



JURNAL GREEN CONSTRUCTION



KATA SAMBUTAN

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya Jurnal ini dapat diterbitkan. Sebagai Ketua Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna (STTST) Jakarta menyambut baik terbitnya Jurnal *Green Construction* Vol. 1, Nomor 1 Maret 2023 ini.

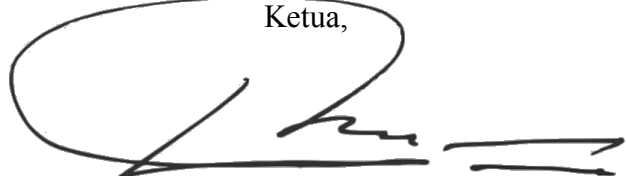
Penerbitan Jurnal ini bisa terealisasi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) STTST, karena partisipasi Rekan-rekan Dosen dan Mahasiswa yang sudah menyumbangkan tulisan dan hasil penelitiannya dalam penerbitan jurnal ilmiah ini.

Melalui mitra kerja dan ahli dalam bidangnya, saya berharap setiap lembar yang diterbitkan memiliki mutu ilmiah yang tinggi dan dapat dipertanggung jawabkan. Semoga kedepannya jurnal ilmiah ini akan memperoleh akreditasi dari Kementerian Pendidikan Kebudayaan Dikti dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

Saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-sebesar nya kepada Ketua Redaksi Jurnal *Green Construction* beserta Tim, Tim Editor dan Tim Reviewer, serta para penulis Jurnal *Green Construction* yang telah bekerja untuk dapat menyelesaikan proses penerbitan jurnal ini.

Akhir kata saya ucapkan selamat atas terbitnya jurnal *Green Construction*. Semoga Jurnal ini dapat menjadi rujukan bagi para pelaku konstruksi untuk masa depan dunia konstruksi Indonesia yang lebih baik.

Jakarta, 1 Maret 2023
Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna
Ketua,



DR. Ir. Timbul PM Panjaitan, MA

DAFTAR ISI
Jurnal Green Construction
Vol. 1 No.1, Maret 2023

<i>Analisis Kegagalan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal di Kabupaten Cianjur Akibat Gempa Sesar Cugenang 2022</i>	1
Tayashara Siti Wahdini, Effy Hidayaty, Bambang Tri Guno	
<i>Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air Baku (Sistem Penyediaan Air Minum) Ditinjau Dari Bendungan Jatibarang Proyeksi 25 Tahun Untuk Wilayah Semarang Barat</i>	9
Muhammad Zhafarul Harids, Harmadi, Iis Trisnawati	
<i>Konsentrasi Cemarkan Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Seng (Zn) pada Air Keluaran IPAL Industri Biskuit, Mie dan Susu</i>	15
Elsa Rahmawati, Endah Yunari Nugraheni dan Kristianti Utomo	
<i>Evaluasi Perbandingan Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik di Provinsi Dki Jakarta</i>	23
Benny Kusdinar, Aryan Pranaadi, Nandira Prameswari	
<i>Analisis Kegagalan Struktur Konstruksi Bangunan Permanen di Kabupaten Cianjur Akibat Gempa 2022</i>	33
Satria August Purnama, Eko Nurlita W, Elly Noriza	
<i>Mengenal Building Information Modeling (BIM)</i>	39
Eko Nurlita Widayati	
<i>Efisiensi Penurunan Logam Berat Pada Limbah B3 Dengan Varian Fly Ash Industri Pulp & Paper dan Insinerator Pada Proses Stabilisasi Dan Solidifikasi</i>	51
Guntur Laksono, Amaliyah, Taufik Octaviano	
<i>Potensi Kayu Tisuk, Gmelina Dan Sengon Sebagai Elemen Struktur Berdasarkan Sifat Fisisnya</i>	59
Sri Indah Setiyaningsih MSM	
<i>Optimalisasi Koagulan Untuk Peningkatan Kajian Kinerja Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedesih Citayam PT Tirta Asasta Depok</i>	63
Trimo Pamudji Al Djono, Raihan Nurriszka	

TIM REDAKSI JURNAL “GREEN CONSTRUCTION”

Penanggung Jawab : DR. Ir. Timbul PM Panjaitan, MA
Pimpinan Redaksi : Drs. J.A. Untung Aribowo, M.Si
Sekretaris : Egi Ruswandi, S.Pd
Dewan Redaksi : DR. Ir. Timbul PM Panjaitan, MA
Drs. J.A. Untung Aribowo, M.Si
Dra. Rr. Herliani, M.Si
Ir. Effy Hidayaty, MT
Tata Usaha : Moch. Syarif Maulana, S.Kom
Yudistira Samudra, S.E

Contact Person (CP) : (021) 8194644 / 0812-8398-3262 (J.A.Untung)
Alamat : Jl. D.I. Panjaitan Kav.12 Cawang Jakarta Timur

ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR PADA BANGUNAN RUMAH TINGGAL DI KABUPATEN CIANJUR AKIBAT GEMPA SESAR CUGENANG 2022

Tayashara Siti Wahdini¹, Effy Hidayaty², Bambang Tri Guno².

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna, Jakarta

²Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna, Jakarta

Email : tayasharawahdini@gmail.com

Abstrak

Gempa bumi adalah guncangan hebat yang menjalar ke permukaan bumi yang disebabkan oleh gangguan pada litosfer (kerak bumi). Gangguan ini terjadi karena pada lapisan kerak bumi dengan ketebalan 100 km atau lebih terjadi akumulasi energi akibat pergeseran kerak bumi. Patahan adalah patahan pada batuan yang mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian-bagian yang menghadap ke arah sejajar bidang patahan. Sesar Cugenang merupakan sesar baru yang teridentifikasi oleh BMKG pada tahun 2022. Setelah ditelusuri garis sesarnya, sesar Cugenang membentang melalui 9 desa yaitu desa Ciherang, desa Ciputri, desa Cibeureum, desa Nyalindung, desa Mangunkerta, desa Sarampad, desa Benjot, desa Cibulakan, dan desa Nagrak. Gempa bumi akibat Sesar Cugenang menyebabkan banyak rumah warga yang rusak, mulai dari rusak ringan hingga rusak berat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerusakan bangunan atau kegagalan struktur pada rumah penduduk akibat gempa Cianjur sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang melatarbelakangi terjadinya kegagalan struktur rumah tersebut. Desa Benjot dan Desa Cijedil merupakan dua desa yang paling terdampak gempa sesar Cugenang, karena letaknya yang dekat dengan pusat gempa sehingga sebagian besar kerusakan rumah warga terjadi akibat runtuhnya struktur tembok karena tidak ada ikatan yang konsisten antara kolom dan balok. Akibatnya, saat terjadi guncangan, susunan batu bata pada dinding tidak mampu menahan beban guncangan mengakibatkan roboh. Solusi dari permasalahan tersebut adalah membangun rumah dengan struktur baru yang lebih tahan gempa, dengan menggunakan metode rumah RISHA.

Kata Kunci : *Gempa Bumi, Sesar, Rumah RISHA*

Abstract

Earthquakes are violent shocks that spread to the earth's surface caused by disturbances in the lithosphere (earth's crust). This disturbance occurs because in a layer of the earth's crust with a thickness of 100 km there is an accumulation of energy due to shifts in the earth's crust. Faults are faults in rock that experience a shift so that displacement occurs between the parts facing parallel to the plane of the fault. The Cugenang Fault is a new fault identified by BMKG in 2022 after tracking and tracing the fault line. The Cugenang Fault transverses through nine villages, namely Ciherang, Ciputri, Cibeureum, Nyalindung, Mangunkerta, Sarampad, Benjot, Cibulakan, and Nagrak. The earthquake caused by this fault inflicted varying degrees of damage to numerous homes. A thorough investigation was conducted to analyze the damage and structural failures of homes affected by the Cianjur earthquake with the objective of identifying the underlying factors for the failures. Benjot Village and Cijedil Village bore the brunt of the earthquake since they were in close proximity to the epicenter. The damage in these villages was primarily due to the collapse of wall structures due to the lack of uniform bonding between the columns and beams. This structural flaw caused the arrangement of bricks on the walls to be unable to withstand the shock load, resulting in their collapse. To rectify this issue, it is imperative to construct new earthquake-resistant homes utilizing the RISHA house method.

Key Words : Earthquakes, Fault, RISHA house

PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia berada di wilayah lingkaran cincin api pasifik atau *ring of fire*, dimana merupakan pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Sekitar 90% dari gempa bumi yang terjadi dan 80% dari gempa bumi terbesar di dunia terjadi di sepanjang wilayah cincin api yang apabila bertemu dapat menghasilkan tumpukan energi yang akhirnya ketika energi tersebut dilepaskan akan berbentuk gempa bumi. Daerah gempa berikutnya 5-6% dari seluruh gempa dan 17% dari gempa terbesar adalah sabuk Alpide (sabuk seismik dan sabuk *orogenic* yang mencakup jajaran pegunungan yang membentang yang membentang hingga lebih dari 15.000 km disepanjang batas selatan Eurasia). Sabuk Alpide ini membentang dari Jawa ke Sumatera melalui Himalaya, Mediterania hingga Atlantika (Wikipedia, 2022). Cincin api Pasifik atau *Ring of Fire* memiliki radius 40.000 km dan situs aktif seismik yang membentang di Samudera Pasifik. Cincin api melacak titik pertemuan banyak lempeng tektonik, sehingga lempeng-lempeng tersebut terus bertabrakan atau bergerak diatas mau pun dibawah satu sama lain. Pergerakan inilah yang kemudian menghasilkan palung laut dalam, letusan gunung berapi, dan episentrum gempa disepanjang batas pertemuan lempeng yang disebut garis patahan atau sesar (Kompas, 2022).

Dalam publikasi Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 yang diterbitkan oleh Pusat Gempa Nasional, Indonesia memiliki sebaran sesar aktif yang sudah dapat teridentifikasi sampai saat ini dan masih akan terus bertambah. Pada 21 November 2022, gempa mengguncang Kabupaten Cianjur dengan kedalaman 10 km dan memiliki kekuatan magnitudo 5,6 pada Skala Richter. Akibat guncangan ini, banyak sekali rumah-rumah penduduk yang mengalami kerusakan mulai dari kerusakan ringan hingga berat.

Penyebab terjadinya gempa tidak saja akibat tumpukan lempeng, tetapi bisa juga akibat pergerakan patahan/sesar yang terjadi di daratan dengan kedalaman hiposentrum dangkal, seperti yang terjadi pada tanggal 22 November 2022 di daerah Cianjur, Jawa Barat.

Pada awalnya, BMKG memprediksi gempa yang mengguncang daerah Cianjur tersebut disebabkan oleh Sesar Cimandiri, karena letaknya yang berdekatan dan melewati Kabupaten Cianjur. Akan tetapi, setelah BMKG melakukan *tracing* pengukuran retakan dan jejak patahan di lokasi yang diduga sebagai *epicentrum* gempa Cianjur, Sesar Cimandiri bukanlah penyebab gempa tersebut melainkan ada sesar atau patahan baru yang teridentifikasi. Sesar Cugenang menjadi sesar baru yang teridentifikasi oleh BMKG dan menjadi penyebab Cianjur di guncang gempa. Sesar ini dinamakan Sesar Cugenang karena lokasi atau patahannya terdapat di Kecamatan Cugenang yang diidentifikasi sebagai *epicentrum* gempa Cianjur. BMKG menduga bahwa Sesar Cugenang ini masih menjadi bagian dari Sesar Cimandiri karena letaknya yang berdekatan. Namun, perlu ada kajian lebih mendalam terkait hipotesis tersebut. Kepala Pusat Gempa dan Tsunami mengatakan Sesar Cimandiri merupakan segmen sesar yang kompleks dan terdapat beberapa klaster patahan yang diketahui masih merupakan bagian dari Sesar Cimandiri, seperti Sesar Nyalindung – Cibeber, Sesar Rajamandala, dan segmen Sesar utama Cimandiri itu sendiri dan semua segmen memiliki histori aktivitas yang sangat aktif (Selamet, 2023).



Gambar 1. Peta Jalur Sesar Cugenang
Sumber : Tangkapan Layar YouTube info
BMKG – Konferensi Pers Gempa Cianjur

Sesar Cugenang membentang melewati 9 desa yaitu desa Ciherang, desa Ciputri, desa Cibeureum, desa Nyalindung, desa Mangunkerta, desa Sarampad, desa Benjot, desa Cibulakan, dan desa Nagrak. Gempa darat akibat Sesar Cugenang membuat banyak rumah-rumah penduduk mengalami rusak ringan hingga rusak berat. Untuk itu, dipilih topik kerusakan bangunan rumah penduduk dari beragam kerusakan di lapangan, sehingga perlu diteliti lebih lanjut perihal faktor-faktor kerusakan kegagalan struktur pada rumah-rumah yang rusak akibat guncangan gempa dari sesar Cugenang, sehingga nantinya bisa dibangun rumah-rumah yang tahan gempa di Cianjur maupun daerah Indonesia yang lainnya, sesuai dengan lokasi dan budaya masyarakat sekitar.

Studi Literatur

Saat ini, Pemerintah Indonesia tepatnya Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat membuat teknologi baru mengenai rumah tahan gempa yang disebut Rumah Instan Sederhana Sehat (RISHA). Teknologi RISHA adalah perwujudan sebuah rumah dengan desain modular, yaitu konsep yang membagi sistem menjadi bagian-bagian kecil atau modul dengan ukuran yang efisien agar dapat dirakit menjadi sejumlah besar produk yang berbeda-beda dan dapat

dikembangkan sesuai dengan kebutuhan (PUPR, 2018). Secara sederhana, konsep rumah RISHA diartikan sebagai rumah beton instan yang dibangun dengan teknik bongkar pasang. Daya tahan rumah RISHA sudah teruji secara SNI, dan sistem konstruksinya tahan oleh guncangan gempa berkekuatan hingga 8 pada Skala Richter, sehingga teknologi rumah RISHA sangat cocok dibangun kerusakan mulai dari yang di Indonesia yang rawan sekali gempa.

METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data primer dan juga data sekunder. Data primer diambil dengan melakukan observasi langsung ke lapangan pada tanggal 7 Desember 2022 yaitu mengunjungi desa-desa yang terdampak gempa Cianjur akibat sesar Cugenang dengan mengambil data berupa foto-foto bangunan rumah penduduk yang mengalami kerusakan, serta melakukan wawancara pada beberapa warga terdampak. Selain itu juga dibutuhkan data sekunder sebagai pelengkap dan penunjang informasi dari data primer yang didapatkan. Data sekunder diambil menggunakan studi literatur dari beberapa sumber referensi seperti buku, jurnal, dan *e-book* untuk mengetahui tentang gempa bumi dan juga penyebab terjadinya.

Metode Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, metode pengolahan data yang digunakan adalah metode pengolahan data kualitatif, karena penelitian dilakukan dengan cara observasi langsung ke lapangan. Pada metode pengolahan data dijelaskan prosedur pengolahan dan analisis data sesuai dengan pendekatan yang dilakukan.

Secara umum, metode pengolahan data akan melalui beberapa tahapan yaitu sebagai berikut: *Editing* (Pemeriksaan Data) yaitu membersihkan dan mempersiapkan data-data

yang telah dikumpulkan dari kelengkapan jawaban, kejelasan, kesesuaian, dan relevansinya; *Classifying* (Klasifikasi) yaitu proses pengelompokan semua data dari berbagai sumber. Seluruh data tersebut ditelaah secara mendalam, kemudian digolongkan sesuai dengan kebutuhan. Kemudian data-data tersebut dibagi berdasarkan bagian-bagian yang memiliki persamaan; *Verifying* (Verifikasi), yaitu proses memeriksa data dan informasi yang telah dikumpulkan agar validitas data dapat diakui dan digunakan dalam penelitian. Kemudian data dikonfirmasi ulang atau divalidasi.

Tahap selanjutnya adalah *Analyzing* (Analisis) yaitu Tahap penganalisisan data dilakukan setelah kamu melalui tahap pengolahan data. Hasil olahan data itu kemudian akan kamu analisis dan ditafsirkan sehingga data tersebut dapat dipahami sebagai sebuah informasi, dan tahapan terakhir *Concluding* (Kesimpulan), yaitu yang akan menjadi informasi terkait dengan objek penelitian.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis

Gempa yang mengguncang Kabupaten Cianjur pada 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 pada Skala Richter menyebabkan banyak rumah-rumah penduduk yang mengalami kerusakan baik rusak ringan hingga rusak berat. Dari data kerusakan yang terjadi, Pemerintah dengan sigap membantu masyarakat Cianjur khususnya yang berlokasi didekat episentrum gempa dengan membuat tenda-tenda darurat dan juga posko pengungsian serta merelokasi warga dengan kondisi rumah rusak berat dan sudah tidak layak huni atau berada pada jalur sesar.

