



Penerapan Teknologi *Skimming* dan *Bioremediation* pada Instalasi Pengelolaan Air Limbah di PT. Waruna Shipyard Indonesia

**Munawar Alfansury Siregar¹, Wawan Septiawan Damanik¹, Sudirman Lubis¹,
Arya Rudi Nasution¹, Arfian Arif²**

¹Prodi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Prodi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

 Email korespondensi: wawanseptiawan@umsu.ac.id



Article history:

Received: 12-01-2023

Accepted: 03-08-2023

Published: 15-08-2023

Kata kunci:

limbah industri;
pengelolaan
limbah;
teknologi
penanganan
limbah

ABSTRAK

Pencemaran air mengakibatkan kerusakan lingkungan dan sangat merugikan bagi makhluk hidup. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja dari Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) yang berfungsi mengurangi kadar polutan pada air. Melalui kerja sama Fakultas Teknik UMSU dengan PT.Waruna Shipyard Indonesia (WSI), kolaborasi dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari sistem pengelolaan air limbah. Metode pengelolaan air limbah dilakukan dengan menerapkan teknologi mesin skimming, dan beberapa sensor sifat fisik dan komposisi air, serta penggunaan bakteri baik hasil remediasi dari laboratorium. Diterapkan 6 kolam IPAL yang masing-masing berdimensi 3,7x2,8x2,17 m. Mesin skimming di rancang menggunakan drum, dan bakteri dari proses remediasi akan menekan pertumbuhan bakteri yang merusak lingkungan. Volume air yang masuk kedalam kolam sekitar 207.200 kg/m³/minggu atau 207.2 Liter/Minggu Hasil Penerapan teknologi tersebut diperoleh jumlah rata-rata minyak yang di ambil setiap 2 hari sekali mencapai 600 mL. Kualitas ph air rata-rata 6-8 dengan baku mutu ph 6-9, nilai COD 47,8 mg/L dengan baku mutu 100 mg/L, dan nilai BOD 21,1 mg/L dengan Baku Mutu 30 mg/L.

Keywords:

*industrial waste;
waste management;
waste handling
technology*

ABSTRACT

Water pollution causes environmental damage and is very detrimental to living things. This activity aims to improve the performance of the Wastewater Management Installation (WWTP) which functions to reduce pollutant levels in the waters. Through the collaboration of the UMSU Faculty of Engineering with PT. Waruna Shipyard Indonesia (WSI), collaboration was also carried out to improve the performance of the wastewater management system. Wastewater management methods are carried out by applying skimming machine technology, and several sensors for the physical properties and composition of water, as well as using remediation of good bacteria from the laboratory. 6 WWTP ponds were implemented, each with dimensions of 3.7x2.8x2.17 m. The skimming machine is designed to use a drum, and the bacteria from the remediation process will suppress the growth of bacteria that damage the environment. The volume of water entering the reservoir is around 207,200 kg/m³ perweek or 207.2 Liters/week. The results of applying this technology obtained an average amount of oil taken every 2 days reaching 600 mL. The average water quality is 6-8 with a pH standard of 6-9, a COD value of 47.8 mg/L with a quality standard of 100 mg/L, and a BOD value of 21.1 mg/L with a quality standard of 30 mg/L.



PENDAHULUAN

Limbah merupakan zat buangan yang dihasilkan dari suatu proses kegiatan produksi baik industri maupun domestik ([Marliani 2015](#)). Limbah dapat berupa sampah, air kakus, dan air buangan dari berbagai aktivitas domestik lainnya ([Bapennas, 2008](#)). Jenis-jenis limbah yang dihasilkan dari proses pekerjaan dilihat dari fisiknya sampai saat ini tercatat ada beberapa jenis yaitu padat, cair dan gas ([Hartini, 2022](#)). Proses Pekerjaan yang berpotensi menghasilkan limbah diantaranya proses pekerjaan galangan kapal. Waruna Shipyards Indonesia merupakan industri yang bergerak dibidang reparasi/perbaikan kapal, yang berpotensi menghasilkan limbah cair dari proses pekerjaan reparasi kapal dan *cleaning* tangki kapal. Hadirnya limbah cair yang diperoleh setelah reparasi kapal disebabkan adanya proses kegiatan *cleaning* tangki-tangki dan proses perbaikan kapal di galangan. Proses kegiatan *cleaning* di tangki kapal yang jatuh ke air menyebabkan air tercemar dan tidak dapat dialirkan dan dibuang langsung ke dalam laut. Hal ini karena, air yang tercemar minyak sisa proses *cleaning* tangki kapal akan berdampak buruk pada organisme yang ada di dalam laut.

