddin, 1997).

Berdasarkan data yang di peroleh dari penelitian di mesin filling 1 NAB sebesar 81 dBA, Mesin Filling 2 83 dBA, Mesin filling 3 97 dBA, mesin filling 4 101 dBA. Nilai rata-rata NAB dari mesin filling 1 sampai 4 diperoleh data 91 dBA. untuk tingkat bising mesin filling 1 dan filling 2 dikategorikan tidak bising karena masih di bawah nilai NAB yaitu < 85 dBA, sedangkan untuk kategori mesin filling 3 dan 4 dikategorikan kedalam area mesin Bising karena NAB nya diatas 85 dBA.

3.2.1.2 Mekanisme Terjadinya Stres Kerja Karena Kebisingan

Bising berpengaruh terhadap masyarakat terutama masyarakat pekerja yang terpapar bising, sehingga dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan secara

umum, antara lain gangguan pendengaran, gangguan fisiologi lain serta gangguan psikologi. (Tarwaka, 2010)

Gangguan fisiologi dapat berupa peningkatan tekanan darah, percepatan denyut nadi, peningkatan metabolisme, vasokonstriksi pembuluh darah, penurunan peristaltik usus serta peningkatan ketegangan otot. Efek fisiologi tersebut disebabkan oleh peningkatan rangsang sistem saraf otonom. Keadaan ini sebenarnya merupakan mekanisme pertahanan tubuh terhadap keadaan bahaya yang terjadi secara spontan. Gangguan psikologi dapat bertambah apabila bunyi tersebut tidak diinginkan dan mengganggu, sehingga menimbulkan perasaan tidak menyenangkan dan melelahkan. (Tarwaka, 2010)

Hal tersebut diatas dapat menimbulkan gangguan sulit tidur, emosional, gangguan komunikasi dan gangguan konsentrasi yang secara tidak langsung dapat membahayakan keselamatan. Paparan bising yang berlebih dapat juga menurunkan gairah kerja dan performansi kerja karyawan. Sehingga dapat meningkatkan angka kemangkiran yang dapat berpengaruh pada tingkat produktivitas industri. Selain hal tersebut diatas, kebisingan juga mengakibatkan stres pada bagian tubuh yang lain, yang mengakibatkan sekresi hormon abnormal dan tekanan pada otot. (Roestam A.W, 2003).

3.2.2 Tingkat Stres Pekerja

Berdasarkan hasil penelitian pada mesin filling 1 dan filling 2 dikategorikan kondisi tidak bising dengan intensitas NAB <85 dBA terdapat 18 responden mengalami stres ringan 25%, 3 responden atau 7,5% mengalami stres ringan dan 1 Responden atau 2,5% mengalami stres berat.

Sedangkan untuk kategori mesin kondisi bising dengan intensitas NAB > 85dBA didapati 9 responden atau 2,5% mengalami stres ringan, & responden atau 7,5% mengalami stres sedang dan 2 responden atau 5% mengalami stres berat.

Hal ini membuktikan bahwa bekerja di kondisi area bising ada hubungannya dengan tingkat stres kerja para karyawan di bagian mesin filling. Hal tersebut tidak hanya di picu dari faktor mesin, tetapi ada juga faktor lain seperti usia, masa kerja dan emosional di masing-masing individu (Roestam A.W, 2003).

Dalam hal ini karyawan yang rentan terhadap peningkatan stres kerja adalah karyawan yang bekerja di area mesin filling 3 (87 dBA) dan 4 (101 dBA), yang memiliki intensitas kebisingan >85dBA. Berdasarkan Keputusan Menteri tenaga Kerja RI No 51/MEN/1999 Tentang Ambang Batas Fisika disebutkan bahwa Nilai Ambang Batas (NAB) kebisingan adalah 85 dBA untuk pemaparan 8 jam/hari atau 40 jam/ minggu. Dari hasil pengamatan maka tenaga kerja telah terpapar kebisingan melebihi NAB yang telah ditentukan yaitu 97 dan 101 dBA (KEPMEN RI NO 51/MEN/1999)

3.2.3 Hubungan Intensitas Kebisingan dengan Tingkat Stres Kerja

Berdasarkan hasil penelitian hubungan intensitas kebisingan dengan tingkat stres kerja menggunakan uji chi Square didapatkan nilai p Value $0,0165 < \alpha 0,05$ Dengan tingkat kepercayaan 95% Dapat disimpulkan, bahwa data dari 4 tingkat kebisingan Mesin filling (dalam skor / nilai) dan stres kerja yang diambil dari populasi yang berdistribusi normal (Ada hubungan yang signifikan antara NAB pada mesin filling dengan stress kerja). Bising ini dapat dikategorikan sebagai bising menetap dan berkelanjutan tanpa putus-putus (Suma'mur, 2009)

Perusahaan telah melakukan berbagai upaya guna mencegah dampak buruk yang dihasilkan oleh intensitas kebisingan di tempat kerja yaitu dengan meningkatkan kesadaran yang tinggi terhadap penerapan peraturan SMK3 di tempat kerja, karena peraturan ini dirancang selain untuk meningkatkan tingkat produktivitas pegawai namun juga untuk menjaga kesehatan dan keselamatan kerja pegawai. Selain itu, Perusahaan juga dapat memberikan sedikit hiburan pada pegawai seperti dengan mengadakan rekreasi untuk menghilangkan rasa jenuh dan bosan selama bekerja di lingkungan kerja sehingga dapat mengurangi risiko stres kerja.

Tabel 6. Tabel komparasi Standar Kepmenaker dengan hasil penelitian

No	Mesin	Kepmenaker No.Kep-51/MEN/1999		Hasil Penelitian		Keterangan	Pengendalian
		Tingkat NAB dBA	Pemaparan harian (waktu)	Hasil dBA	Lama Paparan		
1	Filling 1	82	16 jam	81	8 jam	Dalam batas Normal sesuai dengan aturan KEPMENAKERNo.Kep-51/MEN/1999	1.Pengoperasian alat sesuai dengan kemampuan mesin 2.Merawat mesin secara teratur 3.Rotasi pekerjaan 4.pelatihan dan pendidikan 5.Pemeriksaan kesehatan 6.Pemantauan lingkungan kerja (pengukuran intensitas kebisingan) 7. Alat Pelindung Diri *Pengendalian bisung dari Standart ISO 22000 Machinery enclosure yang terdiri dari: transmision los material, damping material, absorbent material, vibration isolator, mufflers dan sealents
2	Filling 2	83,3	12 jam	83	8 jam	Dalam batas Normal sesuai dengan aturan KEPMENAKERNo.Kep-51/MEN/1999	
3	Filling 3	97	50 menit	97	8 jam	Melebihi batas normal aturan KEPMENAKERNo.Kep-51/MEN/1999	
4	Filling 4	100	15 menit	101	8 jam	Melebihi batas normal aturan KEPMENAKERNo.Kep-51/MEN/1999	

IV. KESIMPULAN

1. Hasil uji Statistik Korelasi Non parametrik Kolmogorov-Smirnov menunjukkan nilai $D = 0,0165 < K(\text{Asymp.Sig}) = 0,624$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan tingkat kepercayaan 95%, data dari 4 tingkat kebisingan Mesin filling (dalam skor/nilai) dan stres kerja yang diambil dari populasi yang berdistribusi normal (Ada hubungan yang signifikan antara NAB pada mesin filling dengan stres kerja. Besarnya paparan kebisingan terhadap stres kerja di bagian Filling PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah 62,4%.
2. Intensitas kebisingan rata-rata dibagian filling PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah 91 dBA, dengan intensitas kebisingan tertinggi sebesar 101 dBA di mesin filling 4 dan Intensitas terendah 81 dBA di mesin filling 1.
3. Penilaian stres kerja dibagian filling PT Danone Dairy Indonesia (IKSM) adalah stres ringan sebesar 67,50% , stres sedang 25% dan stres berat sebesar 7,50%.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Anizar. 2009. *Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja Di Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Faisal Y. 1997. *Dampak Debu Industri pada paru dan Pengendaliannya*, Jurnal Respiratory Indonesia, 17(1).
- Jhon Ridley. 2006. *Iktisar Kesehatan dan Keselamatan Kerja*, Jakarta : Penerbit Erlangga

Keputusan Menteri Tenaga Kerja No.51. 1999. *Nilai Ambang Batas Faktor Fisik di Tempat Kerja*. Jakarta

Roestam A.W. 2003. *Pelatihan Aplikasi Ergonomi untuk Produktivitas*. Jakarta: Ilmu Kedokteran Komunitas. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.