Pemerintah juga sudah menyiapkan lahan untuk membangun rumah RISHA untuk warga yang akan direlokasi. Total lahan yang dibutuhkan adalah seluas 30 hektare dengan jumlah 1.800 rumah yang mengalami kerusakan berat dan berada di jalur sesar Cugenang. Lahan yang akan digunakan adalah

lahan yang berada di wilayah Kecamatan Cilaku dan juga Kecamatan Mande yang merupakan wilayah aman dan tidak termasuk dalam jalur sesar Cugenang

a. Kerusakan Ringan (*Light Damage*)

Kerusakan ringan memiliki ciri-ciri sebagai berikut : adanya retak pada dinding; plesteran berjatuh; kerusakan hanya mencakup luasan yang terbatas; masih layak huni; perbaikan dapat dilakukan secara arsitektur tanpa mengosongkan bangunan.

Langkah pertama yang dilakukan adalah menganalisis kerusakan ringan yang terjadi pada beberapa rumah penduduk. Kerusakan ringan umumnya tidak menimbulkan korban jiwa dan tergolong dalam kategori aman untuk ditinggali.

Pada rumah tinggal yang mengalami kerusakan ringan, kerugian yang ditimbulkan tidak terlalu signifikan dan tidak terlalu memakan banyak biaya untuk perbaikan. Contoh rumah yang mengalami kerusakan ringan bisa dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Retakan Ringan pada Dinding Rumah di Desa Benjot

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada gambar di atas, retakan hanya terjadi pada satu titik tertentu dan sebagian besar rumah masih utuh. Struktur rumah tersebut juga masih kuat untuk menopang beban serta masih sangat layak untuk dihuni.



Gambar 3. Plester Dinding yang Terkelupas di Desa Benjot

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Contoh lainnya adalah pada gambar 3 di atas, dinding rumah mengalami pengelupasan dan terlihat susunan batako yang mengalami sedikit keretakan. Selain itu terdapat pula sedikit retakan pada ujung dinding sehingga menimbulkan celah, namun balok dan kolom masih saling mengikat satu sama lain, sehingga tidak menimbulkan keruntuhan dinding dan masih layak huni.

b. Kerusakan Sedang (*Moderate Damage*)

Kerusakan sedang umumnya satu tingkat di atas kerusakan ringan, dimana hal tersebut dapat menimbulkan korban dengan luka ringan. Kerusakan sedang terbagi menjadi dua kategori yaitu masih aman ditinggali jika struktur bangunannya masih berdiri kokoh dan tidak aman ditinggali jika struktur mengalami pergeseran atau kelemahan.

Kerusakan sedang memiliki ciri-ciri sebagai berikut: Adanya retak besar; Retakan menyebar luas di banyak tempat termasuk kolom dan balok; Kemampuan struktur untuk memikul beban sudah berkurang sebagian; Masih tergolong layak huni; Perbaikan dilakukan secara arsitektur dan perkuatan bagian struktur untuk menahan beban, bangunan perlu dikosongkan dan dihuni kembali setelah proses perbaikan selesai.

Pada rumah tinggal yang mengalami kerusakan sedang, umumnya menimbulkan kerugian dengan cukup memakan biaya dan waktu pengerjaan perbaikan struktur yang memakan waktu. Contoh kegagalan struktur

yang mengalami kerusakan sedang bisa dilihat dari gambar di bawah ini.



Gambar 4. Dinding Rumah Mengalami Keruntuhan di Desa Benjot

Sumber : Dokumentasi Pribadi

c. Kerusakan Berat (*Major Damage*)

Kerusakan berat terjadi karena struktur bangunan yang sudah tidak lagi mampu menahan beban dan guncangan gempa. Kerusakan berat umumnya menyebabkan kerugian materil yang tinggi dan tidak jarang pula menyebabkan korban jiwa.

Kerusakan berat memiliki ciri-ciri sebagai berikut: Bangunan roboh sebagian atau seluruhnya; Tidak bisa dihuni; Seluruh komponen utama struktur rusak; Bangunan perlu dirubuhkan, melakukan pembersihan puing dan dibangun kembali bangunan yang baru.



Gambar 5. Rumah Semi Permanen Mengalami Keruntuhan Dinding di Desa Benjot

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada gambar diatas, dinding mengalami keruntuhan karena tidak adanya ikatan atau angkur antar kolom ataupun balok. Ketiadaan kolom di tengah-tengah, membuat dinding tidak ada pengikat yang menahan guncangan, sehingga, ketika terjadi getaran, dinding tidak mampu menahan beban guncangan



Gambar 6. Rumah Permanen Mengalami Keruntuhan Dinding di Desa Benjot
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Contoh lain bisa dilihat pada gambar 6, dimana tidak terlihat kolom di salah satu sisi bangunan, sehingga tidak ada ikatan atau angkur antara kolom dan balok sebagai penopang agar rumah tidak mengalami kerusakan atau rubuh. Meskipun dinding rubuh, atap bangunan tersebut masih terbilang utuh, karena disusun dari seng atau asbes. Hal ini disebabkan oleh susunan atap kayu dan seng merupakan bahan yang memiliki massa ringan dan cenderung fleksibel dengan guncangan.



Gambar 7. Rumah Semi Permanen Mengalami Keruntuhan Struktur di Desa Cijedil
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada gambar 7 di atas, terlihat seluruh struktur mengalami keruntuhan dan hanya tersisa pada bagian atap. Hal ini terjadi karena pada saat tanah mengalami guncangan, fondasi cenderung mengikuti pergerakan guncangan tanah, namun kolom dan balok tidak mampu menahan getaran yang terjadi. Akibat tidak terikat antara fondasi, kolom, dan balok, ketika bagian-bagian stuktur tidak diangkurkan atau diikat secara konsisten, seluruh dinding akan mengalami keruntuhan dan kuda-kuda yang ada di bagian atas, ikut tertarik karena tidak ada penopang yang kuat di bawahnya.

Secara keseluruhan, berdasarkan data BNPB, risiko yang ditimbulkan akibat Gempa Cianjur yang terjadi pada tanggal 21 November 2022 adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Cianjur 2022

Bangunan Rusak		
Rusak Berat	Rusak Sedang	Rusak Ringan
14.581 unit	17.198 unit	28.110 unit
24,34%	28,71%	46,95%
Total Rumah Rusak : 59.889 unit		

Sumber: BNPB-Data dampak Gempa bumi Cianjur, 21 Desember 2022

Teknologi Rumah RISHA Sebagai Solusi Rumah Tahan Gempa

RISHA merupakan salah satu teknologi rumah tahan gempa dengan struktur pracetak beton bertulang. RISHA memiliki tiga komponen penting, yaitu : Komponen utama (P1) berukuran 120 cm x 30 cm x 10 cm yang berfungsi sebagai penopang struktur bangunan dan dibangun dengan sistem *knock down* dan baut; Komponen kedua (P2) berukuran 120 cm x 20 cm x 10 cm yang berfungsi sebagai pemangku kolom struktur; Komponen ketiga (P3) berukuran 30 cm x 30 cm x 10 cm berfungsi sebagai pengikat komponen lainnya.

Bangunan RISHA memiliki struktur tahan gempa dari beton bertulang, karena adanya sistem sambungan yang berperilaku seperti bangunan kayu. Jika terjadi gempa, struktur

bangunan RISHA tidak patah, walaupun terkena guncangan gempa hingga kekuatan 8 pada Skala Richter, sehingga minim kerusakan. Sistem *knock down* pada rumah RISHA menjadikan pembangunan rumah ini relatif singkat, karena komponennya berukuran modular, sehingga memudahkan perancangan.

Sebelumnya, Kementerian PUPR sudah membangun dengan total 11.000 unit rumah RISHA di Aceh untuk menaungi korban Tsunami dan saat ini sudah dibangun 60.000 unit rumah RISHA di seluruh wilayah Indonesia

KESIMPULAN

Dari pembahasan mengenai dampak kerusakan akibat gempa Cianjur, terlihat gempa sesar Cugenang adalah gempa darat yang bersifat merusak, sehingga dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Dampak-dampak yang ditimbulkan dari Gempa Sesar Cugenang berupa rumah-rumah penduduk banyak mengalami kerusakan, dimulai dari kerusakan ringan 24,34%, rusak sedang 28,71%, dan rusak berat 46,95%; tanah bergeser sehingga menyebabkan jalan retak dan tanah longsor.

Faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan struktur pada rumah penduduk, karena mayoritas rumah penduduk adalah rumah permanen, yang memiliki struktur kaku dan tidak tahan gempa terbukti banyak kerusakan yang terjadi pada rumah-rumah penduduk, karena pembangunan rumah tidak dilaksanakan berdasarkan standar teknis pembangunan rumah tahan gempa. Mayoritas dinding rumah mengalami keruntuhan karena tidak saling terikat atau terangkut pada kolom dan balok. Sebagian rumah rubuh diakibatkan ketiadaan balok dan kolom sebagai penyangga struktur yang kuat. Pada rumah kayu keruntuhan struktur diakibatkan karena material kayu yang sudah lapuk.

SARAN

Secara keseluruhan dari hasil penelitian, disarankan sebaiknya menggunakan data gempa yang lebih banyak seperti mengambil data gempa yang terjadi di Jawa Barat selama 50 tahun, agar data yang diperoleh jauh lebih rinci.

Masyarakat sebaiknya mulai beralih pada Rumah RISHA karena rumah RISHA menjadi solusi paling ekonomis dan efisien untuk struktur rumah tahan gempa dan bisa menahan guncangan gempa hingga kekuatan 8 SR.

Pemerintah Pusat atau setempat sebaiknya mendorong penggunaan teknologi RISHA untuk menggantikan bangunan-bangunan yang rusak berat.

DAFTAR PUSTAKA

"Wikipedia," 16 December 2022. [Online]. Available:

https://id.wikipedia.org/wiki/Cincin_Api_Pasifik. [Accessed 09 January 2023]

Kompas, "Mengenal *Ring of Fire*, Penyebab Indonesia Rawan Gempa," Kompas, 10 Februari 2022. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/sains/read/2022/02/10/183200823/mengenal-ring-of-fire-penyebab-indonesia-rawan-gempa?page=all>

[Accessed 09 Januari 2023].

I. Selamat, "Sesar Cugenang Diduga Bagian dari Sesar Cimandiri," detik Jabar, 04 Januari 2023. [Online]. Available: <https://www.detik.com/jabar/berita/d-6498429/sesar-cugenang-diduga-bagian-dari-sesar-cimandiri> . [Accessed 09 Januari 2023].

B. P. d. P. K. PUPR, "Teknologi RISHA," Kementerian PUPR, 2018. [Online]. Available: <http://elearning.litbang.pu.go.id/teknologi/risha> [Accessed 09 Januari 2023].

- B. Mustafa, "Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera Barat," *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol 2 NO 1, pp. 44 - 50, 2010.
- N. H. d. E. W. Santoso, "Gempa Bumi dan Mekanismenya," *Alami*, vol. 2, p. 50, 1997.
- Kompas, "Mengenal Jenis-jenis Gempa Bumi, Salah Satunya Gempa Tektonik," Kompas, 23 November 2022. [Online]. Available: <https://regional.kompas.com/read/2022/11/23/232443578/mengenal-jenis-jenis-gempa-bumi-salah-satunya-gempa-tektonik?page=all>
[Accessed 09 Januari 2023].
- BMKG, "Skala Intensitas Gempabumi" BMKG, [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-intensitas-gempabumi.BMKG>.
[Accessed 09 Januari 2023].
- BMKG, "Skala MMI (Modified Mercalli Intensity)," [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-MMI> BMKG
[Accessed 2023 Januari 2023].
- K. Tjandra, "4 Bencana Geologi yang Paling Mematikan," 2017.
- I. G. B. Arjana, "Geografi Lingkungan : Sebuah Introduksi," 2017.
- Syamsuddin, Lantu, M. A. Massinal and S. Akbar, "Identifikasi Sesar Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metoda," *POSITRON*, Vols. Vol. II, No. 2, pp. 33-39, 2012.
- F. Afifah, Tumingan and Pramono, "PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN," *INERSIA*, vol. Vol. VIII No.1, p. 14, 2016.
- E. S. Haryanto, "Rumah Tinggal".
- M. R. Fadillah, "*Metode Analisis Perhitungan Struktur Bangunan Tahan Gempa*," *Jurnal Student Teknik Sipil*, Vol. Volume 2 No 3, pp. 178-179, 2020.
- H. BSN, "Rawan Gempa, BSN Tetapkan SNI Bangunan Tahan Gempa," BSN, Februari 2021. [Online]. Available: https://www.bsn.go.id/main/berita/berita_det/11776.
[Accessed 09 Januari 2023].
- F. A. Ikhsan and A. Dianingrum, "Adaptasi Ruang Berdasarkan Perilaku Penghuni Sub Komunal," *Jurnal Ilmiah Arsitektur dan Lingkungan Binaan*, vol. Volume 19 Issue 2, p. 318, 2021.

ANALISIS KETERSEDIAAN DAN KEBUTUHAN AIR BAKU (SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM) DITINJAU DARI BENDUNGAN JATIBARANG PROYEKSI 25 TAHUN UNTUK WILAYAH SEMARANG BARAT

Muhammad Zhafarul Harids¹, Harmadi², Iis Trisnawati²

¹Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

²Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email : muhzhafarulharids@gmail.com

ABSTRAK

Pada umumnya air menjadi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya yang tidak dapat dipisahkan. Kegiatan sehari-hari manusia tidak bisa lepas dari air, mulai dari memasak, mencuci, mandi, serta elemen pada tubuh manusia salah satunya terdiri dari air. Oleh karena itu, air bersih yang tidak mengandung bahan kimia yang dapat membahayakan dan mengganggu fungsi tubuh manusia sangat diperlukan. Tujuan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan air bersih selama 25 tahun kedepan dan menganalisis ketersediaan air bersih terhadap kebutuhan air di 3 kecamatan, yaitu Semarang Barat, Tugu dan Ngaliyan. Beberapa metode yang digunakan dalam perhitungan proyeksi penduduk, antara lain : Metode Aritmatik dan Metode Geometrik. Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Kebutuhan air untuk 25 tahun kedepan sudah tercukupi karena jumlah dalam Kebutuhan Air Normal, Kebutuhan Air dalam Faktor Harian Maksimum, dan Kebutuhan Air dalam Faktor Jam Puncak masih belum melewati rata-rata dari debit *outflow* Bendungan Jatibarang.

Kata Kunci : Kebutuhan Air, Bendungan, Ketersediaan Air, Air Minum, Proyeksi Penduduk.

ABSTRACT

In generally, water as human needs and other living things who never separated. Now everyday activity of human can not separated from water, such as cook, wash, shower, as well as element of human, one which consist of water. Therefore, clean water that does not contain harmful chemicals and interfere with function of the human body is very necessary. The purpose of research to determine the need for clean water for the next 25 years and to analyze the avability of clean water towards water needs in 3 districts, namely West Semarang, Tugu and Ngaliyan. There are several methods used in projections of calculation, these methods include : Arithmetic Method and Geometric Method. Drinking water is water that goes through a treatment process or without a processing process that meets health requirements and can be drunk directly. Water needs for the next 25 years has been sufficient because the amount is in Normal Water Needs, Water Needs in Daily Factors, and Water Needs in Peak Hour Factor is still below the average from outflow debit average Jatibarang Dam.

Keywords : Water Needs, Dam, Water Avability, Drinking Water, Population Projection.

PENDAHULUAN

Angka penggunaan air PDAM yang cukup tinggi memacu pemerintah Kota Semarang berencana membangun sistem penyediaan air minum, dimana proyek tersebut dinamakan proyek SPAM Semarang Barat. Proyek SPAM Semarang Barat mengambil pasokan air dari *intake* Bendungan Jatibarang yang kemudian dialirkan ke beberapa reservoir di Kota Semarang.

Proyek tersebut dimulai pada tahun 2019 dan direncanakan sudah dapat beroperasi pada tahun 2021. Dengan beroperasinya SPAM tersebut, beberapa wilayah di Kota Semarang akan mendapatkan pasokan air yang baru dan diharapkan pasokan air tersebut bisa mencukupi untuk kebutuhan sehari-hari masyarakat di kota tersebut. Wilayah yang direncanakan mendapatkan pasokan air yang baru tersebut meliputi: Kecamatan Semarang, Kecamatan Tugu, dan Kecamatan Ngaliyan, sehingga wilayah ini dapat terpenuhi kebutuhan airnya.

Studi Literatur

Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Sering kali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air.