Untuk dapat mengatasi permasalahan pencemaran air yang tercemar oleh tumpahan minyak dari proses *cleaning* tangki, maka baiknya paham terlebih dahulu sifat fisik dan propertis dari minyak yang mencemari agar penanganannya tepat. Jenis minyak yang mencemari air akibat proses kegiatan *cleaning* kapal diantaranya, *Merine Fuel Oil* (MFO), *Industrial Diesel Oil* (IDO) atau *Marine Diesel Fuel* (MDF) dan *Crude Palm Oil* (CPO). Dilihat dari spesifikasinya *Merine Fuel Oil* (MFO) atau *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO) atau biasa juga disebut minyak bakar adalah bahan bakar mesin diesel putaran rendah <300 rpm yang memiliki kekentalan hingga maksimal 180 cSt dan kadar Sulfur tinggi hingga maks. 3.5% v/v ([Nur, Saini, and Makbul 2020](#)). *Industrial Diesel Oil* (IDO) atau sering disebut *Marine Diesel Fuel* (MDF) biasa juga disebut minyak diesel adalah bahan bakar distilasi yang mengandung fraksi berat atau campuran bahan bakar fraksi berat dan fraksi ringan yang berwarna hitam ([Bogdanowicz, 2021](#)), bahan bakar ini merupakan jenis fuel oil namun stabil pada suhu rendah ([Pertamina, 2021](#), dan [Abubakar Umar, 2018](#)). Sedangkan *Crude Palm Oil* (CPO) adalah minyak sawit yang diperoleh dari proses ekstraksi atau kompresi daging buah kelapa sawit dan belum dimurnikan menjadi minyak goreng ([Syafrianti, Lubis, & Elisabeth 2021](#)). Minyak sawit memiliki densitas 0.909-0.917 g/mL pada temperatur 25° dan 0.888-0.892 g/mL pada temperatur 55° ([Wulandari, Tien R, & Muchtadi 2011](#)).

Jika tertumpah ke air, minyak *Merine Fuel Oil*, *Industrial Diesel Oil* atau *Marine Diesel Fuel* dan *Crude Palm Oil* akan mengakibatkan pencemaran yang membahayakan organisme yang berada di air seperti terjadinya kerusakan pada membran sel biota laut oleh molekul-molekul hidrokarbon dari tumpahan minyak, yang mengakibatkan kematian ikan akibat kekurangan oksigen ([Astuti, 2021](#)), keracunan karbon monoksida dan toksik, serta dampak panjangnya organisme yang tercemar akan menularkan rasun ke organisme baru (muda) melalui rantai makanan ([Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2016](#), dan [Hartini, 2022](#)). Hal ini sangat merugikan bagi kita semua karena akan merusak lingkungan dan menurunkan hasil laut yang sama-sama kita butuhkan ([Yonguep, 2022](#)). Oleh karena itu, pengelolaan limbah tumpahan minyak sangat diperlukan dalam menangani permasalahan ini. Setelah melakukan pengenalan dan analisis sumber permasalahan, PT. Waruna Shipyards Indonesia bekerja sama dengan tim dari Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, bersama-sama melakukan proses pengelolaan limbah air dengan membangun instalasi pengelolannya.