Riyanto A. 2011. *Aplikasi Metodologi Penelitian Kesehatan*. Yogyakarta : Nuha Medika.

Suma'mur P.K. 2009. *Higiene Perusahaan Dan Keselamatan Kerja (Hiperkes)*. Jakarta :CV Sagung Seto.

Tarwaka. 2010. *Ergonomi Industri Dasar-dasar Pengetahuan ergonomi dan Aplikasi di tempat Kerja*. Surakarta : Harapan Press

Tarwaka. 2008. *Manajemen dan Implementasi K3 di tempat Kerja*. Surakarta: Harapan Press.

**MODIFIKASI BAK FLOKULATOR, STUDI KASUS PADA WATER TREATMENT PLANT (WTP)
KAWASAN INDUSTRI JABABEKA, CIKARANG, BEKASI**

*MODIFICATION OF FLOCCULATOR BASIN AT WATER TREATMENT PLANT (WTP), A CASE
STUDY IN JABABEKA INDUSTRIAL ESTATE, CIKARANG, BEKASI*

Aris Dwi Cahyanto

Dosen Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Pelita Bangsa

e-mail : arisdwicahyanto@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this research is to modify flocculator basin at Water Treatment Plant (WTP) because the capacity of WTP was increased, to find the design alternative of flocculator basin, and to get the best alternative of flocculation basin. The process runs through several stages : analyzing existing flocculator basin, and then researcher modifies dimentions and types of flocculator. These alternatives are the mechanical and hydraulic flocculators. To get the best flocculator basin, researcher makes eksponential comparison method. Result of research show that flocculator must modify because of increasing capacity. There are six alternatives of flocculator basin. They are the three compartment mechanical flocculator 100 and 200 lps, the horizontal baffle channel flocculator 100 and 200 lps, and the vertical baffle channel flocculator 100 and 200 lps. The best flocculator basin is three compartment mechanical flocculator 200 lps.

Keywords : flocculator, alternative.

RINGKASAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk modifikasi bak flokulator, di Water Treatment Plant (WTP) karena perubahan kapasitas, mencari alternatif desain bak flokulator, dan memilih alternatif terbaik bak flokulator. Untuk mencapai tujuan penelitian, penulis menganalisis flokulator eksisting, kemudian memodifikasi dimensi dan tipe flokulator. Alternatif tipe flokulator adalah tipe flokulator mekanis dan hidrolis. Pemilihan alternatif flokulator terbaik menggunakan metoda perbandingan eksponensial (MPE). Hasil dari penelitian ini adalah bahwa modifikasi bak flokulator harus dilakukan untuk mengantisipasi peningkatan kapasitas. Terdapat enam alternatif bak flokulator yaitu flokulator mekanis tiga kompartemen 100 dan 200 lps, flokulator hidrolis bersekat horizontal 100 dan 200 lps, serta flokulator hidrolis bersekat vertikal 100 dan 200 lps. Pemilihan alternatif terbaik didapatkan flokulator mekanis tiga kompartemen 200 lps.

Kata-kata kunci : flokulator, alternatif.

PENDAHULUAN

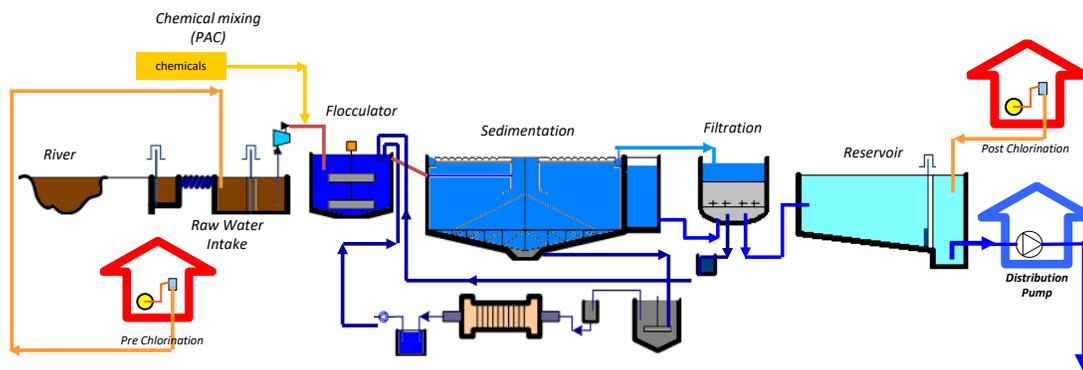
Latar Belakang

Jababeka sebagai salah satu pengelola kawasan industri telah menyediakan *Water Treatment Plant* sebagai sarana pengolahan air bersih untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Pada Gambar 1, ditunjukkan diagram alir *WTP (Water Treatment Plant)* di Kawasan Industri Jababeka. Sumber air baku berasal dari Saluran Induk Tarum Barat. 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 sebagai bahan baku air bersih. Air mengalir secara gravitasi menuju *raw water intake*. Air sungai yang telah ditampung dalam *raw water intake* diberi gas chlor untuk menurunkan kadar organik yang terdapat di dalam air baku (*prechlorinasi*). Dengan menggunakan pompa sentrifugal, air dialirkan dengan menggunakan pipa, menuju unit flokulator. Sebelum menuju flokulator, air diukur dengan meter air yang telah dikalibrasi, kemudian diinjeksi dengan *poly aluminium chloride*. Konsentrasi *poly aluminium chloride* ditentukan dengan menggunakan *jar test*. *Poly aluminium chloride* merupakan salah satu senyawa kimia yang berfungsi untuk membentuk flok. 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 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.

Berkembangnya jumlah industri yang terdapat dalam kawasan, maka berdampak pada peningkatan kapasitas pengolahan air bersih. Secara umum seluruh unit pengolahan air bersih harus dievaluasi untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan air industri. Mulai dari *raw water intake*, *prechlorinasi*, pompa produksi, injeksi bahan kimia, koagulator, flokulator, sedimentasi, filtrasi, reservoir, *post chlorinasi*, pompa distribusi harus dievaluasi. Dalam penelitian ini dibatasi pada unit flokulasi.

Bagaimana perubahan unit flokulasi untuk mengatasi peningkatan kebutuhan air industri. Unit flokulasi eksisting tentunya tidak mencukupi. Unit flokulator eksisting berupa flokulator mekanis dengan satu bak. Apakah perlu dimodifikasi menjadi flokulator mekanis tiga kompartemen atau flokulator hidrolis tiga kompartemen? Perubahan satu unit flokulator mekanis menjadi satu flokulator mekanis tiga kompartemen memerlukan perhitungan desain yang berbeda dengan perubahan satu flokulator mekanis menjadi satu flokulator hidrolis tiga kompartemen.



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

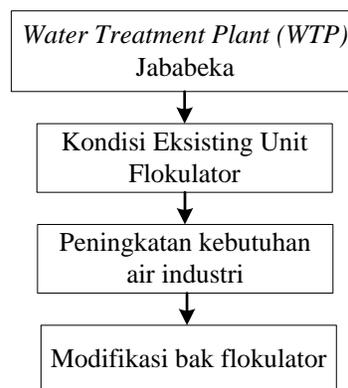
Perumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, timbul pertanyaan mendasar yang perlu dijawab yaitu :

- Bagaimana modifikasi unit flokulator untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan air industri?
- Bagaimana alternatif flokulator?
- Bagaimana pemilihan alternatif flokulator?

Kerangka Pemikiran.