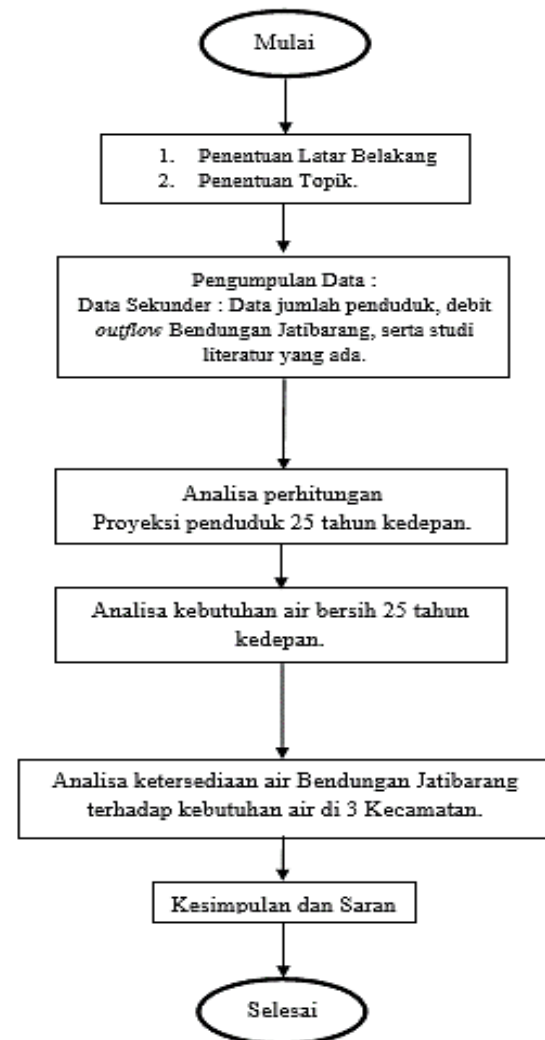
Bendungan merupakan bangunan air yang dibangun secara melintang sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai di sekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui pintu sadap ke saluran-saluran pembagi kemudian hingga ke lahan-lahan pertanian. (Kartasapoetra, 1991)

Suatu bendungan dapat dipandang dari beberapa segi yang masing-masing menghasilkan tipe bendungan yang berbeda-beda. Dalam hal ini, pembagian dari tipe bendungan dapat dilihat dari tujuh keadaan,

yaitu: berdasarkan ukurannya, tujuan pembangunannya, penggunaannya, jalannya air, konstruksi, fungsinya dan menurut ICOLD (*The International Commission on Large Dams*).

METODE PENELITIAN

Secara keseluruhan, tahapan penulisan karya tulis ini sebagai berikut ini :



Menurut kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU:

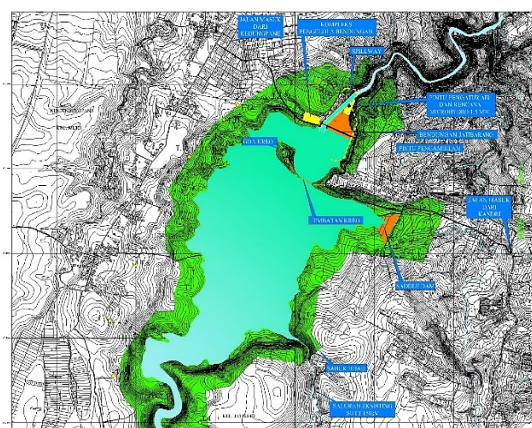
1. Konsumsi sambungan rumah tangga : 170 liter/orang/hari.
2. Konsumsi sambungan hidran umum adalah : 30 liter/orang/hari.
3. Perbandingan antara sambungan rumah tangga dan hidran umum adalah:

SR : HU = 80 : 20

Lokasi Penelitian

Bendungan Serba Guna Jatibarang terletak di Desa Tahun Kacang Kelurahan Kandri Kecamatan Gunung Pati Kota Semarang, tepatnya di Sungai Kreo, kurang lebih 13 km ke arah hulu dari pertemuannya dengan Sungai Garang atau 23 km ke arah hulu dari muara Kanal Banjir Barat. Pembangunan tersebut dimulai pada tahun 2009 dan selesai pada tahun 2014 dengan fungsi utama pengendalian banjir dan penyediaan air baku kota Semarang.

- Lebar Mercu : 10,00 m
- Kemiringan Lereng Hulu : 1 : 2,6
- Kemiringan Lereng Hilir : 1 : 1,8
- Volume Timbunan : 821 000 m³
 - Core : 119 000 m³
 - Contact Clay : 4 600 m³
 - U/S Semiprevious : 33 000 m³
 - D/S Semiprevious : 24 000 m³
 - D/S Coarse Semiprevious : 25 000 m³
 - Inner Previous : 96 000 m³
 - Outer Previous : 295 000 m³
- Riprap : 25 000 m³
- Gallery :
 - Diameter : 2.00 m
 - Panjang Total : 238.00 m



Gambar 1 : Denah Bendungan Jatibarang
Sumber : Penulis



Gambar 2 Tampak Atas Bendungan Jatibarang
Sumber : Penulis

Bendungan

- Tipe : Timbunan batu dengan inti tegak.
- Tinggi diatas pondasi : 73.00 m
- Elevasi Mercu : +157.00 m
- Panjang Mercu : 200,00 m

ANALISIS & PEMBAHASAN

Tabel 1 : Debit Outflow Waduk Jatibarang Tahun 2016-2020

BULAN	MINGGU	TAHUN				
		2016	2017	2018	2019	2020
Januari	1	0,316	4,137	4,365	1,260	2,291
	2	0,310	7,859	7,385	2,286	2,668
Februari	1	0,275	8,248	7,147	4,273	4,095
	2	4,638	8,900	10,021	4,063	6,652
Maret	1	5,047	7,386	9,226	4,737	8,357
	2	3,749	6,547	7,054	6,002	4,515
April	1	5,047	6,482	3,364	8,239	5,725
	2	3,664	5,114	2,719	5,321	2,760
Mei	1	1,833	5,365	1,356	5,122	4,369
	2	2,841	2,220	1,825	2,158	2,964
Juni	1	1,833	2,774	1,260	1,238	1,948
	2	3,251	1,741	1,260	0,661	0,966
Juli	1	1,287	1,054	1,260	0,492	1,105
	2	2,419	1,048	0,999	0,370	0,900
Agustus	1	0,872	0,688	0,343	0,326	0,902
	2	0,969	0,410	0,210	0,490	0,900
September	1	0,901	0,223	0,233	0,430	0,900
	2	4,273	0,479	0,210	0,430	0,900
Oktober	1	5,307	1,344	0,210	0,800	2,176
	2	2,334	3,027	0,359	0,800	2,321
November	1	4,506	2,102	0,550	0,800	2,046
	2	4,476	4,810	0,550	0,810	1,424
Desember	1	4,552	5,841	0,998	0,800	3,000
	2	5,186	4,282	1,260	0,800	3,000
Rata-rata(m ³ /s)		2,912	3,837	2,673	2,196	2,787

Sumber : BBWS Pemali Juana

Kebutuhan Air Baku

Tabel 2 : Jumlah Penduduk Kecamatan Semarang Barat, Tugu dan Ngaliyan.

No.	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Tahun 2019)
1	Kecamatan Semarang Barat	157.348
2	Kecamatan Tugu	33.308
3	Kecamatan Ngaliyan	139.338
Total penduduk (jiwa)		329.994

Penggunaan air berbeda dari satu ke kota lainnya, tergantung pada cuaca, ciri-ciri masalah hidup, penduduk, industrialisasi dan faktor lainnya. Pada suatu kota tertentu penggunaan air juga berubah dari musim ke musim, hari ke hari serta jam ke jam.

Perhitungan Proyeksi Penduduk

1. Metode Geometrik

Rumus dasar metode geometrik yaitu :

$$P_n = P_o (1 + r)^n$$

Dari data di atas didapat :

$$P_o = 165171 \text{ jiwa}$$

$$r = + 1,59 \%$$

$$= + 0,0159$$

didapat persamaan *forward projection* :

$$P_n = 165171 (1 + 0,0159)^n$$

2. Metode Aritmatik

Rumus dasar metode aritmatik yaitu :

$$P_n = P_o + n r$$

$$r = \frac{P_o - P_t}{t}$$

dari data di atas didapat :

$$P_t = \text{jumlah penduduk pada tahun 2014}$$

$$= 122520 \text{ jiwa}$$

$$P_o = 165171 \text{ jiwa}$$

$$T_o = 2019$$

$$T_t = 2014$$

$$r = \frac{(165171 - 122520)}{(2019 - 2014)}$$

$$r = 0,0092$$

didapat persamaan aritmatik :

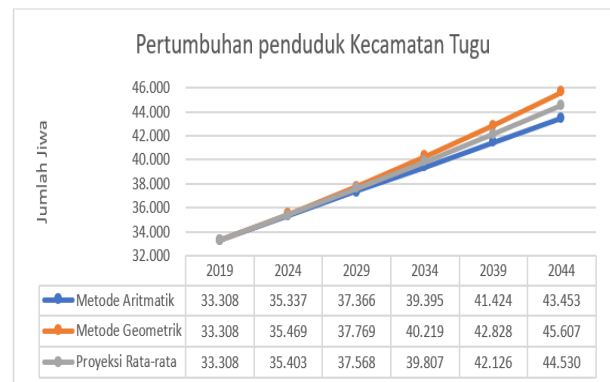
$$P_n = P_o + nr$$

$$P_n = 165171 + 0,00666 n$$

Tabel 3 : Total Proyeksi Penduduk di 3 Kecamatan

Tahun	Kecamatan			Total Penduduk (Jiwa)
	Semarang Barat	Tugu	Ngaliyan	
2019	157.348	33.308	162.587	353.243
2024	156.058	35.403	209.157	400.618
2029	154.774	37.568	264.401	456.743
2034	153.495	39.807	331.152	524.454
2039	152.220	42.126	413.169	607.515
2044	150.951	44.530	515.438	710.919

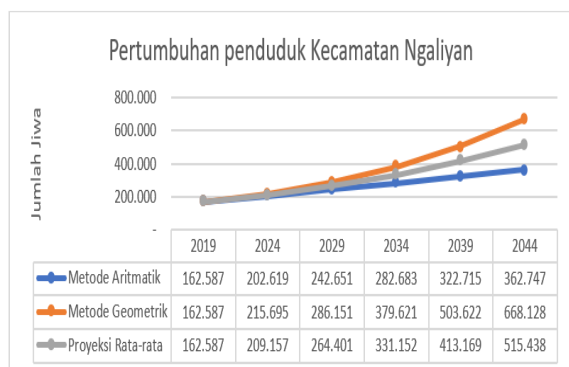
Dari analisis di atas didapat jumlah penduduk dari 3 kecamatan berjumlah 850.834 jiwa pada tahun 2044 (proyeksi 25 tahun), maka sesuai Tabel diatas, termasuk dalam kategori kota metropolitan dengan jumlah penduduk berkisar < 1.000.000 jiwa.



Gambar 3. Proyeksi Penduduk Kecamatan Semarang Barat 2019-2044



Gambar 4. Proyeksi Penduduk Kecamatan Tugu 2019-2044



Gambar 5. Proyeksi Penduduk Kecamatan Ngaliyan 2019-2044

Kebutuhan Air Bersih

Dari hasil perhitungan kebutuhan air bersih di 3 kecamatan tersebut, maka diperoleh tabel rekapitulasi kebutuhan air bersih seperti dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tahun 2019 (awal tahun rencana) diketahui bahwa total kebutuhan air bersih di 3 Kecamatan adalah sebesar 758,714 liter/detik (0,759 m³/detik), pada tahun 2044 (proyeksi 25 tahun) didapat total kebutuhan air bersih di 3 kecamatan adalah sebesar 1537,071 liter/detik (1,537 m³/detik)

Tabel 4. Kebutuhan Air bersih di 3 kecamatan pada kondisi normal.

Kebutuhan air di 3 kecamatan pada saat normal						
Kecamatan	2019	2024	2029	2034	2039	2044
Semarang Barat	0,338	0,341	0,344	0,347	0,350	0,354
Tugu	0,073	0,078	0,082	0,087	0,093	0,098
Ngaliyan	0,348	0,446	0,561	0,701	0,872	1,085
Total (m3/det)	0,759	0,864	0,988	1,135	1,315	1,537

Dalam melakukan analisis berikutnya, berdasarkan data hasil perhitungan total kebutuhan air bersih pada Tabel 4 (kebutuhan normal), selanjutnya dihitung untuk kebutuhan air bersih pada harian maksimum dan jam puncak, seperti terlihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Kebutuhan air bersih pada harian maksimum dengan mengalikan faktor 1,10, pada tahun 2019 sebesar 834,585 liter/detik (0,835

m³/detik) dan pada tahun 2044 (proyeksi 25 tahun) sebesar 1690,778 liter/detik (1,691 m³/detik). Sedangkan kebutuhan pada jam puncak dengan mengalikan faktor 1,50, tahun 2019 sebesar 1138,072 liter/detik (1,138 m³/detik) dan pada tahun 2044 (proyeksi 25 tahun) diperoleh sebesar 2305,606 liter/detik (2,306 m³/detik)

Tabel 5 : Kebutuhan Air Faktor Harian Maksimum di 3 Kecamatan (m³/detik)

Kebutuhan air di 3 kecamatan pada saat faktor harian maksimum (FHM)						
Kecamatan	2019	2024	2029	2034	2039	2044
Semarang Barat	0,371	0,375	0,378	0,382	0,386	0,389
Tugu	0,080	0,085	0,091	0,096	0,102	0,108
Ngaliyan	0,383	0,490	0,617	0,771	0,959	1,194
Total (m3/det)	0,835	0,950	1,086	1,249	1,446	1,691

Tabel 6 Kebutuhan Air Faktor Jam Puncak di 3 Kecamatan (m³/detik)

Kebutuhan air di 3 kecamatan pada saat faktor jam puncak (FJP)						
Kecamatan	2019	2024	2029	2034	2039	2044
Semarang Barat	0,507	0,511	0,516	0,521	0,526	0,531
Tugu	0,109	0,116	0,124	0,131	0,139	0,147
Ngaliyan	0,522	0,668	0,842	1,051	1,308	1,628
Total (m3/det)	1,138	1,296	1,481	1,703	1,972	2,306

Pada tabel 6 merupakan rekapitulasi jumlah kebutuhan air pada faktor jam puncak di 3 kecamatan (Semarang Barat/Tugu dan Ngaliyan pada tahun 2019 sampai dengan tahun 2044, dimana jumlah total kebutuhan air tertinggi pada tahun 2044 adalah sebesar 2,306 m³/detik.

Untuk proyeksi 25 tahun ke depan, diperoleh gambaran seperti pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Faktor Ketersediaan Air Untuk Proyeksi 25 Tahun

Jenis Faktor	Faktor	2019	2044
Faktor Kebutuhan Normal (m ³ /det)	1,00	0,759	1,537
Faktor Harian Maksimum (m ³ /det)	1,10	0,853	1,691
Faktor Jam Puncak (m ³ /det)	1,15	1,138	2,306

KESIMPULAN

Hasil rata-rata debit outflow selama tahun 2016-2020 sebesar 2,881 m³/detik. Pada daerah tinjauan lokasi Bendungan Jatibarang menunjukkan bahwa ketersediaan air yang cukup dari tahun 2019 (awal tahun rencana) adalah sebesar (0,759 m³/detik) untuk proyeksi 25 tahun kedepan (Tahun 2044) sebesar (1,537 m³/detik).

Dalam menyuplai air pada 3 kecamatan yang ditinjau memiliki 3 momen faktor kebutuhan air normal, kebutuhan air dalam faktor maksimum dan kebutuhan air dalam faktor jam puncak masih belum melewati rata-rata dari debit *outflow* dan bendungan *outflow* Bendungan Jatibarang, yang pada akhirnya air untuk 25 tahun kedepan sudah tercukupi.

SARAN

Daerah cakupan atau daerah genangan Bendungan Jatibarang diperluas agar meningkatkan volume tampungan bendungan tersebut, akan tetapi hal ini harus dilakukan dengan penelitian lebih lanjut lagi.

Masyarakat harus ikut andil dalam pelestarian sumber daya air dan penggunaan air harus seefisien mungkin. Selain dalam penggunaan air, masyarakat juga diharuskan menjaga kebersihan dan pelestarian sumber-sumber air agar dapat digunakan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Undang-Undang Republik Indonesia, Nomor 17 Tahun 2019, Sumber Daya Air
- Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS, Modul Kuliah Irigrasi dan Bangunan Air, 2018.
- Kartasapoetra, A.G., Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi, Badan Penerbit Bumi Aksara, Hal 37, 1991
- Ir. CD. Soemarto, B.I.E, Dipl.H, Hidrolika Teknik, (Graha Nasional : Surabaya)
- Peraturan Pemerintah tentang Pengendalian Pencemaran Air, 1990
- Kementerian PU. *Kebutuhan Air Hari Maksimum*
- BPS Kota Semarang, Kecamatan Tugu dalam Angka 2020
- BPS Kota Semarang, Kecamatan Ngaliyan dalam Angka 2020
- BPS Kota Semarang, Kecamatan Semarang Barat dalam Angka 2020
- Dirjen Cipta Karya PU, Modul Proyeksi Kebutuhan Air dan Identifikasi Pola Fluktuasi Pemakaian Air.
- Tri Joko, Unit Air Baku Dalam Penyediaan Air Minum, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2010
- Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juwana, Operasional dan Pemeliharaan Waduk Jatibarang, Semarang 2020
- Surawira, Unus, Air Dalam Kehidupan Lingkungan Yang Sehat. Bandung, 1996
- Hefni Effendi, telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan, Yogyakarta, Kanisius 2003.
- Indah Prasetyowati, Tri Purnama Sari. Tingkat Pengetahuan Tentang Pentingnya Mengonsumsi Air Mineral pada siswa kelas IV di SD Negeri Keputran A Yogyakarta. Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia 2014.
- Sumiyati. Agus Subagiyo, Arum Lusiana. Sanitasi dan Kualitas Air Minum pada Depot Air Minum (DAM). Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia 2014.