Instalasi Pengelolaan Air Limbah, merupakan metode pengelolaan limbah cair yang tercemar baik dari bahan kimia maupun yang berasal dari limbah biologis (Spellman, 2008). Pemerintah Indonesia melalui peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan P.5/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2/2018, mengatur tentang standar dan metode Instalasi Pengelolaan Air Limbah yang disebabkan oleh kegiatan industri, agar air limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dapat secara aman dibuang ke lingkungan. Beberapa peneliti telah melakukan inovasi dan pengembangan metode pengolahan air limbah yang tercemar oleh tumpahan minyak diantaranya, Kumar dkk (2022) di India, membangun instalasi pengelolaan limbah cair menggunakan membran *Multi Wall Carbon Nanotube* (MWCNT) dilapisi *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) untuk meningkatkan umur filter, hasil diperoleh kinerja yang cukup baik dalam laju penghilangan fluks Perkolasi (aliran dari proses penyarian), persentase penghilangan kebutuhan oksigen kimia dan persentase penolakan karbol total masing-masing sebesar 27,2 kg/m² 2 jam, 78,51% dan 95,33% (Sathish, R. Saravanan, & V. Vijayan 2022). Ditahun yang sama Saba Saleem (2022) di Canada, merancang sebuah instalasi pengolahan limbah tumpahan minyak di permukaan laut dengan membuat siklus analisis yang ideal *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA). Instalasi pengolahan tumpahan minyak yang dilakukan tidak jauh berbeda memiliki alur yang sama dengan Instalasi Pengelolaan Air Limbah yaitu dimulai proses pengumpulan, pemisahan, transportasi, dan teknologi pengolahan/pembuangan limbah (Yonguep, 2022). Hasil analisis biaya mengungkapkan bahwa strategi yang terdiri dari sentrifugasi dan penimbunan paling efektif, sedangkan kombinasi demulsifikasi kimia dan insinerasi paling tidak menguntungkan karena adanya pengeluaran biaya tambahan (Saleem, Guangji Hu, & Jianbing Li 2022).

Modifikasi dan pembaruan proses pembersihan tumpahan minyak juga dilakukan Zhiyong Liu (2022) di Cina. Pemanfaatan spons yang terbuat dari serat tanaman yang dikemas menjadi penyaring dan penyerap menghasilkan kinerja yang lebih baik dari sistem instalasi konvensional. Hasil penelitian ini mengatakan bahwa kemampuan penyerapan tumpahan minyak di permukaan air laut hingga mencapai 12.0-27.8 g/s (Liu & Mengyao Chen, 2022).

Melihat kerja yang telah dilakukan beberapa peneliti terkait instalasi pengolahan limbah, PT.WSI membentuk *team* yang terdiri dari praktisi dan akademisi dengan tujuan menghasilkan ide dan gagasan baru dan efektif dalam penanganan limbah minyak yang mencemari air di galangan kapal. Upaya yang akan dilakukan salah satunya memberikan teknologi penyaringan alami yang ramah lingkungan, selanjutnya teknologi yang dapat mengurangi pencemaran tumpahan minyak ke air seperti oil skimmer dan penambahan zat kimia berupa photosynthetic bacteria. Tujuan dari pengabdian kepada masyarakat ini yaitu dapat mengurangi tingkat polutan (zat buruk) pada air limbah dari hasil *cleaning* dan reparasi kapal di PT.Waruna Shipyard Indonesia melalui penerapan metode dan teknologi yang efektif, dengan harapan penanganan limbah di PT.Waruna Shipyard Indonesia akan mendukung pemerintah Indonesia mewujudkan lingkungan yang aman dan bersih.