Berdasarkan perumusan masalah, maka dibuat kerangka pemikiran penelitian sebagaimana terdapat dalam Gambar 2. Gambar 2, dapat dijelaskan bahwa *Water Treatment Plant (WTP)* Kawasan Industri Jababeka mempunyai unit operasi, salah satunya yaitu flokulator. Bertambahnya jumlah industri dalam kawasan menyebabkan peningkatan kapasitas WTP. Unit flokulator eksisting tidak mencukupi untuk memenuhi peningkatan kapasitas WTP. Untuk itu flokulator eksisting harus dimodifikasi tentang dimensi, bentuk, tipe.



Gambar 2. Kerangka pemikiran

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

- (1) Modifikasi bak flokulator akibat dari peningkatan kebutuhan air industri.
- (2) Mencari alternatif bak flokulator
- (3) Memilih alternatif bak flokulator

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Qasim SR. et. al., 2002, sumber air baku yang berasal dari air permukaan berisi senyawa terlarut dan suspended solid. Partikel yang berukuran besar seperti misalnya pasir, yang biasa disebut partikel diskrit, dapat dengan mudah dipisahkan dalam proses sedimentasi dan filtrasi. Partikel yang tersuspensi, yang berukuran lebih kecil tidak dapat mengendap dengan mudah. Ada partikel koloid yang dapat dipisahkan dengan dengan proses sedimentasi dan filtrasi, hanya dengan melalui proses kimia terlebih dahulu. Pengkondisian melalui proses kimia untuk partikel koloid disebut koagulasi. Di dalam pembubuhan bahan kimia, juga membutuhkan proses fisika untuk mendapatkan gumpalan koloid yang lebih besar, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan. Pengkondisian secara fisika disebut proses flokulasi. Dalam proses flokulasi pertadap pengadukan untuk membuat akselerasi kontak antar partikel, sehingga aglomerasi partikel koloid menjadi flok yang lebih besar.

Proses koagulasi merupakan proses destabilisasi koloid dan partikel dalam air dengan menggunakan bahan kimia yang menyebabkan pembentukan inti gumpalan. Proses koagulasi hanya akan terbentuk jika dibarengi dengan proses pengadukan. Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok yang lebih besar, dengan proses pengadukan (*mixing*).

Menurut Qasim SR. et. al., 2002, unit flokulasi dibedakan menjadi dua kelompok yaitu : (1) flokulator hidrolis, dan (2) flokulator mekanis. Flokulator hidrolis menggunakan saluran bersekat (*baffles channel*). Flokulator hidrolis menjadi efektif, jika hanya aliran relative konstan. Flokulator hidrolis cocok untuk WTP dengan ukuran medium dan besar. Dalam

flokulator mekanis, terdapat beberapa pengaduk yang dipakai. Tipe pengaduk (*mixer*) dalam bak flokulator adalah *horizontal shaft paddle* dan *vertical shaft paddle*.

Tipikal gradient kecepatan (G) untuk flokulator adalah 15 sampai dengan 60 per detik. Bak flokulator, secara normal didesain menggunakan kompartemen bertingkat secara seri, dengan gradient kecepatan dari rendah ke tinggi. Gradient kecepatan (G) yang tinggi pada kompartemen pertama karena transformasi partikel primer ke partikel flok dengan densitas yang lebih besar. Gradient kecepatan (G) yang lebih rendah pada kompartemen berikutnya, karena untuk membentuk flok yang lebih besar, sehingga lebih mudah mengendap. Gradient kecepatan (G) pada flokulator dihitung dengan persamaan (1).

Jenis pengadukan dikelompokkan berdasarkan kecepatan pengadukan dan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, dikelompokkan menjadi pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Kecepatan pengadukan dinyatakan dengan gradient kecepatan (G), yang merupakan fungsi dari tenaga (P) yang disuplai, dinyatakan dengan persamaan :

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- $G = \text{Gradient_kecepatan}, (dt^{-1})$
- $W = \text{Tenaga_yang_disuplai_per_satuan_volume}, (N - m / dt.m^3)$
- $P = \text{Suplai_tenaga_ke_air}, (N.m / dt)$
- $V = \text{Volume_air_yang_diaduk}, (m^3)$
- $\mu = \text{Viskositas_dinamis}, (N.dt / m^2)$

Besarnya gradient kecepatan (G) akan mempengaruhi waktu pengadukan (td) yang diperlukan. Makin besar nilai G, maka makin kecil nilai td. Bilangan Camp adalah hasil perkalian antara G dan td.

Menurut Qasim SR. et. al., 2002, untuk *paddle-wheel mixer*, tenaga untuk mengaduk air dihitung dengan persamaan :

$$P = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot v^3}{2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$P = \text{Power}_{\text{ yang dibutuhkan, (Watt)}}$

$C_D = \text{Coeffisien}_{\text{ of drag, (Tabel 1)}}$

$A = \text{Luas}_{\text{ penampang paddle, (m}^2\text{)}}$

$v = \text{Kecepatan}_{\text{ relatif paddle terhadap air, (m / dt)}}$

$\rho = \text{Mass}_{\text{ density of fluid, (kg / m}^3\text{)}}$

Kecepatan relative *paddle* terhadap air dengan pendekatan sebesar 75% kecepatan peripheral absolut *paddle*. Kecepatan peripheral absolut rata-rata *paddle* (v) adalah $2 \cdot \pi \cdot n$ (jarak sentral *paddle* ke sentral *shaft*), dimana “ n ” adalah kecepatan rotasi shaft. Kecapatan peripheral *paddle* berkisar 0,4 m/dt untuk alum dan 0,5 m/dt untuk *lime softening flocculation*. Rasio maksimum ke minimum kecepatan rotasi *mixer* berkisar antara 2 dan 4.

Waktu detensi (t_d) flokulator antara 20 sampai 60 menit. Dengan nilai bilangan Camp ($G \cdot t_d$) berkisar antara 10.000 sampai 150.000.

Tabel 1. Coeffisien of Drag

Length-to-Width Ratio (L/W)	C_D
5	1.20
20	1.50
∞	1.90

Sumber : Qasim SR. et. al., 2002

METODA

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian tentang modifikasi bak flokulator bertempat di *Water Treatment Plant (WTP)*, Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi.

Waktu penelitian Agustus sampai dengan Desember 2016.

Alat dan Bahan

Bahan penelitian terdiri dari data primer yang didapat dari pengamatan lapangan, data sekunder yang didapat dari manajemen Jababeka, sedangkan alat penelitian terdiri dari komputer, program *Visio*, program *Excell*.

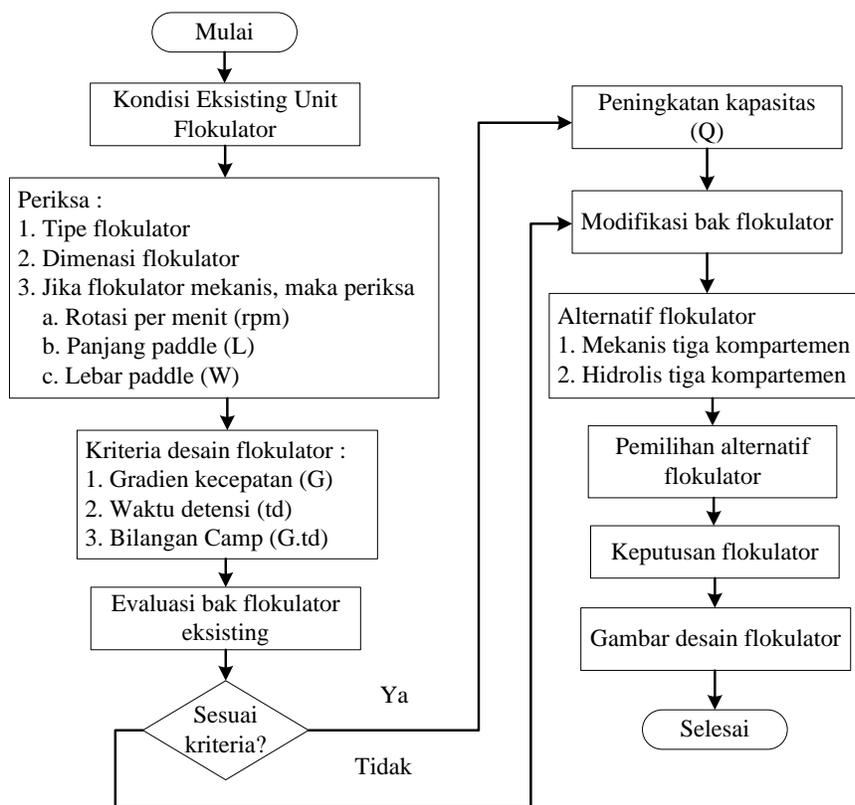
Jenis dan Sumber Data

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 flokulator di WTP KIJA. Dengan mendapatkan dimensi bak flokulator kondisi eksisting, selanjutnya dimodifikasi bak flokulator dengan berbagai alternatif.