KONSENTRASI CEMARAN BESI(Fe), MANGAN (Mn) DAN SENG (Zn) PADA AIR KELUARAN IPAL INDUSTRI BISKUIT, MIE DAN SUSU

Elsa Rahmawati¹, Endah Yunari Nugraheni¹ dan Kristianti Utomo¹

¹Dosen Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna
Email : endah.yunari@gmail.com

Abstrak

Suatu industri selain menghasilkan produk jadi, juga menghasilkan produk sisa berupa limbah yang sudah tidak bisa dimanfaatkan. Kajian ini bertujuan mengukur kadar logam besi (Fe), mangan (Mn) dan seng (Zn) pada air limbah industri biskuit, mie dan susu. Kajian ini termasuk pada penelitian dengan metode pendekatan kuantitatif yaitu menganalisis kadar logam yang terdapat dalam sampel air limbah effluent industri pangan biskuit, mie dan susu, dengan total 120 sampel. Limbah industri biskuit memiliki rata-rata konsentrasi tertinggi yaitu kadar Fe 0,069 mg/L, Mn 0,044 mg/L dan Zn 0,055 mg/L. Limbah industri mie memiliki rata-rata kadar Fe 0,142 mg/L, Mn 0,101 mg/L dan Zn 0,109 mg/L. Sedangkan limbah industri susu memiliki rata-rata kadar Fe 0,115 mg/L, Mn 0,084 mg/L dan Zn 0,087 mg/L. Hasil analisis menunjukkan kadar logam Fe, Mn dan Zn masih memenuhi Baku Mutu Lingkungan yang ditetapkan pemerintah yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Kata Kunci : Air limbah industri, kadar logam air limbah, industri pangan

Abstract

An industry besides producing finished products, also produces waste products that can no longer be utilized. This study aims to measure the levels of iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn) in the wastewater of the biscuit, noodle and dairy industries. This study included research using a quantitative approach method, namely analyzing the levels of metals contained in effluent samples from the biscuit, noodle and milk food industry, with a total of 120 samples. Biscuit industrial waste had the highest average concentrations of Fe 0.069 mg/l, Mn 0.044 mg/l and Zn 0.055 mg/l. Noodle industry waste has an average content of Fe 0.142 mg/l, Mn 0.101 mg/l and Zn 0.109 mg/l. While the dairy industry waste has an average content of Fe 0.115 mg/l, Mn 0.084 mg/l and Zn 0.087 mg/l. The results of the analysis show that the metal content of Fe, Mn and Zn still meets the Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Keywords: Industrial waste water, metal content of wastewater, food industry

PENDAHULUAN

Limbah adalah bagian yang tidak terlepas dari suatu industri, baik industri besar maupun industri kecil. Dampak dari limbah yang dihasilkan tentu bisa mengganggu keseimbangan lingkungan jika tidak terkelola dengan tepat. Salah satu limbah yang dihasilkan suatu industri dapat berupa limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan oleh suatu industri harus diolah dengan baik agar tidak melampaui batas baku mutu yang telah ditetapkan.

Sebelum membuang limbah cair ke badan air, industri harus memastikan bahwa limbah cair yang dibuang telah aman bagi lingkungan. Salah satu bahan pencemar yang menjadi indikator untuk mendeteksi terjadinya pencemaran air adalah cemaran logam berat di dalamnya. Faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Penyebaran logam berat di lingkungan sebagian besar disebabkan oleh pembuangan limbah. Polutan yang dihasilkan dari berbagai kegiatan industri dapat menyebar melalui angin, terlarut dalam air apabila dibuang ke perairan, dan dapat mengendap di dasar perairan (sedimen). Paparan kontaminasi logam berat yang hadir, meskipun dalam konsentrasi rendah di lingkungan, dapat menjadi berbahaya bagi kesehatan manusia.

Air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya. Limbah beracun yang dihasilkan industri antara lain dapat berupa logam berat. Menurut beberapa literatur terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat

menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagaimana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan.

Beberapa logam berat serta senyawa beracun yang banyak dijumpai di dalam air limbah industri adalah khrom (Cr), Nikel (Ni), Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Cadmium (Cd), Perak (Ag), Timbal (Pb) dan Senyawa sianida. Air limbah yang mengandung logam berat termasuk golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Air limbah yang mengandung logam berat menjadi isu lingkungan yang telah menyita perhatian banyak pihak, mengingat dampak yang ditimbulkannya dapat berakibat buruk bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia. (Said, 2010)

Zat besi (Fe), Mangan (Mn) dan Seng (Zn) umumnya terkandung dalam tanah secara alamiah karena merupakan mineral tanah. Logam tersebut juga mudah dijumpai pada air tanah. Kadar logam tersebut sering dijumpai dengan kadar yang beragam pada effluent Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), tergantung dari efisiensi pengolahan air limbah tersebut. Untuk mengetahui kandungan logam dalam air limbah dari berbagai jenis industri pangan, maka dilakukan penelitian mengenai analisis logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn) pada efluen IPAL Industri biskuit, mie dan susu.

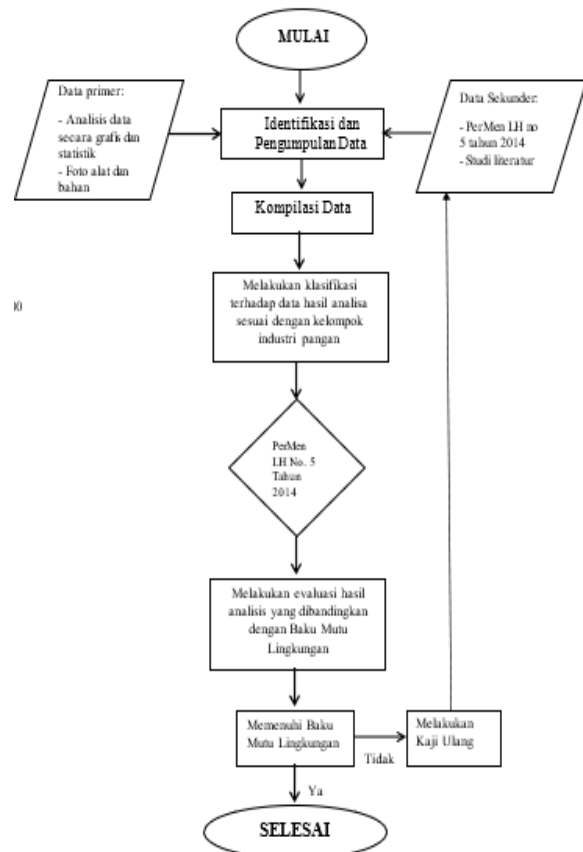
Rumusan masalah dalam kajian ini adalah : apakah air limbah industri pangan biskuit, mie dan susu mengandung logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn)?; berapa kadar logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn) pada air limbah industri pangan biskuit, mie dan susu?

Maksud dan tujuan kajian ini adalah mengukur kandungan logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn) pada air limbah industri pangan biskuit, mie dan susu; melakukan klasifikasi kadar logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn) pada air limbah industri pangan biskuit, mie dan susu; mengevaluasi kadar kadar logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn) pada air limbah industri pangan biskuit, mie dan susu

METODE PENELITIAN

Pada tahap pelaksanaan kajian dilakukan analisis terhadap sampel rutin yang diterima di laboratorium dengan tahapan sebagai berikut yaitu menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, berupa Erlenmeyer 250 ml; Pipet volume 100 ml dan 5 ml; Labu ukur 100 ml; Kertas saring whatman 42; Lampu katoda Fe, Mn dan Zn; Spektrofotometer Serapan Atom (SSA); Kompresor; Sampel air limbah industri pangan; Asam nitrat (HNO₃) pekat; Air bebas analit (aquades); Gas Acetylene.

Langkah selanjutnya melakukan persiapan contoh uji untuk sampel air limbah sesuai dengan SNI 6989.84:2019; melakukan analisis terhadap parameter uji yang sudah ditetapkan menggunakan instrumen analitik SSA sesuai prosedur; melakukan klasifikasi hasil analisis sesuai dengan penggolongan jenis industri pangan; membandingkan data hasil analisa dengan baku mutu lingkungan yang berlaku; membuat hasil rangkuman kajian dan menyampaikan hasil kajian, kemudian kajian selesai.



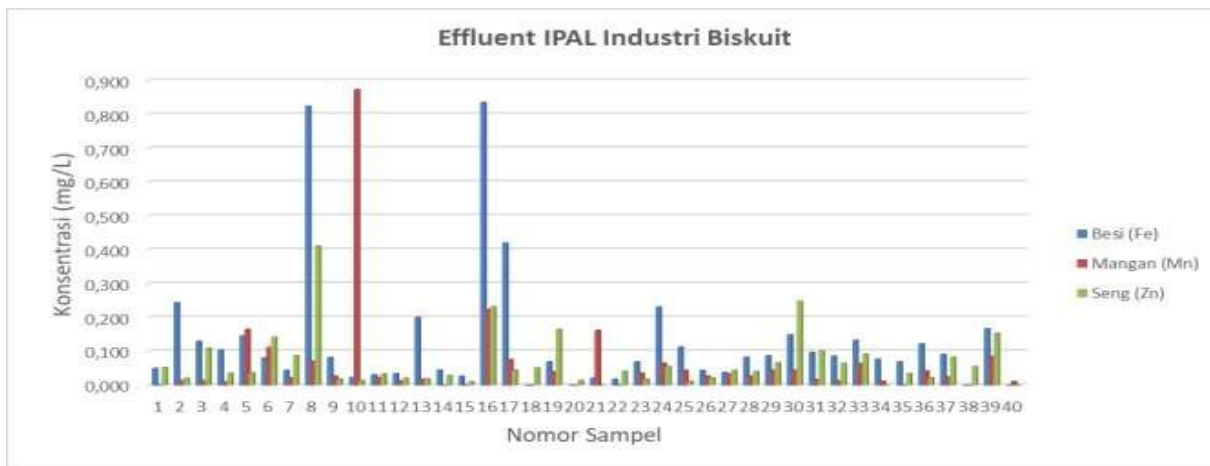
Gambar 1 Tahapan Kajian

ANALISIS & PEMBAHASAN

1. Efluen IPAL Industri Biskuit

Pada penelitian ini, diperoleh 40 data *effluent* dari masing-masing industri pangan yang telah ditentukan jenisnya. Sampel-sampel tersebut sebelum dianalisis telah dipreparasi sesuai SNI 6989.84:2019 tentang Cara Uji Kadar Logam Terlarut Dan Logam Total Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala. Besarnya konsentrasi logam yang terdeteksi oleh SSA berbanding lurus dengan besarnya absorbansi yang terbaca.

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pengukuran dengan total 40 data disajikan dalam bentuk grafik dan dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik Effluent IPAL Industri Biskuit

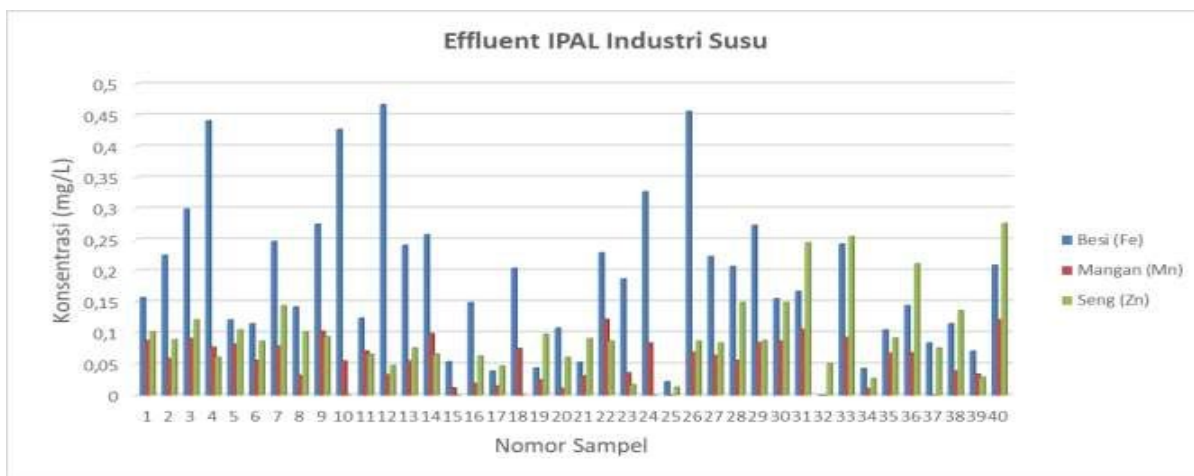
Berdasarkan Gambar 2, grafik sampel air limbah effluent industri biskuit menunjukkan kadar Fe tertinggi terdapat pada sampel nomor 16 dengan konsentrasi 0,835 mg/L. Kadar Mn tertinggi terdapat pada sampe nomor 10 dengan konsentrasi 0,873 mg/L. Kadar Zn tertinggi terdapat pada sampel nomor 8 dengan konsentrasi 0,411 mg/L.

Menurut *U.S. Department Of Agriculture Food Data Central*, fakta nutrisi mengenai biskuit dalam jumlah per 100 gram memiliki komposisi protein yang terkandung sebesar 7 gram yang mencakup vitamin C 0,2 mg, zat besi 2,9 mg, vitamin B6 0 mg, magnesium 18 mg, kalsium 235 mg, vitamin D 0% dan vitamin B12 0,1 µg. Nutrisi yang terkandung dalam bahan baku pembuatan

biskuit tersebut yang menyebabkan air limbah yang dihasilkan pun mengandung logam-logam yang dapat terdeteksi oleh SSA.

Hasil analisis sampel air limbah industri biskuit menunjukkan konsentrasi yang fluktuatif. Air limbah telah melalui proses pengolahan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri. Rata-rata konsentrasi yang dihitung secara statistik deskriptif dengan mengambil dari nilai modus yaitu logam Fe 0,069 mg/l, logam Mn 0,027 mg/l dan 0,044 mg/l serta logam Zn 0,014 mg/l, 0,018 mg/l, 0,021 mg/l, 0,022 mg/l dan 0,055 mg/l.²

Hasil analisis sampel effluent IPAL industri mie dengan total 40 sampel dapat dilihat pada grafik pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik Effluent IPAL Industri Mie

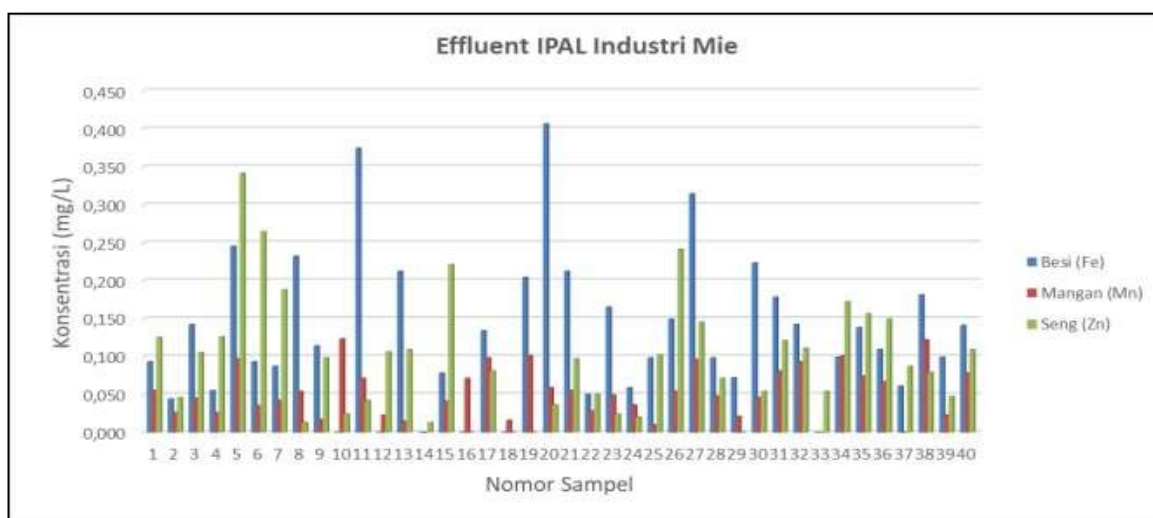
Aktivitas kegiatan bidang perindustrian dipengaruhi antara lain oleh faktor jenis bahan baku yang diolah, jenis atau bahan jadi yang dihasilkan, kapasitas produksi, teknik proses produksi yang diterapkan. Jenis aktivitas utama yang menghasilkan limbah dan sifat pencemaran yang potensial. Salah satu sumber polutan logam yang terkandung dalam air limbah bersumber dari bahan baku. Pada industri mie, bahan baku utama pembuatannya adalah tepung terigu dari jenis gandum lunak. Biji gandum memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi, diantaranya karbohidrat 60-80%, protein 10-20%, lemak 2-2,5%, mineral 4-4,5% dan sejumlah vitamin lainnya (Pomeranz 1971, Šramková et al. 2009). Rodriguez et al. (2011) menginformasikan bahwa biji gandum memiliki kandungan mineral fosfor (2370 ± 333 mg/kg), natrium (102 ± 52 mg/kg), kalium (4363 ± 386 mg/kg), kalsium (351 ± 62 mg/kg), magnesium (1163 ± 155 mg/kg), besi ($40,0 \pm 5,5$ mg/kg), tembaga ($2,68 \pm 0,93$ mg/kg), seng ($32,1 \pm 2,9$ mg/kg), mangan ($22,1 \pm 3,5$ mg/kg), dan selenium ($67,7 \pm 40,4$ mg/kg).