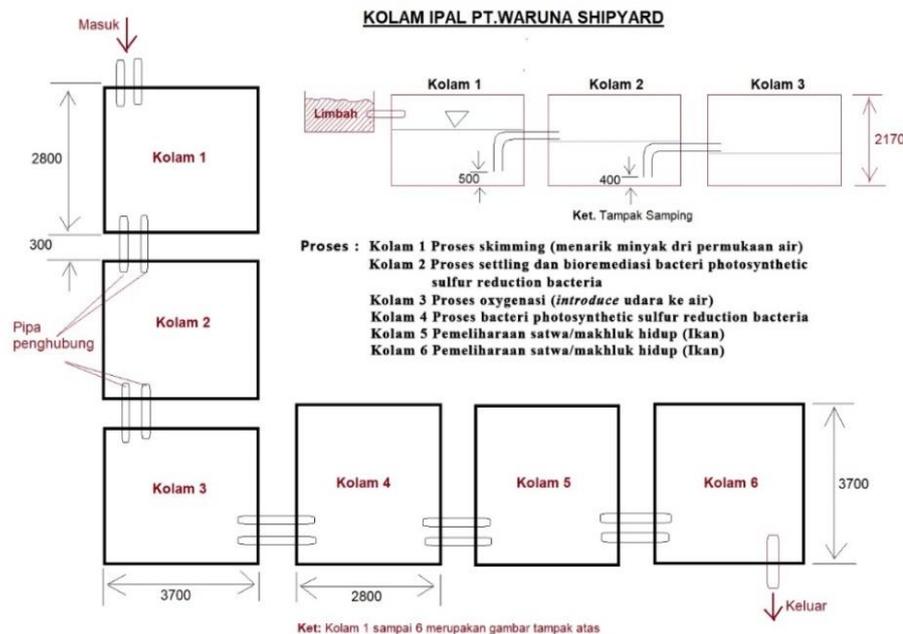
METODE

Limbah galangan kapal dari PT.WSI berupa tumpahan minyak sisa dari proses kegiatan *cleaning* di tangki kapal yang terjatuh atau mengalir ke kolam penampung yang ada di dalam dock. Adapun sifat fisik yang mungkin nanti berperan aktif mempengaruhi dari proses pemisahan minyak dengan air yaitu sebagai berikut (Pertamina, 2021, Wulandari, Tien R. Muchtadi 2011).

Tabel 1. Sifat fisik minyak yang mencemari limbah

No	Jenis Minyak	Kerapatan / ρ Kg/m ³	Viskositas / μ		Gravitasi jenis
			mm ² /dt	mm ² /s	
1	Merine Fuel Oil	991	180	-	0.991
2	Industrial Diesel Oil atau Marine Diesel Fuel	850-900	-	3.5-11.0	0.85-0.9
3	Crude Palm Oil (25°C)	909-917	-	53.6-174	0.917

Adapun jumlah kolam dan dimensi dari kolam di sesuaikan dengan rata-rata volume limbah yang dihasilkan setiap harinya. Gambar instalasi dapat di lihat pada gambar berikut.



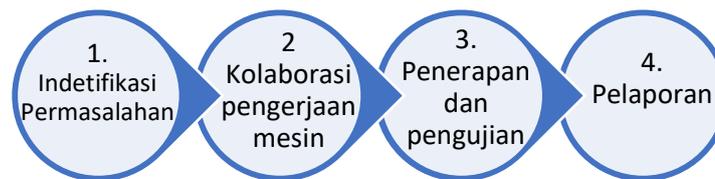
Gambar 1 Instalasi kolam IPAL

Jumlah kolam yang direncanakan sebanyak 6 buah yang masing-masing memiliki fungsi dan perlakuan yang beda. Secara singkat cara kerja kolam pengelolaan Instalasi Pengelolaan Air Limbah PT.WSI akan dipaparkan dengan mengikuti alur kerja yang direncanakan pada sistem yaitu sebagai berikut:

1. Kolam 1 memiliki fungsi untuk menampung seluruh limbah, baik padat maupun cair yang masuk dari parit, lalu pada kolam 1 diberikan mesin *skimming* yang akan bertugas memisahkan air dengan minyak memanfaatkan perbedaan kerapatan jenis fluida dan sifat fisik dengan tekanan angin dari kompresor, serta penyaringan limbah padat.
2. Kolam 2 menampung air limbah dari kolam 1 yang telah melewati proses pemisahan minyak tahap 1 menggunakan mesin *skimming*. Pada kolam 2, air akan kembali disaring menggunakan peralatan saringan yang ramah lingkungan terbuat dari ijuk yang di gabung dengan krikil kecil, pasir dan beberapa material alam lain, hal ini akan berlanjut pada kolam 2 sampai kolam 6.
3. Kolam 3 menampung air yang keluar dari kolam 2 dan akan diberikan perlakuan zat kimia yaitu sulfur dengan konsentrasi 1.5 -5.0 % m/m (Biebl & Norbert Pfenning 1977). Pada kolam 3 juga ada dipasang saringan yang sama dengan kolam 2.