Tahapan Penelitian

Sebagaimana terdapat dalam Gambar 3, tahapan penelitian dimulai dengan melakukan pengamatan lapangan pada unit flokulator di *Water Treatment Plant (WTP)*, Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi. Flokulator eksisting diperiksa tipenya, dimensi. Jika tipe flokulator mekanis berbentuk silinder, maka diperiksa diameter silinder, jari-jari silinder, lebar *paddle* (W), panjang *paddle* (L), rotasi per menit (rpm). Selanjutnya flokulator eksisting diperiksa, apakah sesuai dengan kriteria desain? Jika memenuhi kriteria desain, maka dilanjutkan dengan peningkatan kapasitas (Q), dan modifikasi bak flokulator. Pilihan modifikasi adalah (1) flokulator mekanis tiga kompartemen, dan (2) flokulator hidrolis tiga kompartemen. Alternatif pilihan dianalisis dengan metoda pengambilan keputusan, untuk menentukan alternatif flokulator yang terbaik berdasarkan kriteria-kriteria pengambilan keputusan. Setelah diambil alternatif yang flokulator yang terbaik, maka selanjutnya digambar flokulator mekanis tiga kompartemen, yang menjelaskan dimensi flokulator yaitu panjang (P), lebar (L), kedalaman (H), lebar *paddle* (w), panjang *paddle* (l), jumlah *paddle* (n), rotasi per menit (rpm). Sedangkan flokulator hidrolis tiga kompartemen digambar dengan menjelaskan kehilangan tekanan (hL), jumlah sekat pada setiap kompartemen (n), jarak antar sekat (w). Flokulator hidrolis dikelompokkan menjadi (1) flokulator hidrolis horizontal, (2) flokulator hidrolis vertical.



Gambar 3. Tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan lapangan terhadap flokulator eksisting sebagaimana terdapat dalam Gambar 4. Flokulator berbentuk silinder, tipe flokulator mekanis satu kompartemen, diameter (D) = 5 m, jari-jari (r) = 2,5 m, tinggi (H) = 6 m, dengan n = 3 rotasi per menit. Debit yang masuk ke flokulator (Q) sebesar 100 liter per detik (lps).

Kriteria desain waktu detensi (td) menurut Qasim SR. et. al., 2002 berkisar antara 20 sampai 60 menit. Volume bak flokulator eksisting, sebesar

$$V = \pi.r^2.H$$

$$V = \left(\frac{22}{7}\right).2,5^2.6(m^3)$$

$$V = 118(m^3)$$

Waktu bak flokulator, dengan debit (Q) 100 lps, volume 118 m³, sebesar

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

$$t_d = \frac{118(m^3)}{0,1(m^3 / dt)}$$

$$t_d = 1179(dt)$$

$$t_d = 20(menit)$$

Waktu detensi flokulator eksisting 20 menit, maka masih sesuai dengan kriteria desain.

Untuk menghitung rotasi per menit (rpm) flokulator, maka menggunakan persamaan (2)

$$P = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot v^3}{2} \dots\dots\dots (2)$$

Kecepatan relative *paddle* (pengaduk) terhadap air (v) sebesar $\pi \cdot n \cdot d$, dengan “n” putaran relative, dan “d” diameter *paddle* (pengaduk). Kecepatan relative *paddle* terhadap air sebesar 75% kecepatan absolut *paddle*. Persamaan (2) berubah menjadi

$$P = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot v^3}{2}$$

$$P = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot (\pi \cdot n \cdot d)^3}{2} \dots\dots (3)$$

$$P = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot (0,75 \cdot \pi \cdot n_{absolut} \cdot d)^3}{2}$$

$$2 \cdot P = C_D \cdot A \cdot \rho \cdot (0,75 \cdot \pi \cdot n_{absolut} \cdot d)^3$$

$$n_{absolut} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot P}{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot (0,75 \cdot \pi \cdot d)^3}}$$

Dimana :

- $P = Power _ yang _ dibutuhkan, (Watt)$
- $C_D = Coeffisient _ of _ Drag, (Tabel _ 1)$
- $A = Luas _ penampang _ paddle, (m^2)$
- $\rho = Massa _ jenis _ cairan, (kg / m^3)$
- $d = Diameter _ paddle, (m)$
- $n_{absolut} = rpm _ absolut$

Power yang dibutuhkan 29 Watt, untuk perbandingan L/W = 20 maka Cd sebesar 1,5, luas penampang paddle dengan L = 3 m, W = 0,15 m, maka A sebesar

$$A = L_{paddle} \cdot W_{paddle}$$

$$A = 3(m) \cdot 0,15(m)$$

$$A = 0,45(m^2)$$

Flokulator tipe mekanis *paddle* satu kompartemen, diameter silinder (D) 5 m, kedalaman (H) 6 m, putaran *paddle* absolut 3 rpm (0,05 rps), luas penampang *paddle* (A) = 4,5 m², Cd = 1,5, panjang *paddle* (L) = 3 m, lebar *paddle* (W) = 0,15 m, perbandingan L/W *paddle* = 20, $\rho = 998,97 \text{ kg/m}^3$, maka *power* (P) dan gradient kecepatan (G) yang dibutuhkan sebesar

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot A \cdot \rho \cdot (0,75 \cdot \pi \cdot n_{\text{absolut}} \cdot d)^3$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 0,45 \text{ (m}^2\text{)} \cdot 998,7 \text{ (kg / m}^3\text{)} \cdot (0,75 \cdot \pi \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 3)^3$$

$$P = 15 \text{ (Watt)}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}}$$

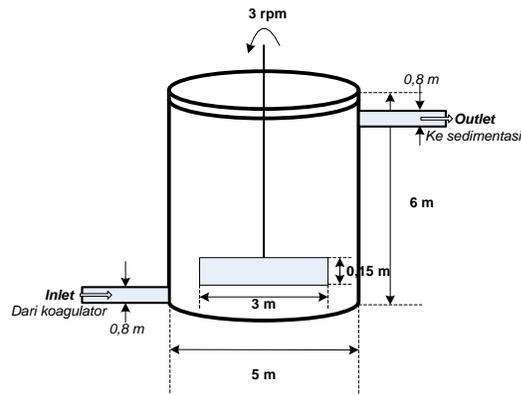
$$G = \sqrt{\frac{15 \text{ (Watt)}}{0,000801 \text{ (m}^2 / \text{dt)} \cdot 118 \text{ (m}^3\text{)}}}$$

$$G = 11 / \text{detik}$$

Menurut Qasim SR. et. al., 2002, gradient kecepatan berisar antara 15 – 60 per detik, jadi masih belum memenuhi kriteria.