Grafik 3 menunjukkan kadar logam Fe tertinggi pada sampel nomor 20 sebesar 0,406 mg/L. Kadar logam Mn tertinggi terdapat pada sampel nomor 10 dengan konsentrasi

0,123 mg/L. Sedangkan kadar tertinggi logam Zn pada sampel nomor 5 sebesar 0,341 mg/L. Dilihat dari hasil analisis, konsentrasi logam bervariasi dalam setiap sampel. Konsentrasi polutan yang terdeteksi dalam air limbah effluent tergantung dari keberhasilan pengolahan pada IPAL industri tersebut. Polutan logam yang masih dapat terdeteksi dalam air limbah tidak berbahaya untuk lingkungan jika masih memenuhi nilai ambang batas yang telah ditentukan. Oleh karena itu, perlu dipastikan setiap pengolahan air limbah memiliki efisiensi yang tepat dalam menghilangkan polutan-polutan pengganggu yang berbahaya bagi lingkungan sebelum air tersebut dibuang ke badan air. Rata-rata konsentrasi logam Fe pada air limbah effluent sebesar 0,093 mg/l, 0,098 mg/l, 0,099 mg/l, dan 0,142 mg/l. Konsentrasi logam Mn sebesar 0,023 mg/l, 0,026 mg/L, 0,054 mg/l, 0,055 mg/l, 0,071 mg/l dan 0,101 mg/l. Sedangkan rata-rata konsentrasi logam Zn sebesar 0,013 mg/l, 0,024 mg/l, 0,054 mg/l dan 0,109 mg/l.

3. Industri Susu

Hasil analisis sampel effluent IPAL industri susu yang menunjang untuk penelitian ini dapat dilihat pada grafik gambar 4 berikut



Gambar 4. Grafik Effluent IPAL Industri Pangan Susu

Semua jenis industri yang menghasilkan limbah industri bertanggung jawab mengelola limbah tersebut agar tidak berbahaya bagi manusia dan lingkungan sekitar. Setiap industri perlu memahami karakteristik limbah yang dihasilkan untuk mengetahui jenis pengolahan air limbah yang sesuai. Kondisi dan sistem pengolahan air limbah pada IPAL masing-masing industri tentu berbeda-beda. Gambar 4 merupakan grafik perbandingan sampel air limbah effluent industri susu menunjukkan kadar logam Fe tertinggi pada sampel nomor 12 sebesar 0,467 mg/l, kadar logam Mn tertinggi pada sampel nomor 22 yaitu sebesar 0,122 mg/l dan kadar logam Zn tertinggi pada sampel nomor 40 sebesar 0,276 mg/l. Sedangkan rata-rata yang diperoleh dari hasil perhitungan statistic deskriptif, logam Fe memiliki rata-rata sebesar 0,115 mg/l, logam Mn sebesar 0,011 mg/l, 0,055 mg/l, 0,056mg/l dan 0,084 mg/l dan logam Zn memiliki rata-rata sebesar 0,087 mg/l. Logam Fe dijumpai pada air limbah industri pangan karena bahan baku industri pangan sebagian banyak mengandung logam Fe. Seperti contoh pada industri susu, menggunakan bahan kimia $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ yang memiliki manfaat sebagai sediaan zat besi dalam tubuh. Oleh sebab itu, kadar logam besi (Fe) umum dijumpai hampir di semua air limbah dengan berbagai konsentrasi.

Pada air limbah effluent industri susu, terdapat pula kandungan logam Mn dan

Zn. Hal ini bisa disebabkan karena bahan tambahan produksisusu menggunakan mineral $ZnSO_4$ yang merupakan senyawa anorganik (Sanam, dkk. 2014). $ZnSO_4$ adalah mineral alami yang penting untuk pertumbuhan dan digunakan sebagai suplemen untuk mengatasi kekurangan seng pada tubuh manusia. Fakta lain mengatakan menurut website Frisian flag, kandungan mineral dalam susu yang banyak dijumpai yaitu kalsium, fosfor, selenium, mangan, magnesium dan seng. Selain dari bahan baku yang digunakan, sumber logam yang terdeteksi oleh alat dapat bersumber dari air bersih yang digunakan pada proses produksi. Karena sifat logam-logam terlarut dalam air.

4. Perbandingan Konsentrasi Air Limbah Industri Biskuit, Mie dan Susu

Pada grafik yang disajikan dalam Gambar 5, industri mie memiliki rata-rata konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan industri susu ataupun industri biskuit.. Meskipun kadar logam masih dapat terdeteksi di effluent IPAL, tetapi konsentrasi tersebut masih dalam Nilai Ambang Batas yang ditetapkan

Berdasarkan dari data yang telah disajikan dengan total 120 data, adapun perbandingan rata-rata konsentrasi tertinggi yang diambil dari nilai modus pada perhitungan statistik deskriptif dari semua sampel yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Perbandingan Rata-Rata Konsentrasi Air Limbah Effluent

Hasil pengolahan data tersebut kemudian dibandingkan dengan baku mutu sesuai peraturan perundangan lingkungan hidup yang dikeluarkan oleh pemerintah dan yang masih berlaku. Peraturan yang mengatur baku mutu air limbah yang berlaku saat ini secara nasional adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Baku mutu yang dipakai pada penelitian ini yaitu lampiran XLVII tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, terdapat pada Lampiran 1. Secara keseluruhan, konsentrasi logam Fe, Mn dan Zn pada sampel-sampel tersebut tidak melebihi persyaratan yang telah ditetapkan

KESIMPULAN

Konsentrasi logam besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn) pada air limbah effluent industri pangan sebagai berikut: Limbah industri biskuit memiliki rata-rata konsentrasi logam Fe 0,069 mg/l, Mn 0,044 mg/l dan Zn 0,055 mg/l; Limbah industri mie memiliki rata-rata kadar Fe 0,142 mg/l, Mn 0,101 mg/l dan Zn 0,109 mg/l; Limbah industri susu memiliki rata-rata kadar 0,115 mg/l, Mn 0,084 mg/l dan Zn 0,087 mg/l.

Dari hasil analisis yang didapatkan tersebut menunjukkan bahwa efluen IPAL dari keseluruhan sampel yang dianalisis, tidak melebihi kadar maksimum air limbah industri sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 lampiran XLVII yaitu untuk Fe 5 mg/l, Mn 2 mg/l dan Zn 5 mg/l.

DAFTAR PUSTAKA

Adiguna, Sarmauli H, 2019, Analisis Kadar Besi (Fe) dan Seng (Zn) Dalam Air Limbah Industri Di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP) Kelas I Medan, Tugas Akhir, Fakultas

MIPA. Universitas Sumatera Utara, Medan.

Anggriana, Dwi, 2011, Analisis Cemar Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kadmium (Cd) Pada Air Sumur di Kawasan PT. Kima Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Skripsi, Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Makassar.

Annisa, Nurul, 2021, Analisis Logam Berat Timbal (Pb), Cadmium (Cd) Dan Cromium (Cr) Di Sungai Way Tiplek Tanjung Bintang Lampung Selatan, Skripsi, Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, Lampung.

Darmono, 2001, *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Jakarta: UI Press.,

Hammer, J. M., 2008, *Water and Wastewater Technology*, Pearson Education International. New Jersey.

Hettich, Drs. B. Simon, dkk. 2001, *Environmental Health Criteria 212: Zinc (Part 3)*, Geneva: World Health Organization.

Kristanto, P. (2004), *Ekologi Industri*, Yogyakarta: Andi.

Mangundap, Intan Y. et all. 2019., Pengelolaan Air Limbah Pada PT. Indofood Sukses Makmur Tbk Di Kota Bitung, Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

Manurung, Eka. A. S., 2019, Penentuan Kadar Logam Seng (Zn) Dan Kadmium (Cd) pada Limbah Cair Kelapa Sawit Sebelum dan Sesudah Pengolahan Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom, Laporan Tugas Akhir, Program Studi D3-Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.

- Metcalf & Eddy., 2003, *Wastewater Engineering: Treatment and Reus.* 4th ed. Newyork: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Said, N. L., Wahyu, W., 2019, Perencanaan dan Pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Biolfilter Anaerob-Aerob, Jakarta, BPPT.
- Sawyer, C. N., Mc Carty, P. L., dan Parkin, G. F. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science.* 5th ed. Boston: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Simangunsong, Dedy Christoper., 2016, Analisa Kadar Logam Dalam Buangan AirLimbah Industri PT Inalum (Persero) Dengan Parameter Besi (Fe), Seng (Zn), Tembaga (Cu) Menggunakan Metode AAS (*Atomic Absorption Spektrofotometer*, Karya Ilmiah, Program Studi D-3 Kimia. Departemen Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sri Laksmi, Betty. *Teknik Penanganan Limbah Industri Pangan.*
- Sugiharto. 2008. *Dasar-dasar Pengolahan Air Limbah*, Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Sutrisno, C.T., 2004, *Teknologi Penyediaan Air Bersih*, Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Svehla, G. 1990, Buku Teks Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, Edisi Kelima, Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka
- Syuhada, M. Nur. 2018, Penentuan Kadar Ion Logam Besi (Fe), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Timbal (Pb), Dan Zink (Zn) Pada Air Dan Sedimen (Padatan Total) Yang Berada Di Sungai Pasca Erupsi Gunung Sinabung Di Desa Perbaji Kabupaten Karo, Sumatera Utara Dengan Metode *Inductively Coupled Plasma* (ICP), Skripsi. Program Studi S1 Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Syamsidar, Nur., 2016, Analisis Kandungan Logam Berat Pada Tanah Pembuangan Limbah Industri Non-Pangan di Kabupaten Gowa. Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, Makassar.
- Syam, L. 2004, Analisis Kadar Besi (Fe) Pada Kedelai dengan Pengompleks Fenantrolin, Skripsi, UNTAD Press, Palu.
- Van Loon, J.C, 1980, *Analytical Atomic Absorbtion Spectroscopy.* Departemen Of Geologi and Chemistry, Universitas Toronto, Canada.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan.* Yogyakarta:Andi.
- Widowati, W. 2008. *Efek Toksik Logam. Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran.* Bandung: Penerbit Andi Yogyakarta.
- Wiley, J.M., L.M. Sherwood, and C.J Woolverton. 2008. *Prescott, Haley, and Klein's Microbiology.* 7th ed. Boston: McGraw-Hill Companies, Inc.

EVALUASI PERBANDINGAN KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK SISTEM BIOFILTER ANAEROBIK-AEROBIK DI PROVINSI DKI JAKARTA

Benny Kusdinar¹, Aryan Pranaadi², Nandira Prameswari²

¹Dosen Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna,

²Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email: bennykusdinar.1808@gmail.com

Abstrak

Penelitian tentang perbandingan kinerja pengolahan air limbah domestik telah dilakukan pada IPALD Waduk Cimanggis di Jakarta Timur dengan IPALD DLH Semper Barat di Jakarta Utara yang menggunakan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik. Metode yang digunakan deskriptif kualitatif dan didukung data kuantitatif. Analisis data menggunakan perbandingan baku mutu dan menggunakan tingkat efektivitas IPALD melalui rumus yang telah ditetapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada IPALD Waduk Cimanggis di Jakarta Timur pada debit maksimum 79% dari kapasitas terpasang, efektif mengolah parameter TSS sebesar 81,1% dan di bawah baku mutu, kurang efektif dalam mengolah parameter BOD sebesar 55,6% dan di atas baku mutu dan kurang efektif mengolah parameter COD sebesar 57,1% dan di atas baku mutu sedangkan pada IPALD DLH di Jakarta Utara pada debit maksimum 90% dari kapasitas terpasang, tidak efektif mengolah parameter TSS sebesar 49,5% dan di atas baku mutu, efektif dalam mengolah parameter BOD 81,5% namun masih di atas baku mutu dan sangat efektif mengolah parameter COD 90,0% dan bawah baku mutu. Tingkat keefektifan beberapa parameter kimia dan fisika untuk meningkatkan kualitas air limbah domestik pada kedua IPALD bervariasi dari kurang efektif sampai sangat efektif. Dampak dari pengolahan ini belum aman dibuang ke badan air penerima dan masih mencemari lingkungan.

Kata Kunci: Sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik, Air Limbah Domestik, Efektifitas, Jakarta

Comparison Evaluation of the Performance of Domestic Wastewater Treatment Installations (DWWTI) Anaerobic Aerobic Biofilter Systems in DKI Jakarta Province

Abstract

Research on the comparison of the performance of domestic wastewater treatment has been carried out at the Waduk Cimanggis WWTP in East Jakarta with the DLH Semper Barat WWTP in North Jakarta using the Anaerobic-Aerobic Biofilter system., a method used is qualitative descriptive and supported by quantitative data. Data analysis uses a comparison of quality standards and uses the level of effectiveness of DWWTI through a predetermined formula. Based on the results of testing the quality and quantity of domestic wastewater at the Waduk Cimanggis DWWTI at a maximum discharge of 79% of the installed capacity was very effective in processing the TSS parameter of 81.1% and below the quality standard, quite effective in processing the BOD parameter of 55.6 % and above the quality standard and quite effective at processing the COD parameter of 57.1% and above the quality standard, for the DLH Semper Barat DWWTI at a maximum discharge of 90% of the installed capacity was quite effective at processing the TSS parameter of 49.5% and above quality standard, very effective in processing the BOD parameter of 81.5% which is still above the quality standard and very effective in processing the COD parameter of 90.0% and below the quality standard. The effectiveness level of several chemical and physical parameters to improve the quality of domestic wastewater in both WWTPs varied from less effective to very effective. The impact of this processing is not yet safely disposed of into receiving water bodies.

Keywords: Anaerobic Aerobic Biofilter Systems, Domestic wastewater, Effectiveness, Jakarta

PENDAHULUAN

Kota Jakarta sebagai kota megapolitan memiliki populasi dan kepadatan penduduk yang lebih tinggi dibandingkan wilayah perkotaan lainnya di Indonesia, kota yang gemerlap dan diperhatikan dari kejauhan sedap dipandang mata, namun sayangnya diperhatikan dari dekat masih tertinggal di sektor penyehatan lingkungan. Permukiman yang semakin kompleks selaras dengan percepatan pertumbuhan jumlah penduduk dan luasan permukiman.

Penyediaan layanan sanitasi khususnya air limbah domestik harus menjadi perhatian khusus pemangku kepentingan pada wilayah prioritas baik yang belum terlayani maupun wilayah yang ditetapkan rawan sanitasi untuk percepatan akses dan kualitas layanan sanitasi layak dan aman di kota Jakarta. Dengan melakukan pendekatan secara terpadu yang terintegrasi antara pendekatan fisik dilakukan menyediakan jaringan perpipaan sampai halaman rumah, sedangkan pendekatan non-fisik dilakukan melalui promosi perubahan perilaku, dukungan regulasi, serta penguatan kelembagaan untuk menjamin keberlanjutan sanitasi layak dan aman.

Upaya Pemda Provinsi DKI Jakarta mengejar ketertinggalan dalam penyelenggaraan layanan sanitasi khususnya layanan air limbah domestik baik dengan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Setempat (SPALD-S) atau *on-site system* maupun Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) atau *off-site system* ditindaklanjuti dengan menerbitkan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 41 Tahun 2016 tentang Rencana Induk Pengembangan Prasarana dan Sarana Pengelolaan Air Limbah Domestik.

Dinas Sumber Daya Air Provinsi DKI Jakarta telah menyiapkan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) skala permukiman. SPALD-T merupakan sistem antara dari sistem individu ke sistem

skala perkotaan diperuntukkan bagi rumah tangga yang sudah mempunyai akses pada jamban sehat dan berada di wilayah yang saat ini dilalui jaringan perpipaan (*sewerage*) dan di wilayah rencana perluasan SPALD-T sampai tahun 2030. SPALD-T berfungsi untuk meminimalisir pencemaran, bahkan mendaur ulang limbah domestik tersebut terutama di kawasan permukiman padat penduduk, sehingga berdampak positif pada kondisi penyehatan lingkungan dan menjaga sumber daya air untuk perlindungan sumber air baku di Provinsi DKI Jakarta.