4. Kolam 4 menampung air yang keluar dari kolam 3 dan akan diberikan perlakuan zat kimia yaitu photosynthetic yang mampu membantu mengurangi gas dan limbah dari minyak mentah, dan pada kolam 4 juga ada dipasang saringan yang sama dengan kolam 2 dan 3.
5. Kolam 5 menampung air dari kolam ke 4 dan di kolam ini diberi penghijauan untuk memacu kehidupan organisme baru.
6. Kolam 4 menampung air dari kolam 5 dan di kolam ini akan di uji kelayakan dengan memelihara organisme/mahluk hidup yaitu seekor ikan dan dikolam ini akhir dari pengelolaan Instalasi Pengelolaan Air Limbah

Peningkatan jumlah air yang masuk kedalam kolam selain bersumber dari limbah pekerjaan juga terkadang masuknya air laut dikarenakan kondisi air sedang pasang, juga turunnya air hujan akan banyak menambah debit air yang masuk ke dalam kolam. Berikut merupakan diagram alir dari pelaksanaan pengabdian di PT.WSI.



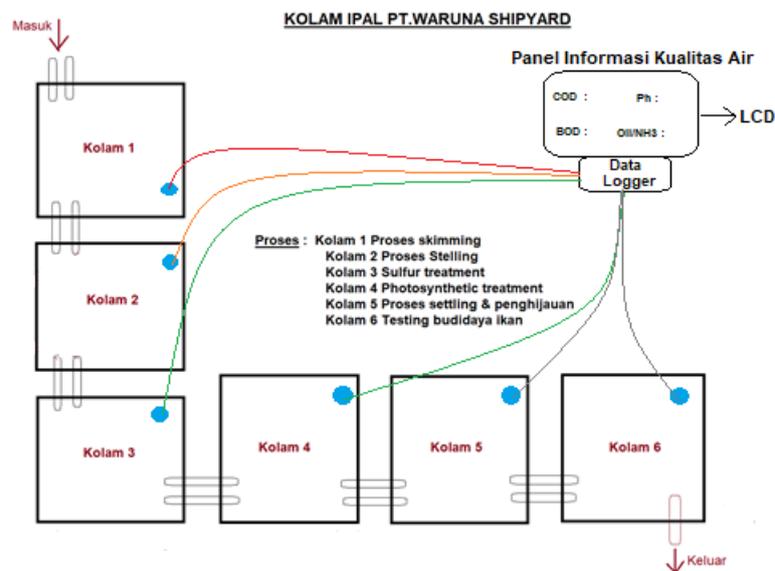
Gambar 2 Bagan alir kegiatan PKM

Pada saat pelaksanaan pengabdian, komunikasi dan koordinasi antara tim Fakultas Teknik dengan staff di PT.WSI selalu dilakukan untuk mendapatkan pemahaman bersama. Adapun jenis sensor dan mesin yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

1. Sensor ph yang digunakan jenis *BNC interface pH sensor* dengan akurasi pembacaan sampai $\pm 0.1\text{ph}$ (25 °C).
2. Sensor BOD digunakan untuk mengetahui kebutuhan oksigen biokimia atau kebutuhan oksigen hayati yang menghasilkan analisis empiris untuk mengukur proses-proses biologis khususnya aktivitas mikroorganisme yang berlangsung di dalam air. Jenis sensor yang digunakan *VeLP BOD Sensor*. Sensor yang digunakan ialah standard laboratoirum dengan tingkat akurasi yang baik *scales* : 90, 250, 600, 999 ppm (mg/L).
3. Sensor COD digunakan untuk mengetahui kebutuhan oksigen kimiawi, adalah nilai yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam suatu reaksi penguraian senyawa organik dalam larutan terukur. Sensor yang digunakan ialah jenis *Yieryi* yang dapat sekaligus menguji kualitas air *EC/TOC/COD/TDS/TEM/UV*.
4. Mesin *skimming* udara dirancang berupa drum yang memiliki saluran udara masuk dan keluar. Pada bagian saluran masuk dari mesin *skimming*, ada sebuah pipa dimasukkan kedalam pompa dengan kedalaman yang diatur dan disesuaikan dengan tinggi permukaan air limbah yang masuk. Angin akan menekan air secara halus dan membawa air masuk kedalam pompa dengan memanfaatkan perbedaan berat jenis dari minyak dan air sehingga air akan selalu berada di bagian lapisan bawah.
5. Mesin drum *skimmer*, Cara kerja mesin *skimmer* ini dimulai dengan menghidupkan motor elektrik yang menggunakan arus DC 12V 1.5A dengan rata-rat putaran 60 rpm. Permukaan drum yang berwarna kuning akan menjilat

minyak yang ada dipermukaan air dan dialirkan kedalam tangki penempungan. Dari sistem kerjanya, mesin ini efektif mengangkat minyak yang bersumber dari CPO yang memiliki densitas tinggi terhadap perubahan temperatur (Aydin Larestani, 2022).