(a)



(b)

Gambar 4. Flokulator eksisting

Gambar 4a, menunjukkan bak flokulator eksisting, sedangkan Gambar 4b, menunjukkan sketsa bak flokulator eksisting, tipe mekanis, bentuk silinder, Diameter (D) = 5 m, Kedalaman (H) = 6 m, rotasi per menit = 3. Diameter pipa inlet dan outlet 0,8 m. Hasil evaluasi dengan debit pengolahan 100 lps, dan gradient kecepatan 11/detik, waktu detensi 20 menit, maka flokulator eksisting masih belum memenuhi kriteria desain. Langkah selanjutnya adalah

modifikasi bak flokulator, sekaligus untuk meningkatkan kapasitas. Modifikasi bak flokulator menjadi dua alternatif yaitu (1) flokulator mekanis tiga kompartemen, dan (2) flokulator hidrolis tiga kompartemen. Kapasitas ditingkatkan menjadi 1,5x dan 2x dari kapasitas awal.

Untuk peningkatan kapasitas 1,5x atau sebesar 150 lps. Menurut Qasim SR. et. al., 2002, Gradien kecepatan $G_1 = 45/dt$, $G_2 = 30/dt$ dan $G_3 = 15/dt$. Maka power pada kompartemen pertama (P_1) sebesar

$$P_1 = G_1^2 \cdot \mu \cdot V$$

$$P_1 = (45 / dt)^2 \cdot 0,000801 (m^2 / dt) \cdot \frac{180}{3} (m^3)$$

$$P_1 = 97 (Watt)$$

Power pada kompartemen kedua dan ketiga, P_2 dan P_3 dihitung dengan cara yang sama. Hasil perhitungan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan power pada kompartemen 1, 2, 3

Uraian	Simbol	K1	K2	K3	Satuan
Gradien Kecepatan	G	45	30	15	per detik
Power	P	97	43	11	Watt
Volume total	V total	180	180	180	m ³
waktu detensi	td	20	20	20	menit

Sumber : Hasil perhitungan

Dimensi bak flokulator setiap kompartemen, jika panjang sama dengan lebar, sedangkan kedalaman tiga kali panjang, maka panjang (P), lebar (L) dan kedalaman bak flokulator (H) adalah :

$$V = 3.S^3$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{1}{3}.V}$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{1}{3}.60(m^3)}$$

$$S = 2,71(m)$$

$$\text{Panjang } (P) = 2,71(m)$$

$$\text{Lebar } (L) = 2,71(m)$$

$$\text{Kedalaman } (H) = 3.x.2,71(m)$$

$$\text{Kedalaman } (H) = 8,14(m)$$

Panjang *paddle* (P_{paddle}) sebesar lebar flokulator (L) dikurangi 30% lebar (L), sedangkan lebar *paddle* (L_{paddle}) sebesar P_{paddle} dibagi 20, karena perbandingan P_{paddle} dan L_{paddle} sebesar 20, serta *Coeffisien of Discharge* (C_d) = 1,5.

$$P_{paddle} = L - 0,3L$$

$$P_{paddle} = 0,7.L$$

$$P_{paddle} = 0,7.x.2,71(m)$$

$$P_{paddle} = 1,90(m)$$

$$L_{paddle} = \frac{P_{paddle}}{20}$$

$$L_{paddle} = \frac{1,90(m)}{20}$$

$$L_{paddle} = 0,10(m)$$

$$A_{paddle} = P_{paddle} \cdot L_{paddle}$$

$$A_{paddle} = 1,90(m) \cdot 0,10(m)$$

$$A_{paddle} = 0,1805(m^2)$$

Putaran absolut ($n_{absolut}$) pada kompartemen pertama adalah sebesar

$$n_{absolut_1} = \sqrt[3]{\frac{2.P_1}{C_D \cdot A \cdot \rho \cdot (0,75 \cdot \pi \cdot d)^3}}$$

$$n_{absolut_1} = \sqrt[3]{\frac{2.x.135(Watt)}{1,5.x.0,1805(m^2) \cdot 995,7(kg/m^3) \cdot (0,75.x.3,14.x.1,9)^3}}$$

$$n_{absolut_1} = 0,200(rps)$$

$$n_{absolut_1} = 12(rpm)$$

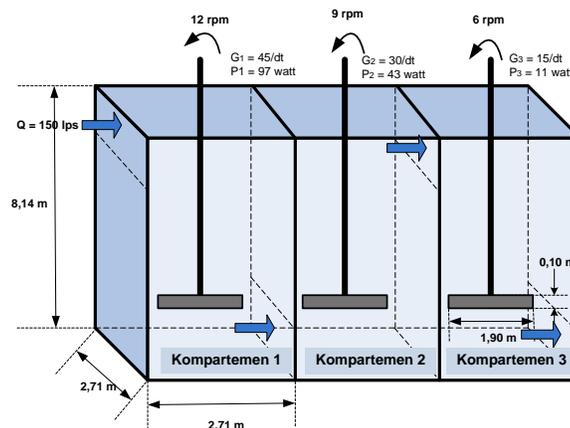
Perhitungan putaran absolut pada kompartemen ke dua dan ke tiga, seperti terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan putaran absolut pada kompartemen 1, 2, 3, Q = 150 lps

Uraian	Simbol	K1	K2	K3	Satuan
Power	P	97	43	11	Watt
Panjang	P	2.71	2.71	2.71	m
Lebar	L	2.71	2.71	2.71	m
Kedalaman	H	8.14	8.14	8.14	m
Panjang <i>paddle</i>	L_{paddle}	1.90	1.90	1.90	m
Lebar <i>paddle</i>	W_{paddle}	0.10	0.10	0.10	m
Panjang/Lebar <i>paddle</i>	L/W	20	20	20	
Massa jenis air	ρ	995.7	995.7	995.7	kg/m ³
<i>Coeffisien of Drag</i>	C_d	1.5	1.5	1.5	
Luas penampang <i>paddle</i>	A	0.180518	0.18052	0.18052	m ²
Putaran absolut	$n_{absolut}$	0.200296	0.15285	0.09629	rps
		12	9	6	rpm

Sumber : Hasil perhitungan

Dari perhitungan pada Tabel 3, kemudian digambar desain bak flokulator tiga kompartemen. Gambar 5, menunjukkan modifikasi bak flokulator dengan kapasitas 150 lps, dimesi bak setiap kompartemen panjang (P) sama dengan lebar (L) bak = 2,71 m, kedalaman (H) = 8,14 m. Panjang *paddle* (P_{paddle}) = 1,90 m, lebar *paddle* (L_{paddle}) = 0,10 m. Pada kompartemen pertama, gradient kecepatan (G_1) = 45/dt, power (P_1) = 97 watt, putaran absolut ($n_{absolut}$) = 12 rpm. Pada kompartemen kedua, gradient kecepatan (G_2) = 30/dt power (P_2) = 43 watt, putaran absolut ($n_{absolut}$) = 9 rpm. Pada kompartemen ketiga, gradient kecepatan (G_3) = 15/dt power (P_3) = 11 watt, putaran absolut ($n_{absolut}$) = 6 rpm.



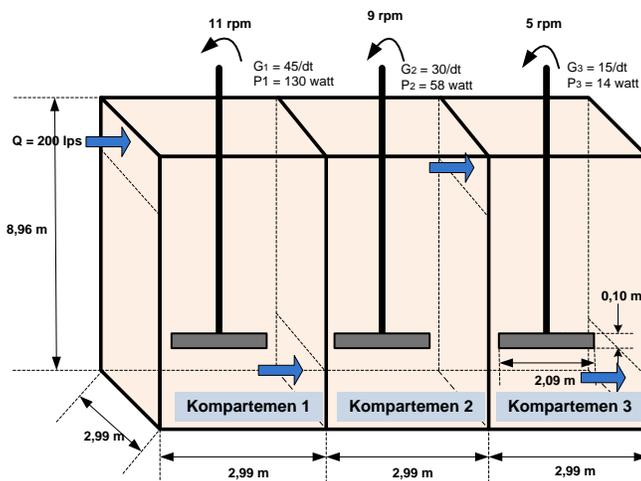
Gambar 5. Flokulator mekanis tiga kompartemen
Sumber : Hasil perhitungan

Apabila kapasitas pengolahan dinaikkan menjadi 2x dari kapasitas awal atau sebesar 200 lps. Maka perhitungan power (P), putaran absolut ($n_{absolut}$) pada kompartemen pertama, kedua dan ketiga terdapat pada Tabel 4, dan Gambar 6 yang menjelaskan modifikasi bak flokulator dengan kapasitas 200 lps