Pada tahun 2019 telah dibangun beberapa unit Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) komunal beserta jaringan perpipaan terpusat antara lain di Kecamatan Ciracas Jakarta Timur berlokasi di sekitar Waduk Cimanggis, Cibubur dengan kapasitas terpasang 200 m³/det dan di Kecamatan Semper Jakarta Utara berlokasi di sekitar Asrama Dinas Lingkungan Hidup, Semper Barat dengan kapasitas terpasang 300 m³/det dan selanjutnya pada tahun 2020 sudah operasional melakukan pelayanan terhadap warga disekitarnya. Air limbah domestik dialirkan melalui jaringan perpipaan menuju unit IPALD dengan menggunakan teknologi Biofilter. Secara proses biologis Anaerobik-Aerobik menjadi pilihan untuk pengolahan air limbah, dimana dengan beban organik yang cukup besar, dapat menurunkan untuk BOD, COD, konsentrasi Ammonia, deterjen, padatan tersuspensi, bakteri *E Coli* dan Phospat.

Berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No.04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Pengelolaan Air Limbah Domestik. menyebutkan keunggulan dari sistem Aerobik+Anaerobik dengan teknologi Biofilter sebagai berikut: pengelohannya mudah, tidak perlu lahan luas, biaya operasional rendah, lumpur yang dihasilkan sedikit, dapat menghilangkan Nitrogen dan Phospor yang menyebabkan eutropikasi, suplai udara untuk aerasi relatif kecil, dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar,

dan dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik,

Usaid Iuwash (2016)⁷ menyatakan secara sederhana, semakin padat dan besar pertumbuhan suatu kota, diperlukan penerapan teknologi yang lebih tinggi tingkatannya, yang akan berpengaruh terhadap kualitas efluen yang lebih baik. Oleh karena itu, untuk memastikan kondisi lingkungan yang sehat, perkotaan yang tumbuh pesat perlu diperkenalkan dengan pilihan teknologi yang lebih efektif dari segi mutu *effluent* dan biaya, baik hal biaya belanja maupun operasional serta perlu mempertimbangkan kondisi sosial ekonomi dari kelompok sasaran serta kemampuannya untuk berpartisipasi.

Ruang lingkup kajian ini berfokus pada analisis perbandingan efektifitas teknologi proses biologis Anaerobik-Aerobik dengan menggunakan sistem Biofilter pada kedua IPALD tersebut dalam menurunkan polutan dan menetralkan zat pencemar ditinjau dari faktor konsentrasi dan jumlah *influent*. Penelitian menggunakan 4 parameter pengujian yaitu nilai TSS, BOD, COD dan pH sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di IPALD Waduk Cimanggis Kota Jakarta Timur dan di IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara yang merupakan milik Pemda Provinsi Jakarta yang diolah menggunakan teknologi sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik dilakukan pada bulan Agustus–September 2021.

Pendekatan pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif yang didukung data kuantitatif. karena data penelitian berupa angka-angka (Sugiyono, 2012) dan metode deskriptif kualitatif dapat menggambarkan dan menjelaskan keadaan limbah cair domestik pada objek penelitian.

Jenis data atau informasi yang akan dikumpulkan berupa data primer maupun data

sekunder, berikut ini: (1) Observasi, yaitu melakukan pengamatan secara langsung mengenai kondisi fisik lokasi penelitian untuk mendapatkan gambaran penelitian secara riil yang ada di lapangan, (2) Wawancara, yaitu pengumpulan informasi untuk mendapatkan data yang mendalam mengenai permasalahan yang menjadi objek penelitian dengan cara tanya jawab secara langsung. (3) Studi dokumentasi dengan mempelajari dokumen inspeksi laju alir (debit), laporan pengujian sampel dari laboratorium untuk mengetahui karakteristik fisika-kimia dari air limbah domestik, (4) Kajian literatur, untuk mempelajari berbagai sumber referensi yang berhubungan dengan pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian.

Dalam penelitian ini sampel yang dianalisis berasal dari inlet (*influent*) dan outlet (*effluent*) IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur dan IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara masing-masing 1 kali selanjutnya dilakukan pengujian pada Laboratorium Balai Teknologi Air Minum Kota Bekasi dan dilakukan perbandingan perhitungan efisiensi kualitas air limbah domestik untuk memberikan gambaran hasil evaluasi dengan parameter uji pH, TSS, BOD, dan COD sebelum dan sesudah air limbah diolah pada kedua IPALD tersebut.

Analisis untuk efektifitas pada kedua IPALD komunal tersebut akan dievaluasi berdasarkan **presentase removal pencemar**(%) seperti penurunan TSS, BOD, COD sesuai titik sampel dari IPALD tersebut, perhitungan presentase *removal* pencemar ini didasarkan pada data kualitas air limbah pada *influent* dan *effluent* IPALD. Selanjutnya data yang diperoleh akan dibandingkan nilainya untuk mengetahui efisiensi IPALD. Perhitungan efisiensi tersebut berdasarkan rumus efisiensi removal berikut dibawah ini (Soeparman dan Suparmin, 2001):

$$\% \text{Removal} = \frac{(\text{Nilai Parameter di Inlet}) - (\text{Nilai Parameter di Outlet})}{(\text{Nilai Parameter di Inlet})} \times 100\%$$

Evaluasi kajian IPALD tersebut didasarkan pada besarnya persentase *removal*

dan perbandingan kualitas *effluent* dengan dasar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No:P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Dengan meninjau parameter kimia dan fisika pada data dari analisis laboratorium, selanjutnya dilakukan evaluasi untuk masing-masing unit yang akan diketahui efektivitasnya.

Dari perhitungan tersebut akan diperoleh presentase *removal* kadar pencemar pada unit pengolahan, dan prosentasenya ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$\% \text{ TSS Removal} = \frac{(\text{TSSin}-\text{TSSout})}{\text{TSSin}} \times 100\%$$

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{(\text{BODin}-\text{BODout})}{\text{BODin}} \times 100\%$$

$$\% \text{ COD Removal} = \frac{(\text{CODin}-\text{CODout})}{\text{CODin}} \times 100\%$$

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dari kedua IPALD komunal tersebut dilakukan perbandingan efektivitas penurunan kadar TSS, BOD dan COD terlebih dahulu untuk menghitung efektifitasnya. Kriteria Efektifitas untuk IPAL menurut Soeparman dan Suparmin, 2001 seperti pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1: Kriteria Efektifitas IPAL

No.	Nilai Persentase Efisiensi	Tingkat Acuan
1	X > 80 %	Sangat Efektif (SE)
2	60 % < X ≤ 80%	Efektif (E)
3	40 % < X ≤ 60%	Cukup Efektif (CE)
4	20 % < X ≤ 40%	Kurang Efektif (SE)
5	X ≤ 20%	Tidak Efektif (TE)

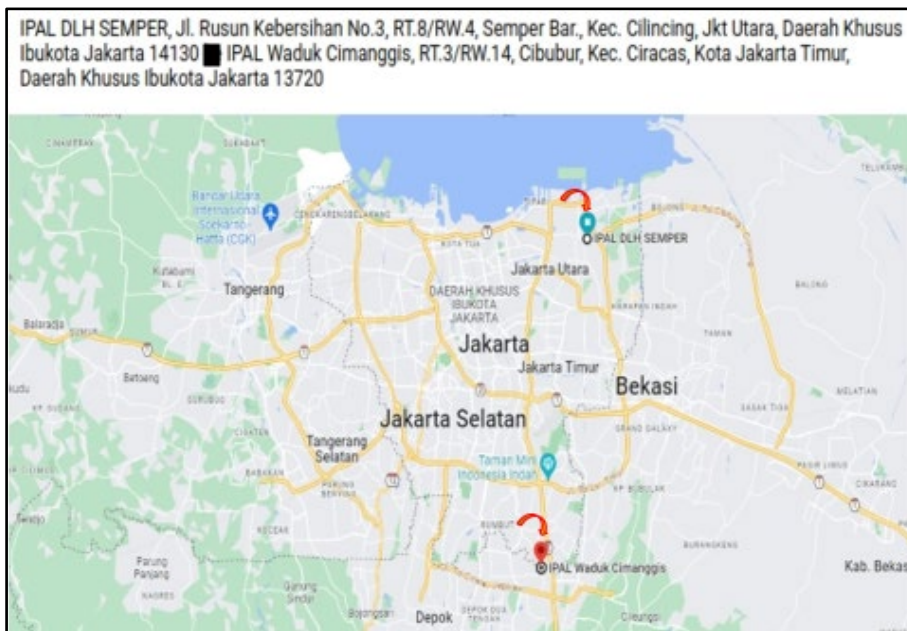
Sumber: Soeparman dan Suparmin, 1991

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Deskripsi IPALD

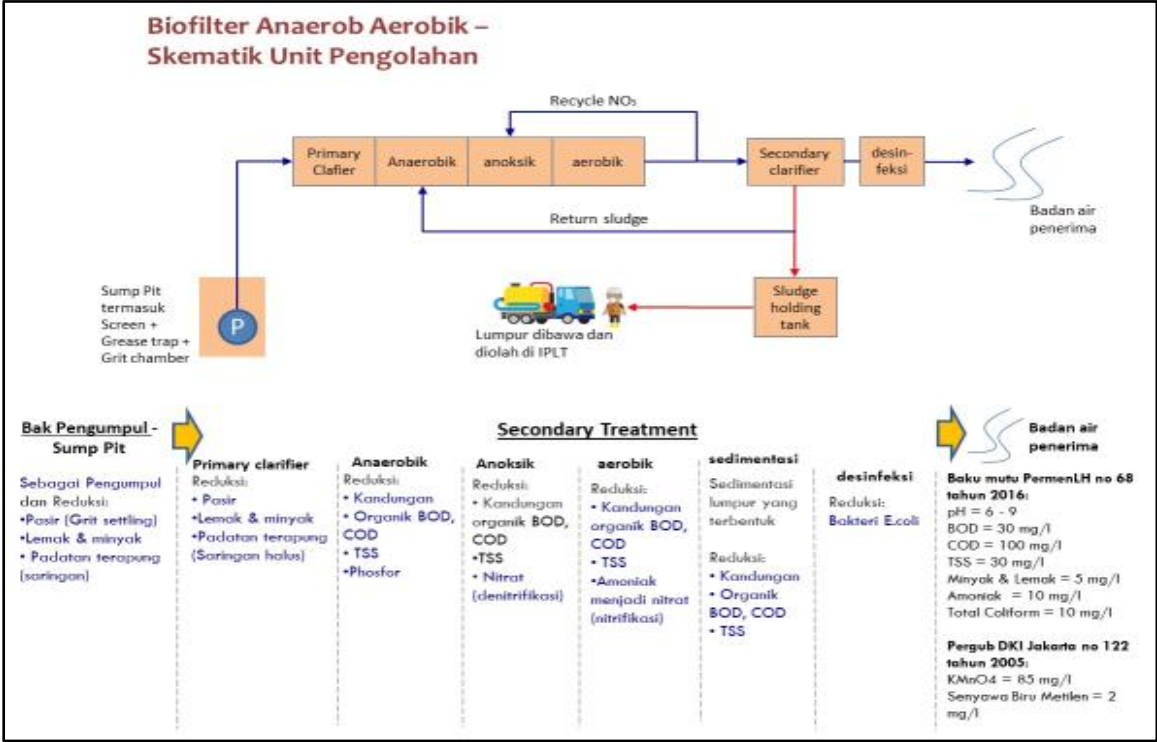
Dalam RPJPD 2005-2025 Provinsi DKI Jakarta menyebutkan cita-cita Jakarta untuk menjadi Ibukota Negara Kesatuan Republik Indonesia yang Aman, Nyaman, Sejahtera, Produktif, Berkelanjutan dan Berdaya Saing Global, maka permasalahan layanan dasar terkait air limbah domestik harus menjadi perhatian khusus dan agenda prioritas pembangunan. Hal ini merupakan tantangan dalam pembangunan layanan sanitasi melalui sinergi kolaborasi para pemangku kepentingan untuk membantu Pemda DKI Jakarta mewujudkan ketersediaan sanitasi aman dan berkelanjutan untuk semua.

Pada tahun 2019 dimulai pembangunan unit Instalasi Pengolahan air limbah domestik (IPALD) dengan jaringan perpipaan di sekitar Waduk Cimanggis Jakarta Timur dan di sekitar area DLH Semper Barat Jakarta Utara untuk mengolah air limbah rumah tangga, yang merupakan proyek hibah Kementerian PUPR yang diserahkan kepada Pemerintah Daerah Provinsi DKI Jakarta. Selanjutnya operasional IPALD Waduk Cimanggis yang berlokasi di RT.3/RW.14, Cibubur, Kecamatan. Ciracas, Kota Jakarta Timur, DKI Jakarta direncanakan dengan jumlah sambungan rumah sebanyak ±200 SR, kapasitas terpasang 200 m³/hari dengan 2 unit kompartemen (kapasitas masing-masing sebesar 100 m³/hari) dilengkapi dengan ruang operator, ruang genset dan ruang blower ditangani oleh Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Timur. IPALD DLH berlokasi di Jl. Rusun Kebersihan No.3, RT.8/RW.4, Semper Barat, Kecamatan. Cilincing, Jakarta Utara, DKI Jakarta, jumlah sambungan rumah terlayani 367 SR, kapasitas terpasang 300 m³/hari dengan 3 unit kompartemen (kapasitas masing-masing sebesar 100 m³/hari) ditangani oleh Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Utara. Kedua IPALD tersebut beroperasi selama 24 jam dengan jumlah operator sebanyak 6 orang dengan 3 shift kerja.



Gambar 1: Lokasi IPALD DLH Semper Jakut dan IPALD Waduk Cimanggis Jaktim
 Sumber: Google Maps

Diagram Alir Proses pada IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur dapat dilihat pada gambar 1 sedangkan Diagram Alir Proses pada IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2: Diagram Alir Unit IPALD Sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik

2. Pengukuran Debit Inlet IPALD

Semakin banyak sambungan rumah tangga, akan meningkatkan debit domestik limbah masuk jaringan perpipaan menuju influent IPALD.

Dari hasil pengukuran debit *existing* pada *influent* IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur, air limbah yang masuk ke dalam pengolahan bersifat fluktuatif dan diperoleh debit air limbah maksimum 158 m³/hari sedangkan Debit IPALD yang terpasang maksimum 200 m³, artinya kapasitas air limbah domestik masuk IPALD baru terpakai sebesar 79% (*idle capacity* sebesar 21%), namun berbeda hasil yang diperoleh pada IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara, air limbah domestik yang masuk ke

dalam pengolahan bersifat fluktuatif dan diperoleh debit maksimum 269 m³/hari sedangkan debit IPALD yang terpasang maksimum 300 m³, artinya kapasitas air limbah domestik masuk IPALD baru terpakai sebesar 90% dari kapasitas terpasang (*idle capacity* sebesar 10%).

3. Hasil Monitoring Kualitas IPALD

Parameter pengujian sampel air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No: P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Hasil pengujian laboratorium, untuk parameter TSS, BOD, COD dan pH ditampilkan pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2: Hasil Pengujian Air Limbah Domestik Pada Kedua IPALD di DKI Jakarta

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu*	Hasil Uji IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur				Hasil Uji IPALD Asrama DLH Semper Barat Jakarta Utara			
				Influent	Effluent	Effisiensi Penyisihan (%)	Ket	Influent	Effluent	Effisiensi Penyisihan (%)	Ket
1	TSS	mg/l	30	236	28	88,1	SE	105	53	49,5	CE
2	BOD	mg/l	30	316	140	55,6	CE	254	47	81,5	SE
3	COD	mg/l	100	700	300	57,1	CE	900	90	90,0	SE
4	pH	-	6-9	6,7	6,7	-	-	6,8	7,1	-	-
	Rata-Rata					66.9	E			73.6	E

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Balai Teknologi Air Minum Kementerian PUPR

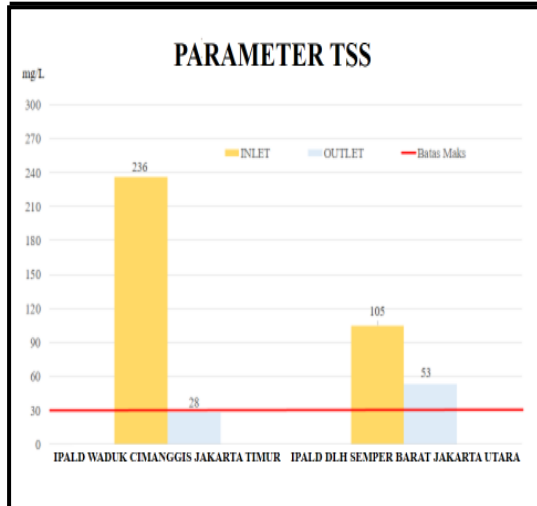
*Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah

Tabel 2 merupakan tabulasi yang menunjukkan hasil efisiensi dari pengujian parameter TSS, BOD, COD dan pH sesuai Peraturan Menteri LHK No: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah dan tingkat efektifitasnya.

a. Perbandingan Efisiensi Penurunan Kadar Padatan Total Tersuspensi (TSS) IPALD

Perhitungan efektivitas pengolahan air limbah domestik terhadap parameter TSS dilakukan untuk mengetahui persentase efektivitas IPALD terhadap efisiensi penurunan kadar TSS.