6. Papan informasi berfungsi menampilkan kualitas air limbah yang terdapat pada kolam dengan mengukur kadar keasaman/basa, jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai bahan organik di dalam air (BOD) dan jumlah kebutuhan senyawa kimia terhadap oksigen untuk mengurai bahan organik (COD), serta beberapa kadar zat kimia yang diperlukan untuk diukur.



Gambar 3 Papan informasi data dari sensor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tim dari Fakultas Teknik dan PT.WSI bersama-sama mempelajari dan mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dan mungkin akan terjadi khususnya pada saluran pengumpul minyak dari dock kapal ke saluran masuk pada kolam dengan mengukur ketinggian benteng dari permukaan air laut untuk memperkirakan kemungkinan air laut pasang.



Gambar 4 Kolam IPAL yang tercemar minyak



Gambar 5 Identifikasi permasalahan pada kolam

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa jumlah air yang masuk kedalam kolam diukur debitnya untuk mengetahui rata-rata volume air yang masuk setiap hari. Dari hasil pengukuran di hari kerja yang normal, jumlah kenaikan air limbah ke dalam kolam dalam waktu 6 hari mencapai ketinggian 20 mm, untuk itu jumlah volume total dan perharinya sebagai berikut.

- Diketahui :
- Lebar kolam : 3700 mm
 - Panjang Kolam : 2800 mm
 - Kerapatan/rho : 1000 kg/m³
 - Ketinggian air : 20 mm/Minggu

Maka :

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 2800 \times 3700 \times 20$$

$$V = 207.200 \text{ kg/m}^3$$

Maka diketahui jumlah volume air yang masuk kedalam kolam sekitar 207.200 kg/m³ perminggu atau jika diubah kedalam satuan liter lebih kurang 207.2 Liter/Minggu, jika kerapatan air rata-rata 1000 kg/m³. Sedangkan jumlah volume air yang masuk setiap harinya sebagai berikut (Huda 2018).

$$V = \frac{207.200 \text{ kg/m}^3}{6 \text{ hari}}$$

$$V = 34.53 \text{ Liter/hari}$$

Volume minyak yang berhasil dipisahkan dari permukaan air sejauh ini diukur rata-rata volumenya dengan menggunakan gelas ukur proses pengambilan dan pengukuran volume minyak ditampilkan pada gambar berikut.



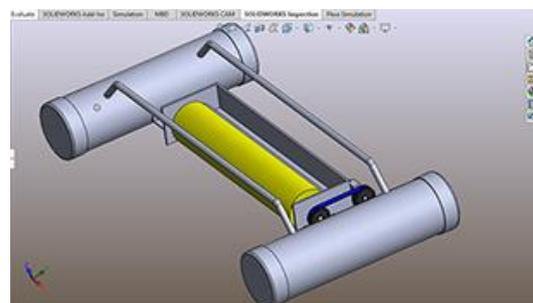
Ket : (a). Gambar pengumpulan minyak dari mesin skimming
(b). Gambar pengukuran volume minyak dengan gelas ukur
(c). Penuangan minyak dari wadah pengumpul
(d). Penyimpanan minyak yang diperoleh dari IPAL

Gambar 6 Pengukuran volume limbah minyak

Jumlah rata-rata minyak yang di ambil setiap 2 hari sekali mencapai 600 mL tergantung kondisi banyaknya minyak yang mencemari air di dalam kolam. Jika operator melihat jumlah minyak sudah banyak, maka tidak menunggu sampai 2 hari kerja untuk diambil dan dituang kedalam tangki penyimpanan, hal ini disesuaikan dengan kondisi.