Tabel 4. Perhitungan desain pada kompartemen 1, 2,3 dengan $Q = 200$ lps

Uraian	Simbol	K1	K2	K3	Satuan
Debit	Q	0.2	0.2	0.2	m ³ /dt
Gradien Kecepatan	G	45	30	15	per detik
Power	P	130	58	14	Watt
Volume total	V total	240	240	240	m ³
Waktu detensi	td	20	20	20	menit
Viskositas dinamis	μ	0.000801	0.000801	0.000801	m ² /dt
Panjang	P	2.99	2.99	2.99	m
Lebar	L	2.99	2.99	2.99	m
Kedalaman	H	8.96	8.96	8.96	m
Panjang <i>paddle</i>	L_{paddle}	2.0913	2.0913	2.0913	m
Lebar <i>paddle</i>	W_{paddle}	0.1046	0.1046	0.1046	m
Panjang/Lebar <i>paddle</i>	L/W	20	20	20	
Massa jenis air	ρ	995.7	995.7	995.7	kg/m ³
<i>Coeffisien of Drag</i>	C_d	1.5	1.5	1.5	
Luas penampang <i>paddle</i>	A	0.22	0.22	0.22	m ²
Putaran absolut	$n_{absolut}$	0.1879	0.1434	0.0903	rps
		11	9	5	rpm

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 6. Flokulator mekanis tiga kompartemen $Q = 200$ lps

Modifikasi bak flokulator dengan tipe hidrolis dikelompokkan dua macam yaitu (1) flokulator hidrolis horizontal, dan flokulator hidrolis vertical. Jika kapasitas dinaikkan menjadi $Q = 150$ lps, waktu detensi (t_d) 20 menit, maka volume total

$$V_{total} = Q.t_d$$

$$V_{total} = 0,15(m^3 / dt).20.x.60(dt)$$

$$V_{total} = 180(m^3)$$

Dimensi flokulator horizontal *baffle channel*, jika kedalaman (H) = 1.5 m, panjang (P) sama dengan lebar (L), volume setiap kompartemen 60 m³, maka P dan L adalah

$$V = P.L.H$$

$$V = S.S.1,5$$

$$60(m^3) = S^2.1,5$$

$$S = \sqrt{\frac{60}{1,5}}$$

$$S = 6,32(m)$$

$$\text{Panjang } (P) = 6,32(m)$$

$$\text{Lebar } (L) = 6,32(m)$$

$$\text{Kedalaman } (H) = 1,5(m)$$

Menghitung jumlah sekat (n) dengan persamaan (4)

$$n = \left\{ \left[\frac{2.\mu.t_d}{\rho.(1,44 + f)} \right] \cdot \left[\frac{H.L.G}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3} \dots\dots (4)$$

Dimana :

$$n = \text{jumlah_sekat, (unit)}$$

$$\mu = \text{Viskositas_dinamis, (m}^2 / dt)$$

$$t_d = \text{Waktu_detensi, (dt)}$$

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

$$L = \text{Panjang_bak, (m)}$$

$$G = \text{Gradien_kecepatan, (/dt)}$$

$$Q = \text{Debit, (m}^3 / dt)$$

$$f = \text{friction_factor, (0,3)}$$

$$\rho = \text{Massa_jenis, (kg / m}^3)$$

Jumlah sekat kompartemen pertama (n_1), dengan debit (Q) 150 lps, kedalaman (H) 1,5 m, lebar bak (L) 6,32 m, waktu detensi (t_d) 6,67 menit, viskositas kinematis (μ) 0,000801 m²/dt, gradient kecepatan (G_1) 45/dt, sebesar, massa jenis (ρ) 995,7 kg/m³.

$$n = \left\{ \left[\frac{2 \cdot \mu t_d}{\rho \cdot (1,44 + f)} \right] \cdot \left[\frac{H.L.G}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3}$$

$$n_1 = \left\{ \left[\frac{2 \cdot \mu t_d}{\rho \cdot (1,44 + f)} \right] \cdot \left[\frac{H.L.G_1}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3}$$

$$n_1 = \left\{ \left[\frac{2 \cdot x \cdot 0,000801 (m^2 / dt) \cdot \frac{20}{3} \cdot 60 (dt)}{995,7 (kg / m^3) \cdot (1,44 + 0,3)} \right] \cdot \left[\frac{1,5 (m) \cdot 6,32 (m) \cdot 45 (/ dt)}{0,15 (m^3 / dt)} \right]^2 \right\}^{1/3}$$

$n_1 = 14 (\text{sekat})$

Lebar setiap sekat (x) sebesar

$$x_1 = \frac{P_1}{n_1}$$

$$x_1 = \frac{6,32 (m)}{14}$$

$$x_1 = 0,44 (m)$$

Kehilangan tekanan pada flokulator hidrolis merupakan substitusi antara persamaan (1) dan (5), menjadi persamaan (6)

$$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- $P = \text{Power, (Watt)}$
- $\rho = \text{Massa _ jenis, (kg / m}^3\text{)}$
- $Q = \text{Debit, (m}^3\text{ / dt)}$
- $g = \text{Gravitasi, (m / dt}^2\text{)}$

$$G^2 \cdot \mu V = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \dots\dots\dots (6)$$

$$h = \frac{G^2 \cdot \mu V}{\rho \cdot g \cdot Q}$$

Dimana :

- $h = \text{Kehilangan _ tekanan, (m)}$
- $G = \text{Gradien _ kecepatan, (/ dt)}$
- $\mu = \text{Viskositas _ dinamis, (m}^2\text{ / dt)}$
- $t_d = \text{Waktu _ detensi, (dt)}$
- $\rho = \text{Massa _ jenis, (kg / m}^3\text{)}$
- $g = \text{Gravitasi, (m / dt}^2\text{)}$

Kehilangan tekanan pada kompartemen 1 (h_1)

$$h_1 = \frac{G_1^2 \cdot \mu \cdot t_d}{\rho \cdot g}$$

$$h_1 = \frac{(45 / dt)^2 \cdot 0,000801 (m^2 / dt) \frac{20}{3} \cdot 60 (dt)}{995,7 (kg / m^3) \cdot 9,81 (m / dt^2)}$$