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian air limbah domestik terhadap konsentrasi Padatan Total Tersuspensi (TSS).



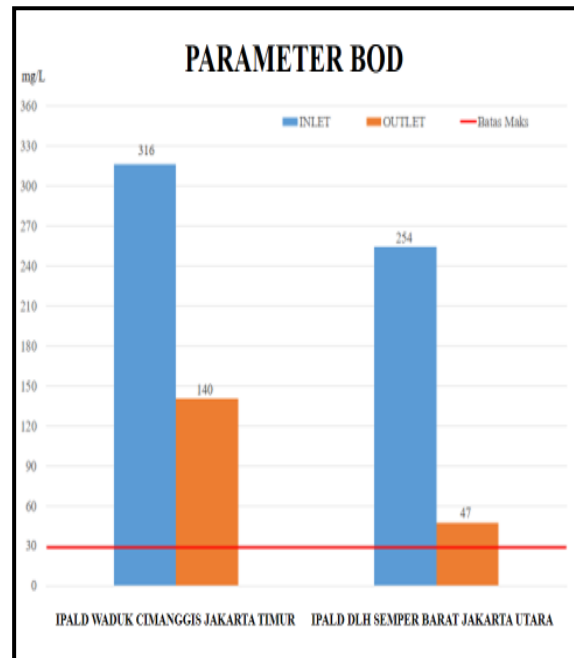
Gambar 3 Perbandingan Hasil Pengujian Parameter TSS

Pada *influent* IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur diperoleh nilai *influent* sebesar 236 mg/lt, sedangkan *effluent* sebesar 28 mg/lt, dimana konsentrasi TSS berada sedikit di bawah baku mutu yang disyaratkan sebesar 30 mg/lt. Angka ini menunjukkan bahwa pengolahan air limbah pada IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur dengan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik beroperasi dapat menurunkan konsentrasi TSS dengan cara pengendapan pada IPALD berhasil dengan persentase *removal* yang tinggi sebesar 88,1%, artinya sangat efektif namun sebaliknya pengujian parameter TSS pada IPALD DLH Semper Barat Jakarta pada *influent* diperoleh sebesar 105 mg/lt sedangkan pada *effluent* sebesar 53 mg/lt, konsentrasi TSS tersebut jauh di atas baku mutu yang disyaratkan. Angka ini menunjukkan bahwa pengolahan pada unit IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara dengan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik beroperasi cukup efektif untuk menurunkan konsentrasi TSS air limbah dan mengindikasikan bahwa proses pengendapan pada IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara kurang berhasil dengan persentase *removal* sebesar 49,5% artinya cukup efektif.

b. Perbandingan Efisiensi Penurunan Kadar Parameter BOD IPALD

Perhitungan efektivitas pengolahan air limbah domestik terhadap parameter BOD dilakukan untuk mengetahui persentase efektivitas IPALD terhadap efisiensi penurunan kadar BOD.

Berdasarkan data pada tabel 2 dan gambar 4 menunjukkan hasil pengujian air limbah domestik terhadap *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebagai parameter pencemar.



Gambar 4 Perbandingan Hasil Pengujian Parameter BOD

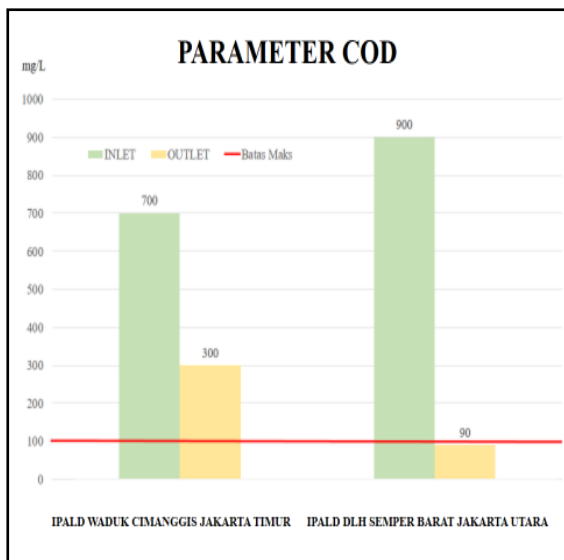
Pada *influent* IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur diperoleh nilai BOD sebesar 316 mg/lt, sedangkan pada *effluent* sebesar 140 mg/lt, dimana konsentrasi BOD berada jauh di atas baku mutu yang disyaratkan sebesar 30 mg/lt. Angka ini menunjukkan bahwa pengolahan yang diberikan pada air limbah yang masuk IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur dengan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik dengan persentase *removal* yang sebesar 55,6% artinya Cukup Efektif. Sedangkan pengujian pada parameter BOD di IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara pada *influent* diperoleh nilai sebesar 254 mg/lt, sedangkan pada *effluent* sebesar 47 mg/lt, konsentrasi BOD masih jauh di atas baku mutu yang

disyaratkan, meskipun persentase *removal* yang tinggi sebesar 81,5%, artinya pada IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara menunjukkan proses pengolahan Sangat Efektif untuk menurunkan konsentrasi BOD air limbah, namun kurang berhasil disebabkan baku mutu yang berlaku sangat ketat sehingga konsentrasi parameter BOD pada kedua IPALD tidak ada yang di bawah 30 mg/l.

c. Perbandingan Efisiensi Penurunan Kadar Parameter COD IPALD

Perhitungan efektivitas pengolahan air limbah domestik terhadap parameter COD dilakukan untuk mengetahui persentase efektivitas IPALD terhadap efisiensi penurunan kandungan COD.

Berdasarkan data pada tabel 2 dan gambar 5 menunjukkan hasil pengujian air limbah domestik terhadap *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebagai parameter pencemar.



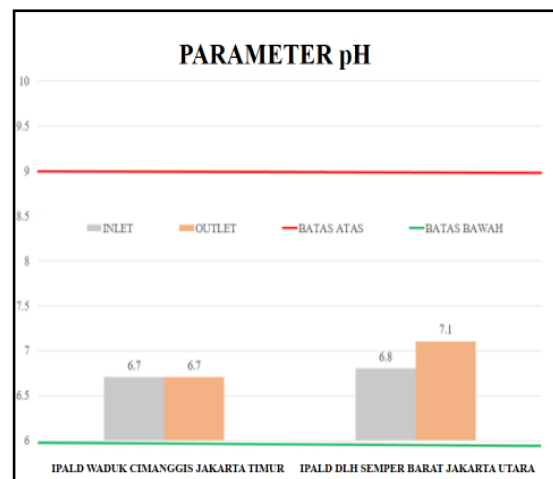
Gambar 5 Perbandingan Hasil Pengujian Parameter COD

Pada *influent* IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur diperoleh nilai sebesar 700 mg/lit sedangkan pada *effluent* sebesar 300 mg/lit, dimana konsentrasi COD berada jauh di atas baku mutu yang disyaratkan sebesar 100 mg/lit. Angka ini menunjukkan bahwa proses pengolahan pada IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur dengan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik dengan persentase

removal sebesar 57,1% artinya cukup efektif, sedangkan pengujian parameter COD di IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara pada *influent* diperoleh nilai sebesar 900 mg/lit sedangkan pada *effluent* sebesar 90 mg/lit, konsentrasi COD berada sedikit di bawah baku mutu yang disyaratkan. Angka ini menunjukkan bahwa pengolahan pada air limbah yang masuk IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara dengan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik beroperasi Sangat Efektif (SE) sebesar 90,0%, namun mendekati baku mutu untuk menurunkan kadar COD air limbah artinya proses pengolahan pada IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara cukup berhasil dengan persentase *removal* sangat tinggi.

d. Perbandingan Parameter pH IPALD

Dalam pengujian pH berdasarkan baku mutu lingkungan yang ditetapkan, dinyatakan bahwa derajat keasaman air limbah yang aman dibuang ke badan air penerima adalah yang berada dalam rentang pH 6-9. artinya air berada pada kondisi netral, tidak terlalu asam dan tidak terlalu basa.



Gambar 6: Perbandingan Hasil Pengujian pH

Berdasarkan data pada tabel 2 dan gambar 6 menunjukkan hasil pengujian air limbah domestik terhadap parameter pH di IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur pada *influent* diperoleh nilai sebesar 6,7 sedangkan pada *effluent* sebesar 6,7 dimana tingkat keasaman stabil dan sesuai baku mutu dan

angka ini menunjukkan bahwa pengolahan air limbah domestik di proses secara baik. sedangkan di IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara pada *influent* diperoleh nilai sebesar 6,8 sedangkan pada *effluent* sebesar 7,1 dimana tingkat keasaman relatif stabil dan sesuai baku mutu. Pada kedua IPALD menunjukkan bahwa pengolahan air limbah di proses dengan sistem Biofilter Anaerobik-Aerobik secara baik.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan berikut ini bahwa pada kondisi kapasitas air limbah domestik maksimum masuk IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur terpakai sebesar 158 m³/hari atau 79% dari kapasitas terpasang (*idle capacity* sebesar 21%) sangat efektif mengolah parameter TSS sebesar 81,1% dan sedikit di bawah baku mutu sebesar 28 mg/lt, cukup efektif dalam mengolah parameter BOD sebesar 55,6% dengan konsentrasi sebesar 140 mg/lt di atas baku mutu dan cukup efektif mengolah COD sebesar 57,1% dengan konsentrasi COD sebesar 300 mg/lt, namun jauh di atas baku mutu serta pH dalam keadaan tingkat keasaman stabil sebesar 6,7 artinya kualitas hasil pengolahan air limbah domestik tersebut dari tingkat cukup efektif sampai sangat efektif, namun secara keseluruhan mengindikasikan belum aman dan mencemari lingkungan untuk dibuang ke badan air penerima.

Pada kondisi kapasitas air limbah domestik maksimum masuk IPALD DLH Semper Barat terpakai sebesar 269 m³/hari atau 90% dari kapasitas terpasang (*idle capacity* sebesar 10%) atau hampir mendekati kapasitas terpasang, cukup efektif mengolah parameter TSS sebesar 49,5% dengan hasil konsentrasi TSS sebesar 53 mg/lt dan sangat efektif dalam mengolah BOD sebesar 81,5% dengan konsentarsi BOD sebesar 47 mg/lt jauh di atas baku mutu serta sangat efektif mengolah COD 90,0% dengan konsentrasi COD sebesar 90 mg/lt, namun sedikit di

bawah baku mutu serta pH dalam keadaan tingkat keasaman stabil sebesar 7,1 artinya kualitas hasil pengolahan air limbah domestik dari tingkat cukup efektif sampai sangat efektif, namun secara keseluruhan mengindikasikan belum aman dan mencemari lingkungan untuk dibuang ke badan air penerima.

Berdasarkan hasil pengujian untuk perbandingan efektifitas dalam proses pengolahan air limbah secara keseluruhan pada kedua IPALD, baik pada IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur yang dikelola oleh Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Timur maupun IPALD DLH Semper Barat Jakarta Utara yang dikelola Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Utara dimana efektifitas rata-rata untuk 3 parameter yaitu TSS, BOD dan COD pada IPALD Waduk Cimanggis Jakarta Timur sebesar 66,9% sedangkan pada IPALD DLH Semper Barat sebesar 73.6%, kedua IPALD tersebut dalam katagori efektif, namun belum optimal, dimana hasil untuk beberapa parameter kunci di atas belum memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No: P.68/MenLHK/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan kami sampaikan ucapan terimakasih kepada pihak Pemda Provinsi DKI Jakarta, khususnya Suku Dinas Sumber Daya Air Jakarta Timur dan Suku Dinas Sumber Daya Air Jakarta Utara dan pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Harmayani, K. D. 2021, Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah RSD Mangusada Kabupaten Badung. Hal: 36.
- Annonim-1. 2018. *Buku Utama - Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*

- Terpusat (SPALD-T)*. Jakarta-Indonesia. Kementerian PUPR, Ditjen Cipta Karya, Direktorat PLP.
- Kedeputian Gubernur Bidang Tata Ruang dan Lingkungan Hidup. 2017. *Desain Besar Penyediaan Layanan Air Minum Dan Air Air Limbah Domestik Provinsi DKI Jakarta 2018-2022..* Jakarta-Indonesia. Pemda Provinsi DKI.
- Annonim-2. 2017 *Lampiran 2 Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 4/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Jakarta-Indonesia. Kementerian PUPR.
- Said, Nusa Idaman, 2017, *Teknologi Pengolahan Air Limbah*, Edisi 1. Jakarta-Indonesia, Erlangga.
- Annonim-3. 2016, *Lampiran 2 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah*. Jakarta-Indonesia. Kementerian LHK.
- Annonim-4. 2016. *Buku 3 Penyusunan Road Map Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Perkotaan (SPAL-DP)*. Jakarta-Indonesia, Kementerian PUPR, Ditjen Cipta Karya, Direktorat PLP.
- Hindarko, S. 2003, *Mengolah Air Limbah Supaya Tidak Mencemari Orang Lain*, Edisi 1, Jakarta-Indonesia, Esha.
- Metcalf, Eddy, 2003, *Wastewater Engineering, Treatment, Re-Use, McGraw-Hill*, Edisi 4 New York-USA. McGraw-Hill Book
- Soeparman and Supamin, 2002. *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*, Edisi 1, Jakarta-Indonesia, Buku Kedokteran, EGC.
- Sugiharto, 1987, *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*, Edisi 1, Jakarta-Indonesia. UI Press.

ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR KONSTRUKSI BANGUNAN PERMANEN DI KABUPATEN CIANJUR AKIBAT GEMPA 2022

Satria August Purnama¹, Eko Nurlita W², Elly Noriza²

¹Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

²Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email : Satriapb.khz@gmail.com

Abstrak

Gempa akibat sesar Cugeunang dengan kekuatan 5,6 Skala *Richter* yang terjadi pada tanggal 21 November 2022 di Cianjur yang lalu telah menimbulkan banyak kerusakan pada konstruksi bangunan. Untuk mengetahui dampak kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa, perlu dilakukan analisis mengenai kerusakan struktur bangunan yang terjadi. Bangunan yang dianalisis adalah bangunan permanen seperti sekolah, puskesmas, kantor desa. Hasil analisis yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan pertimbangan dalam perbaikan bangunan maupun perencanaan bangunan pada wilayah Cianjur. Metode yang digunakan adalah studi kasus dimana data diperoleh dari observasi di lapangan. Komponen struktur yang dianalisis hanya kolom dan balok yang dianggap dapat mewakili kekuatan struktur bangunan secara keseluruhan. Hasil analisis menyatakan bahwa erusakan yang terjadi lebih disebabkan karena bangunan yang berada di lokasi penelitian tidak dapat menahan gaya vertikal dan horizontal yang diakibatkan oleh gempa akibat sesar tersebut

Kata kunci: Gempa, kegagalan struktur, klasifikasi kerusakan.

Abstract

The earthquake with a magnitude of 5.6 on the Richter Scale that occurred on November 21, 2022 in Cianjur has caused a lot of damage to building construction. To determine the impact of the damage caused by the earthquake, it is necessary to analyze the damage to the building structures that occurred. The buildings analyzed are permanent buildings such as schools, health centers, village offices. The results of the analysis obtained are expected to be used as a reference and consideration in building repair and building planning in the Cianjur area. The method used is a case study where data is obtained from field observations. The structural components analyzed are only columns and beams which are considered to represent the strength of the building structure as a whole. The damage that occurred was more due to the fact that the buildings in the research location could not withstand the vertical and horizontal forces caused by the tectonic earthquake.

Keywords: Earthquake, structural failure, damage classification.