Gambar 7 Tampilan data pada papan informasi



Gambar 8 Rancangan mesin drum skimming

Dari hasil pembacaan sensor telah menunjukkan angka yang memenuhi standar bagi limbah untuk dibuang ke lingkungan. Adapun hasil pembacaan sensor yang diletakkan pada kolam sebagai berikut.

Tabel 2 Data hasil pengujian

No	Jenis Sensor	Hasil Pengukuran
1	Sensor ph air	6-8
2	Sensor COD	47,8 mg/L
3	Sensor BOD	21,1 mg/L

Manfaat dari kegiatan kerjasama ini dirasakan oleh Fakultas Teknik UMSU dan PT.Waruna Shipyard Indonesia (WSI). Dari kegiatan ini, tim dari Fakultas Teknik UMSU mendapatkan kesempatan langsung ikut menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh masyarakat (Industri). Hal ini tentu menjadi pengalaman berharga dengan harapan dapat meningkatkan keterampilan dosen sehingga menghasilkan pembelajaran yang lebih inovatif nantinya di dalam perkuliahan.

Sedangkan manfaat yang dirasakan oleh PT.Waruna Shipyard Indonesia ialah adanya perubahan kemajuan karena permasalahan yang dihadapi berangsur dapat diselesaikan. PT.WSI juga mendapatkan pengalaman kolaborasi penelitian pemecahan masalah dan berbagi pengalaman kepada akademisi, dan hal ini sebuah kebanggaan dapat memajukan negeri. Kolaborasi ini juga meningkatkan pengetahuan dan keterampilan dari staff yang terlibat langsung sehingga mendambakan kompetensi SDM yang ada di PT.WSI. Hasil dari kegiatan ini akan dilanjutkan pada tahap pemantauan setiap tiga bulan (normalnya), dan pengembangan IPAL baik dari segi teknologi maupun metodenya. Selanjutnya mengumpulkan limbah yang telah dipisahkan untuk diteliti, apakah dapat dimanfaatkan kembali atau dimusnakan dengan prosedur yang ramah lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Minyak yang mencemari air dari proses reparasi kapal dan *cleaning* tangki kapal memiliki sifat fisik yang berbeda karena tidak terdiri dari satu jenis minyak. Hal ini mendorong semangat tim dari PT. Waruna Shipyard dan tim dari Fakultas Teknik UMSU untuk mengembangkan beberapa teknologi yang dapat mengatasi masalah. Teknologi dari skimming udara sangat membantu peningkatan kinerja dari kolam IPAL dimana udara bertekanan dapat mengangkat air di dalam kolam yang memanfaatkan kerapatan/berat jenis air. Penggunaan ijuk sebagai saringan juga sangat membantu dalam hal pemisahan kotoran yang kasar juga menghambat minyak pada suatu titik melalui permukaan yang kasar, sehingga minyak berkumpul dan mudah untuk dipisahkan. Hasil dari pengelolaan instalasi pengolahan air limbah pada PT. Waruna Shipyard sangat bagus karena telah memenuhi standar instalasi dan juga hasil uji laboratorium yang memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anita, S., Lubis, Z., & Elisabeth, J. (2021). Study of Crude Palm Oil (CPO) Handling and Storage Process in Palm Oil Mills in an Effort to Improve CPO Quality and Reduce the Risk of Contaminants Formation. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 9(2), 461–70. Retrieved from <https://doi.org/10.22146/jfps.2091>.
- Artur, B., Kniaziewicz, T., & Zdraż, R. (2021). The Emission of Harmful Compounds from the Marine Diesel Engine Fueled by a Blend of N-Butanol and Marine Fuel. *Combustion Engines*, 187(4), 90–95. Retrieved from <https://doi.org/10.19206/CE-142031>.