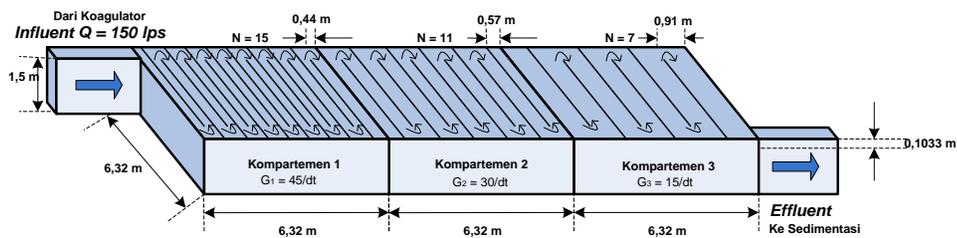
$$h_1 = 0,0664 (m)$$

Perhitungan jumlah sekat (n) pada kompartemen dua dan tiga, serta lebar sekat (x) pada kompartemen dua dan tiga, serta kehilangan tekanan pada kompartemen dua dan tiga dengan debit (Q) 150 lps dan 200 lps, terdapat pada Tabel 5. Untuk debit (Q) 150 lps, dan 200 lps, kehilangan tekanan total di kompartemen 1, 2, 3 sebesar 0,1425 m. Gambar 7a, menunjukkan flokulator hidrolis bersekat horizontal. Debit (Q) 150 lps, kedalaman (H) 1,5 m, panjang (P) sama dengan lebar (L) sebesar 6,32 m, gradient kecepatan (G_1) 45/dt, $G_2 = 30$ /dt, dan $G_3 = 15$ /dt, jumlah sekat (n_1) = 14,42 unit, $n_2 = 11$ unit, $n_3 = 6,93$ unit, jarak sekat $x_1 = 0,44$ m, $x_2 = 0,57$ m, $x_3 = 0,91$ m. kehilangan tekanan $h_1 = 0,0664$ m, $h_2 = 0,0295$ m, $h_3 = 0,0074$ m. Kehilangan tekanan menunjukkan menurunnya level muka air mulai dari kompartemen 1, 2, 3. Dengan $h_{total} = 0,1033$ m. Gambar 7b, menunjukkan flokulator hidrolis bersekat horizontal, untuk debit (Q) 200 lps, mengalami perubahan sedikit pada parameter panjang (P) menjadi 6,76 m, lebar (L) 6,76 m, kedalaman bak (H) 1,75 m, jumlah sekat (n_1) 13,79 unit, $n_2 = 10,52$ unit, $n_3 = 6,63$ unit, jarak antar sekat (x_1) 0,49 m, $x_2 = 0,64$ m, $x_3 = 1,02$ m. Kehilangan tekanan total (h_{total}) sama dengan 0,0074 m. gradien kecepatan $G_1 = 45$ /dt, $G_2 = 30$ /dt, dan $G_3 = 15$ /dt. Karena jumlah sekat tidak dapat "pecahan", maka "dibulatkan", sehingga jumlah sekat hampir sama antara Q 100 dan 200 lps.

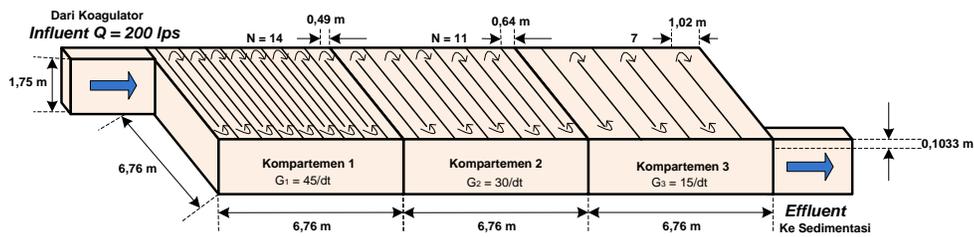
Tabel 5. Perhitungan flokulator hidrolis bersekat Q = 150, 200 lps

Uraian	Simbol	K1	K2	K3	K1	K2	K3	Satuan
Debit	Q	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	m ³ /dt
Waktu detensi	td	20	20	20	20	20	20	menit
Volume total	V	180	180	180	240	240	240	m ³
Kedalaman bak	H	1.5	1.5	1.5	1.75	1.75	1.75	m
Panjang bak	P	6.32	6.32	6.32	6.76	6.76	6.76	m
Lebar bak	L	6.32	6.32	6.32	6.76	6.76	6.76	m
Gradien Kecepatan	G	45	30	15	45	30	15	per detik
Friction Factor	f	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
Viskositas dinamis	μ	0.000801	0.000801	0.000801	0.000801	0.000801	0.000801	m ² /dt
Massa jenis air	ρ	995.7	995.7	995.7	995.7	995.7	995.7	kg/m ³
Jumlah sekat	n	14.42	11.00	6.93	13.79	10.52	6.63	unit
Jarak sekat	x	0.44	0.57	0.91	0.49	0.64	1.02	m
Gravitasi	g	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	m ² /dt
Kehilangan tekanan	hL	0.0664	0.0295	0.0074	0.0664	0.0295	0.0074	m
Kehilangan tekanan total		0.1033			0.1033			m

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 7a. Flokulator hidrolis bersekat horizontal Q = 150 lps



Gambar 7b. Flokulator hidrolis bersekat horizontal 200 lps

Untuk menghitung jumlah sekat pada flokulator hidrolis vertical, menggunakan persamaan yang hampir sama dengan flokulator hidrolis horizontal, yaitu :

$$n = \left\{ \left[\frac{2 \cdot \mu \cdot t_d}{\rho \cdot (1,44 + f)} \right] \cdot \left[\frac{W \cdot L \cdot G}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

n = jumlah _sekat, (unit)

μ = Viskositas _dinamis, (m^2 / dt)

t_d = Waktu _detensi, (dt)

H = Kedalaman _bak, (m)

W = Lebar _bak, (m)

G = Gradien _kecepatan, (/dt)

Q = Debit, (m^3 / dt)

f = friction _factor, (0,3)

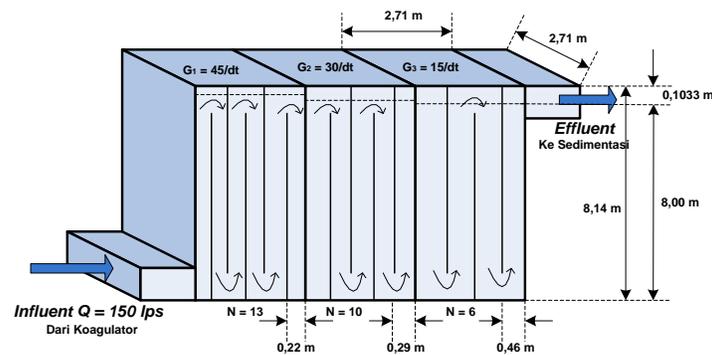
ρ = Massa _jenis, (kg / m^3)

Perhitungan jumlah sekat (n), jarak sekat (x), kehilangan tekanan (h), panjang bak (P), lebar bak (L), kedalaman bak (H), pada kompartemen 1, 2, 3, untuk debit (Q) 150 lps dan 200 lps, dijelaskan pada Tabel 6. Kehilangan tekanan total sebesar 0,1033 m baik untuk debit 150 lps atau 200 lps.

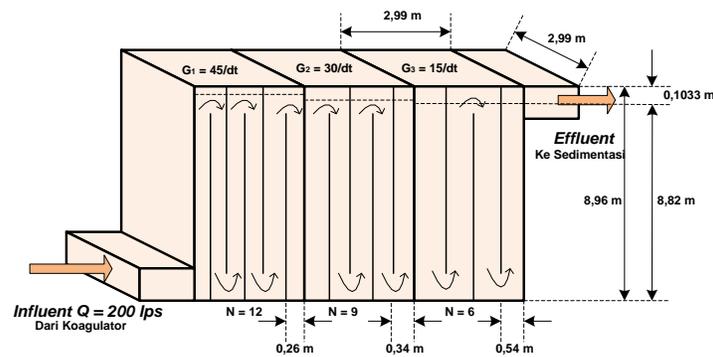
Gambar 8a, menunjukkan penjelasan bak flokulator hidrolis bersekat vertical, untuk debit (Q) 150 lps, sedangkan Gambar 8b, untuk debit (Q) 200 lps. Perbedaan pada parameter panjang (P) bak, lebar (L) bak, kedalaman (H) bak, jumlah sekat (n) dan jarak sekat (x). Persamaannya pada kehilangan tekanan total 0,1033 m

Tabel 6. Perhitungan flokulator hidrolis bersekat vertical, $Q = 150$ dan 200 lps

Uraian	Simbol	K1	K2	K3	K1	K2	K3	Satuan
Debit	Q	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.2	m ³ /dt
Waktu detensi	td	20	20	20	20	20	20	menit
Volume total	V	180	180	180	240	240	240	m ³
Kedalaman bak	H	8.14	8.14	8.14	8.96	8.96	8.96	m
Panjang bak	P	2.71	2.71	2.71	2.99	2.99	2.99	m
Lebar bak	L	2.71	2.71	2.71	2.99	2.99	2.99	m
Gradien Kecepatan	G	45	30	15	45	30	15	per detik
Friction Factor	f	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
Viskositas dinamis	μ	0.000801	0.000801	0.000801	0.000801	0.000801	0.000801	m ² /dt
Massa jenis air	ρ	995.7	995.7	995.7	995.7	995.7	995.7	kg/m ³
Jumlah sekat	n	12.18	9.30	5.86	11.43	8.72	5.49	unit
Jarak sekat	x	0.22	0.29	0.46	0.26	0.34	0.54	m
Gravitasi	g	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	m ² /dt
Kehilangan tekanan	hL	0.0664	0.0295	0.0074	0.0664	0.0295	0.0074	m
Kehilangan tekanan total		0.1033			0.1033			m



Gambar 8a. Flokulator hidrolis bersekat vertical $Q = 150$ lps



Gambar 8b. Flokulator hidrolis bersekat vertical $Q = 200$ lps

Dari pembahasan modifikasi flokulator mekanis dan hidrolis, maka terdapat enam alternatif pilihan flokulator yaitu

- (1) Flokulator mekanis, $Q = 150$ lps
- (2) Flokulator mekanis, $Q = 200$ lps
- (3) Flokulator hidrolis bersekat horizontal $Q = 150$ lps.
- (4) Flokulator hidrolis bersekat horizontal $Q = 200$ lps.
- (5) Flokulator hidrolis bersekat vertical, $Q = 150$ lps.
- (6) Flokulator hidrolis bersekat vertical, $Q = 200$ lps.