- Astuti, A. D., & Titah, H. S. (2020). Studi Fitoremediasi Polutan Minyak Bumi Di Wilayah Pesisir Tercemar Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Tumpahan Minyak Mentah Sumur YYA-1 Pesisir Karawang Jawa Barat). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 111-116. Retrieved from <http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/53046>.
- Bapennas. (2008). Bergerak Bersama Dengan Strategi Sanitasi Kota. *Departemen Pekerjaan Umum, Tim Teknis Pembangunan Sanitasi*. Retrieved from <https://s.id/1EmR8>.
- Biebl, H., & Pfenning, N. (1977). Growth of Sulfate-Reducing Bacteria with Sulfur as Electron Acceptor. *Archives of Microbiology*, 112(1), 15–17. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/843165/>.
- Hartini, R., Hasyim, H., & Ainy, A. (2022). Analisis Pengelolaan Limbah Cair di RSUP Dr. Mohammad Hoesin Palembang. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 2(02), 145–152.. Retrieved from <https://ejournal.fkm.unsri.ac.id/index.php/jikm/article/view/74>.
- Huda, N. T., (2018). Etnomatematika Pada Bentuk Jajanan Pasar Di Daerah Istimewa Yogyakarta. *JNPM (Jurnal Nasional Pendidikan Matematika)*, 2(2), 217-232. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.33603/jnpm.v2i2.870>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2016). Tumpahan Minyak (Oil Spill). *Direktorat Pendayagunaan Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil*.
- Larestani, A., Sarapardeh, A. H., & Naseri, A. (2022). Experimental Measurement and Compositional Modeling of Bubble Point Pressure in Crude Oil Systems: Soft Computing Approaches, Correlations, and Equations of State. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 212(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110271>
- Liu, Z., Chen, M., & Lin, C. (2022). Solar-Assisted High-Efficient Cleanup of Viscous Crude Oil Spill Using an Ink-Modified Plant Fiber Sponge. *Journal of Hazardous Materials*, 432(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128740>.
- Marliani, N. (2015). Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga (Sampah Anorganik) Sebagai Bentuk Implementasi Dari Pendidikan Lingkungan Hidup. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 4(2), 124–32. Retrieved from <https://journal.lppmunindra.ac.id/index.php/Formatif/article/view/146/140>.
- Nur, H., Saini, M., & Makbul, M. (2020). Penggunaan Bahan Bakar High Speed Diesel Dan Marine Fuel Oil Terhadap Biaya Operasi PLTD. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 18(1), 8-9. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v18i1.2232>.
- Pertamina. 2021. “Produsen Bahan Bakar Solar Industri Kapal Laut | Bahan Bakar Diesel - Pertamina One Solusi.” *Product IFM* 2(2):16–27. Retrieved from <https://onesolution.pertamina.com/Product/IFM?cat=product>.
- Saleem, S., Hu, G., Li J., & Sadiq, R. (2022). Evaluation of Offshore Oil Spill Response Waste Management Strategies: A Lifecycle Assessment-Based Framework. *Journal of Hazardous Materials*, 432(6). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128659>.
- Sathish, T., Saravanan, R., Vijayan, V., & Kumar, S. D. (2022). Investigations on Influences of MWCNT Composite Membranes in Oil Refineries Waste Water Treatment with Taguchi Route. *Chemosphere*, 298(7). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134265>.
- Spellman, F. R. (2008). Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations; Second Edition. *Taylor & Francis Group*. Retrieved from <https://doi.org/10.1201/9781420075311>.
- Suwari, A., & Hanipah, P. (2021). Penegakan Hukum Terhadap Tindak Pidana Pencemaran Tanah Akibat Limbah Industri. *Logika : Jurnal Penelitian Universitas Kuningan*, 12(2), 192–200. Retrieved from <https://journal.uniku.ac.id/index.php/logika/article/view/2509>.
- Umar, A. A., Saaid, I. B. M., & Pilus, R. B. M. (2018). A Review of Petroleum Emulsions and Recent Progress on Water-in-Crude Oil Emulsions Stabilized by Natural Surfactants and Solids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 165, 673–90. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.03.014>.

- Wulandari, N., Muchtadi, T. R., Budijanto, S., & Sugiyono. (2011). Physical Properties of Crude Palm Oil and Their Correlations to the Quality Attributes. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 22(2), 177–83. Retrieved from <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jtip/article/view/4274>.
- Yonguep, E., Kapiamba, K. F., Kabamba, K. J., & Chowdhury, M. (2022). Formation, Stabilization and Chemical Demulsification of Crude Oil-in-Water Emulsions: A Review. *Petroleum Research* 7(4), 459-472. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2022.01.007>.