Tabel 7, menunjukkan pemilihan alternatif flokulator dengan menggunakan metoda perbandingan eksponensial (MPE). Menurut Marimin, 2013, pengambilan keputusan dengan menggunakan MPE harus mempertimbangkan : (1) alternatif-alternatif keputusan, (2) kriteria pemilihan, (3) tingkat kepentingan, (4) penilaian terhadap semua alternatif dan kriteria, (5) menghitung nilai total setiap alternatif, (6) urutan prioritas keputusan didasarkan pada nilai total pada masing-masing alternatif.

Pemilihan didasarkan pada pertimbangan kriteria : (1) kebutuhan lahan, (2) kehandalan, (3) teknologi, (4) desain, (5) biaya investasi, (6) biaya pemeliharaan. Penilaian kriteria dengan skala 5 sampai dengan 9, artinya jika kriteria “kebutuhan lahan” untuk alternatif “flokulator mekanis 100 lps” membutuhkan lahan yang kecil maka nilainya 9, namun alternatif “flokulator horizontal hidrolis horizontal 200” membutuhkan lahan sangat luas maka nilainya 4. Nilai kriteria “kehandalan” untuk alternatif flokulator mekanis 200 adalah 9, karena

mempunyai “kehandalan” keberhasilan proses yang sangat baik, sedang kriteria “kehandalan” untuk alternatif “flokulator hidrolis vertikal 100 lps” sangat rendah maka diberi nilai 4.

Tingkat kepentingan (bobot) yang tertinggi adalah kriteria “kehandalan “ (9), diikuti kriteria “teknologi” (8), kriteria “biaya pemeliharaan” (8), desain (7), biaya investasi (7), dan bobot kriteria yang terendah adalah “kebutuhan lahan” (5).

Pemberian nilai total pada masing-masing alternatif dengan persamaan metoda perbandingan eksponensial yaitu

$$TN_i = \sum_{j=1}^m (RK_{ij})^{TKK_j} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

TN_i = Total _nilai _alternatif _ke - i
 RK_{ij} = Derajat _kepentingan _relatif _kriteria
 ke - j _ pada _ pilihan _ keputusan _ ke - i

TKK_j = Derajat _kepentingan _kriteria
 keputusan _ke - j

n = Jumlah _ pilihan _ keputusan
 m = Jumlah _ kriteria _ keputusan

Nilai MPE didapat dari hasil perhitungan Alternatif 1. Flokulator mekanis 100 lps.

$$TN_1 = 9^5 + 8^9 + 8^8 + 8^7 + 9^7 + 5^8$$

$$TN_1 = 158.324.739$$

Alternatif 2. Flokulator mekanis 200 lps.

$$TN_2 = 8^5 + 9^9 + 8^8 + 8^7 + 8^7 + 5^8$$

$$TN_2 = 408.815.402$$

Alternatif 3. Flokulator hidrolis horizontal 100 lps.

$$TN_3 = 5^5 + 6^9 + 7^8 + 7^7 + 5^7 + 7^8$$

$$TN_3 = 22.512.091$$

Alternatif 4. Flokulator hidrolis horizontal 200 lps.

$$TN_4 = 4^5 + 7^9 + 7^8 + 7^7 + 4^7 + 7^8$$

$$TN_4 = 52.724.160$$

Alternatif 5. Flokulator hidrolis vertikal 100 lps.

$$TN_5 = 7^5 + 4^9 + 6^8 + 6^7 + 7^7 + 6^8$$

$$TN_5 = 4.741.662$$

Alternatif 6. Flokulator hidrolis vertikal 200 lps.

$$TN_6 = 6^5 + 5^9 + 6^8 + 6^7 + 6^7 + 6^8$$

$$TN_6 = 5.880.005$$

Nilai total yang terbesar adalah alternatif 2 sebesar 408.815.402. Jadi alternatif flokulator tipe mekanis tiga kompartemen menjadi pilihan untuk meningkatkan kapasitas sampai 200 lps.

Gambar 9, menunjukkan pilihan alternatif flokulator tipe mekanis tiga kompartemen, untuk meningkatkan kapasitas sampai 200 lps. Gambar 9a, menunjukan modifikasi flokulator menjadi tipe mekanis tiga kompartement. Sedangkan Gambar 9b, adalah sketsa tanpa skala, penampang melintang bak flokulator tiga kompartemen 200 lps.

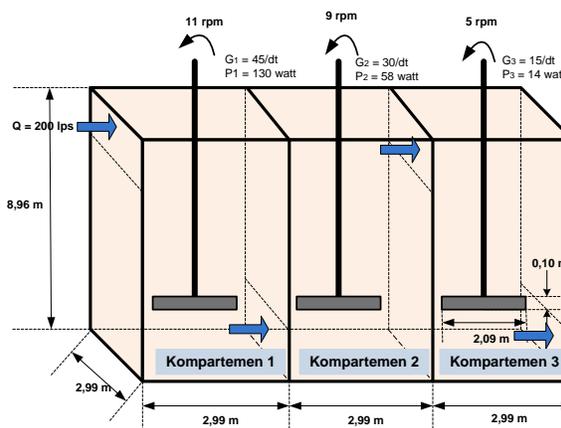
Tabel 7. Pemilihan alternatif keputusan bak flokulator

NO	Kriteria	Bobot	Flokulator					
			Mekanis		Hidrolis			
					Horizontal		Vertikal	
			100	200	100	200	100	200
1	Kebutuhan lahan	5	9	8	5	4	7	6
2	Kehandalan	9	8	9	6	7	4	5
3	Teknologi	8	8	8	7	7	6	6
4	Desain	7	8	8	7	7	6	6
5	Biaya investasi	7	9	8	5	4	7	6
6	Biaya pemeliharaan	8	5	5	7	7	6	6
	Jumlah		158,324,739	408,815,402	22,512,091	52,724,160	4,741,662	5,880,005
	Tertinggi			408,815,402				

Sumber : Hasil perhitungan



(a)



(b)

Gambar 9. Flokulator mekanis tiga kompartemen

Kesimpulan

Modifikasi flokulator untuk mengantisipasi naiknya kapasitas air dipilih flokulator tipe mekanis tiga kompartemen, debit (Q) 200 lps.

Terdapat enam alternatif flokulator yang meliputi flokulator mekanis tiga kompartemen 100 dan 200 lps, flokulator hidrolis horizontal 100 dan 200 lps, dan flokulator hidrolis vertikal 100 dan 200 lps.

Dengan menggunakan metoda perbandingan eksponensial (MPE) diperoleh nilai tertinggi pada alternatif flokulator tipe mekanis 200 lps.

DAFTAR PUSTAKA

Qasim SR., Motley EM., Zhu G., 2002. Water Work Engineering, Planning, Design, and Operation. Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi.

Schulz CR., Okun DA., 1984. Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries. John Wiley and Son Inc. Canada.

Marimin. Magfiroh N. 2013. Teknik Pengambilan Keputusan. IPB Press. Bogor.

Marimin. 2013. Sistem Pakar. IPB Press. Bogor.