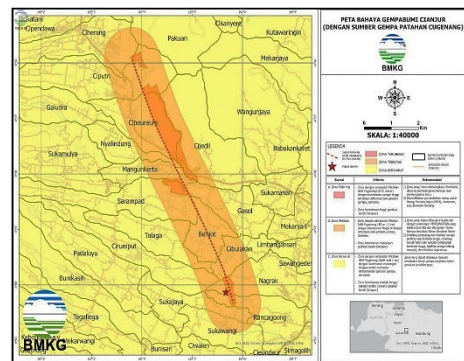
PENDAHULUAN

Dalam perencanaan suatu bangunan permanen, selain menentukan bahan yang digunakan perlu diselidiki juga apakah bangunan tersebut mampu menahan beban yang bekerja. Di antara beban yang bekerja pada bangunan, beban gempa merupakan salah satu beban yang dapat membahayakan struktur bangunan. Indonesia berada di jalur gempa aktif di dunia karena dikelilingi oleh Cincin Api Pasifik (*ring of fire*) yang sering disebut sebagai sabuk gempa Pasifik dan berada di atas pertemuan antara tiga lempeng benua, yaitu Indo-Australia dari sebelah Selatan, Eurasia dari Utara, dan Pasifik dari Timur. Kondisi geografis ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang rawan bencana letusan gunung api, gempa, dan tsunami. Cincin api pasifik merupakan pertemuan banyak lempeng tektonik, sehingga lempeng-lempeng tersebut terus bertabrakan atau bergerak di atas maupun di bawah satu sama lain. Pergerakan inilah yang kemudian menghasilkan palung laut dalam, letusan gunung berapi, dan episentrum gempa di sepanjang batas pertemuan lempeng yang di sebut garis patahan atau sesar.

Jawa Barat termasuk salah satu wilayah yang memiliki kerawanan bencana yang cukup tinggi, kondisi ini dipengaruhi oleh tatanan geologi yang kompleks sehingga rawan terjadi bencana geologi seperti gempa bumi. Berdasarkan catatan peristiwa gempa bumi yang merusak di Indonesia yang disusun oleh Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) pada wilayah Jawa Barat pernah terjadi sedikitnya 29 kali bencana gempa bumi dengan kategori merusak yang bersumber di darat tercatat pada tahun 1883 sampai sekarang. Sebagian daerah yang rawan mengalami bencana gempa bumi berada pada wilayah yang merupakan padat penduduk seperti Cianjur, Pelabuhan Ratu Sukabumi, Rajamandala-Padalarang, Ciamis-Kuningan, Sumedang-Majalengka, Tasikmalaya, Bandung dan hampir seluruh wilayah pegunungan Jawa Barat bagian Selatan.

Sesar Cugenang menjadi sesar baru yang diidentifikasi oleh BMKG karena sesar ini menjadi penyebab terjadinya gempa di Kabupaten Cianjur dengan kekuatan gempa 5,6 Skala *Richter* pada 21 November 2022 yang sebelumnya BMKG mengira bahwa gempa tersebut di sebabkan oleh pergerakan sesar Cimandiri yang lokasinya berdekatan dengan Cianjur. Sesar Cugenang ditemukan oleh BMKG setelah menggelar pelacakan retakan dan jejak patahan di lokasi yang diduga sebagai episentrum gempa Cianjur.

Pada Sesar Cugenang ini membentang melewati 10 desa yaitu desa Ciharang, desa Ciputri, desa Cibeureum, desa Nyalindung, desa Mangunkerta, desa Sarampad, desa Benjot, desa Gasol, desa Cibulakan, dan desa Nagrak. Gempa darat akibat sesar Cugenang membuat banyak rumah-rumah penduduk, sekolah, dan bangunan pemerintah mengalami kerusakan dari yang rusak ringan hingga rusak berat.



Gambar 1. Foto Udara Zona Bahaya Patahan Aktif Cugenang

Sumber: BMKG

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode pengumpulan data yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data primer yang diambil langsung di lapangan. Selain itu juga dibutuhkan data sekunder sebagai pelengkap dan penunjang informasi dari data primer yang didapatkan. Dalam hal ini, digunakan studi literatur dari beberapa sumber referensi seperti buku, jurnal, dan *e-book* untuk mengetahui tentang gempa bumi dan juga penyebab terjadinya.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

1. Kerusakan Ringan (*Minor Damage*)

Pada kerusakan kecil (*minor damage*) struktur bangunan permanen tidak boleh mengalami keruntuhan. Namun boleh mengalami kerusakan ringan pada bagian non struktur, dan tidak menimbulkan korban jiwa. Berikut beberapa kerusakan ringan non struktur pada bangunan permanen yaitu genting yang sedikit bergeser; plafon sedikit mengalami kerusakan; terdapat retakan kecil pada dinding; pada bagian dinding plesteran terkelupas skala kecil



Gambar 2. Kerusakan Pada Genting Puskesmas Cugenang

Sumber : Peneliti



Gambar 3. Kerusakan Pada Plesteran yang Mengelupas di Puskesmas Cugenang

Sumber: Peneliti

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa pada bagian struktur bangunan Puskesmas tersebut tidak mengalami

kerusakan, dan hanya sedikit mengalami kerusakan pada bagian non struktur dengan kategori ringan. Kerusakan kecil pada gambar 1 bagian genting yang bergeser, dan gambar 2 sedikit retakan yang membuat sebagian kecil plesteran mengelupas, maka bangunan Puskesmas tersebut masih layak untuk digunakan dan bisa segera diperbaiki. Pada saat proses perbaikan kerusakannya yang relatif ringan, Puskesmas tersebut masih bisa digunakan untuk melayani masyarakat.

2. Kerusakan Sedang (*Moderate Damage*)

Kerusakan sedang (*moderate damage*) pada bangunan permanen biasanya menimbulkan korban dengan luka ringan dan jarang menimbulkan luka berat. Pada kerusakan sedang struktur bangunan masih berdiri, namun kekuatannya berkurang karena sebagian kecil komponen struktur mengalami kerusakan dan komponen non struktur rusak.

Berikut beberapa kerusakan sedang pada struktur dan non struktur bangunan permanen berupa bangunan masih berdiri sebagian rangka atap rusak; terdapat retakan yang cukup besar pada dinding; sebagian dinding rusak atau runtuh; balok dan kolom sebagian kecil patah; sebagian instalasi listrik rusak; lantai yang mengalami kerusakan.



Gambar 4. Rangka Atap & Instalasi Listrik Rusak di SMKN 1 Cugenang

Sumber: Peneliti



Gambar 5. Retakan Besar Pada Dinding SMKN 1 Cugenang

Sumber : Peneliti



Gambar 8. Kerusakan Pada Lantai di SMKN 1 Cugenang

Sumber: Peneliti



Gambar 6. Dinding Runtuh dan Kolom yang Patah di SMKN 1 Cugenang

Sumber : Peneliti



Gambar 7 Kerusakan pada Pertemuan Balok dan Kolom SMKN 1 Cugenang

Sumber: Peneliti

Pada gambar di atas terlihat jelas kerusakan pada bagian struktur dan non struktur bangunan akibat struktur utama tidak mampu menahan guncangan yang diakibatkan karena gempa, sehingga terdapat kegagalan pada struktur berupa , rangka atap yang rusak gambar 4, pada sisi lain dinding mengalami retakan yang besar dan memanjang pada gambar 5, terdapat kolom yang ikut runtuh bersama dinding pada gambar 6, kolom yang mengalami lendutan pada gambar 7, dan lantai yang mengalami penurunan tanah gambar 8.

Pada kerusakan tingkat sedang bangunan tidak bisa digunakan karena kekuatan struktur yang sudah berkurang dan dikhawatirkan sewaktu-waktu dapat mengalami keruntuhan. Bangunan dapat diperbaiki dengan mengganti bagian yang rusak, serta menambah perkuatan pada bagian struktur bangunan yang mengalami kerusakan.

3. Kerusakan Berat (*Major Damage*)

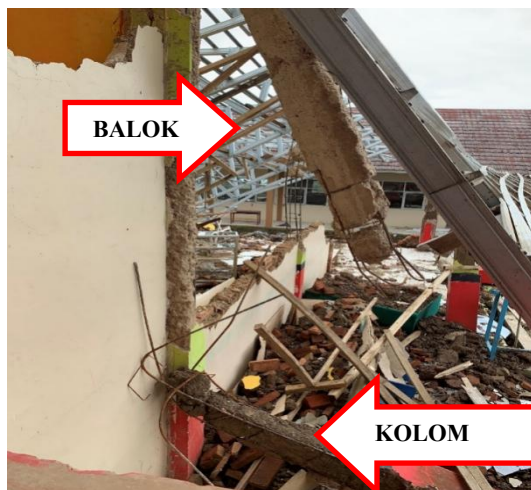
Kerusakan berat (*major damage*) pada bangunan permanen akan mengalami keruntuhan pada sebagian besar atau seluruh bangunan karena struktur yang sudah tidak mampu menahan beban dan guncangan akibat gempa. Pada tingkat kerusakan berat kerugian yang dialami selain secara materil juga bisa menimbulkan korban jiwa. Berikut beberapa kerusakan berat pada struktur bangunan permanen, yaitu: rangka atap mengalami

ambruk; Kolom dan balok mengalami patah; bangunan sebagian besar atau seluruhnya runtuh; Instalasi listrik tidak bisa digunakan.



Gambar 9. Runtuh Pada Rangka Atap dan Bangunan SMKN 1 Cugenang

Sumber: Peneliti



Gambar 10. Kolom Dan Balok Yang Patah SMKN 1 Cugenang

Sumber: Peneliti

Pada gambar di atas terlihat bahwa struktur utama tidak mampu menahan guncangan akibat gaya gempa yang membuat dinding dan rangka atap pada bangunan tersebut menjadi ambruk seperti pada gambar 9. Struktur utama seperti kolom dan balok juga mengalami kerusakan yang parah, karena tulangan kolom dan balok yang tidak mengikat dengan kuat dan pada tulangan sengkang tidak mengunci 135° seperti gambar 10, dimana pada bangunan sekolah seharusnya struktur

utama tidak boleh mengalami runtuh total (*totally collapse*).

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada struktur konstruksi bangunan permanen yang mengalami kerusakan akibat gempa sesar Cugenang di Cianjur, maka didapatkan beberapa kesimpulan yaitu: pada struktur konstruksi bangunan permanen ditemukan kegagalan struktur utama yang tidak mampu menahan dan mendistribusikan gaya vertikal dan horizontal yang diakibatkan gempa, sehingga bangunan permanen mengalami keruntuhan. Pada kolom dan balok yang patah ditemukan tulangan sengkang yang terlepas karena diempat sisinya diteuk dengan sudut 90° , dimana seharusnya terdapat satu sisi tulangan sengkang yang diteuk dengan sudut 135° agar sengkang mengunci dan tidak mudah terlepas.

Upaya yang perlu dilakukan pada bangunan dengan adalah memperbaiki kerusakan secara arsitektur untuk kerusakan ringan dan membangun ulang dengan mengikuti anjuran BSN (Badan Standarisasi Nasional) menggunakan SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain, SNI 2847:2019 (SNI, 2019) sebagai pedomannya untuk kerusakan sedang hingga berat.

Saran

Pada bangunan yang tidak mengalami kegagalan pada stuktur bisa segera memperbaiki kerusakan arsitekturnya dengan tetap memperhatikan kualitas bahan yang akan digunakan.

Untuk menghindari korban luka bahkan koban jiwa pada bangunan yang mengalami kerusakan struktur utama dan/atau pada bagian rangka atap harus diberikan

pembatas sebagai jarak aman, karena struktur utama dan/atau rangka atap sudah berkurang kekuatannya dan dapat ambruk sewaktu-waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aceh, B. K.. *Pengertian Gempa Bumi, Jenis-jenis, Penyebab, Akibat, Cara Menghadapi Gempa Bumi*. Retrieved from BNPB Kota Banda Aceh: <https://bpbdbandaacehkota.go.id/2018/08/05/pengertian-gempa-bumi-jenis-jenis-penyebab-akibat-dan-cara-menghadapi-gempa-bumi/>
- Belo, J. M. 2016,. Studi Perencanaan Struktur Tahan Gempa Dengan Sistem Struktur Pemikul Momen
- BMKG. 2018, 08 18. *Skala MMI (Modified Mercalli Intensity)*. Diambil kembali dari BMKG: <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-mmi.bmkg>
- BMKG. 2021, 11 04,. *Intensitas Gempa Bumi*. Diambil kembali dari BMKG: <https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/glossary/intensitas-gempa-bumi>
- BNPB. 2019, 7 8,. *Rumah Tahan Gempa*. Diambil kembali dari Inarisk BNPB: <http://inarisk.bnpb.go.id/prolog-acebs>
- Chandra, B., Tjan, H., & Purwanto. (2022). Identifikasi Awal Secara Visual Kerusakan Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Gempa.
- Fauzan, Ismail, F. A., Putri, L. M., & Vivayana, D. (2010). Analisa Kerusakan Struktur Bangunan Gedung SMAN 1 Padang Akibat Gempa 30 September 2009.
- Hamdi, & Sudarmadji. (2014). Penilaian Kondisi Bangunan Sekolah Pasca Gempa Bumi
- Hartono, H. (2012). Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Gedung BAPPEDA Wonogiri.
- Kusumaningrum, E. (2017). Evaluasi Kriteria Kerusakan Bangunan Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa Bumi.
- [1] Lamudi. ,2022, 07 15,. *Desain Rumah Tahan Gempa*. Diambil kembali dari Lamudi: <https://www.lamudi.co.id/journal/rumah-tahan-gempa-2/>
- [2] Pawirodikromo, W., 2012, *Seismologi Teknik Dan Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [3] PVMBG., 2022, 11 29,. *Geologi Gempa Cianjur 21 November 2022*. Diambil kembali dari Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral: <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gempabumi-a-tsunami/kejadian-gempabumi-a-tsunami/2023>
- [4] Simanjuntak, P. (n.d.). Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Di Indonesia.
- [5] SNI. 2019. *1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

MENGENAL *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM)

Eko Nurlita Widayati¹

¹Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna
Email : eko.nurlita@gmail.com

Abstrak

BIM (*Building Information Modeling*) merupakan bagian dari industri 4.0, yaitu digitalisasi industri AEC (*Architecture, Engineering and Construction*). Di Indonesia penggunaan BIM didukung oleh Pemerintah dengan berbagai peraturan yang mendukung dan penyusunan peta jalan digitalisasi Indonesia tahun 2017–2024. BIM dapat digunakan pada semua siklus hidup bangunan, mulai dari tahap inisiasi proyek sampai pada tahap operasional dan pemeliharaan bangunan. Perangkat lunak dalam membuat model setiap bidang BIM berbeda sehingga diperlukan model kolaborasi yang mengintegrasikan model setiap bidang. Dalam menjaga konsistensi model perbidang supaya dapat diintegrasikan dibutuhkan standar atau perjanjian bersama. Parameter BIM terbagi atas dimensi, tingkat pengembangan, dan tingkat kolaborasi. Peralatan BIM terdiri dari perangkat lunak, perangkat keras, dan *platform* kolaborasi. Tujuan dari pembahasan ini adalah untuk menambah wawasan tentang BIM. BIM merupakan pemodelan bangunan dalam bentuk geometri yang disematkan informasi di dalamnya, sehingga memungkinkan para pemangku kepentingan selama siklus hidup bangunan dapat menggunakannya sesuai bidangnya. Selain itu, BIM dapat digunakan dalam pengambilan keputusan yang lebih baik.

Kata Kunci: BIM, Parameter BIM, Peralatan BIM, Dimensi BIM

Abstract

BIM (Building Information Modeling) is part of industry 4.0, namely the digitalization of the AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry. In Indonesia the use of BIM is supported by the Government with various supporting regulations and the preparation of the 2017-2024 Indonesia digitization roadmap. BIM can be used throughout the building life cycle, from project initiation to the operational and maintenance stages of the building. The software for modeling each field of BIM is different, so a collaboration model is needed that integrates the models for each field. In maintaining the consistency of the sectoral model so that it can be integrated, standards or collective agreements are needed. BIM parameters are divided into dimensions, level of development, and level of collaboration. BIM tools consist of software, hardware, and collaboration platforms. The purpose of this discussion is to add insight about BIM. BIM is modeling a building in geometric form with information embedded in it so that stakeholders during the building's life cycle can use it according to their field. In addition, BIM can be used in making better decisions.

Keywords: BIM, BIM Parameters, BIM Tools, BIM Dimension.

PENDAHULUAN

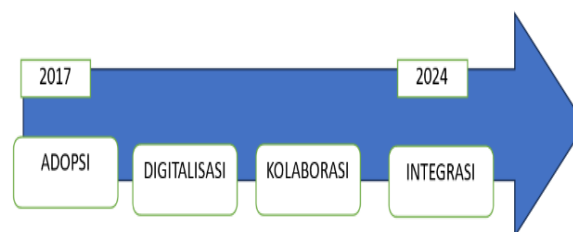
Dewasa ini kita telah memasuki era revolusi industri 4.0 yang ditandai oleh perpaduan teknologi sistem siber-fisik (*cyber-physical system/CPS*) yang mengaburkan batas bidang fisik, digital dan biologis (Relani & Hidayat, 2019). Revolusi industri 4.0 terkait juga dengan istilah transformasi digital yang bermakna perubahan yang ditimbulkan oleh penerapan teknologi digital di seluruh aspek kehidupan masyarakat (ITI, 2023). Dengan kata lain digitalisasi atau penggunaan teknologi akan mengambil alih banyak aspek dalam kehidupan Masyarakat.

Era revolusi industri 4.0 dalam bidang industri jasa konstruksi ditandai dengan penggunaan BIM (*Building Information Modeling*). BIM digunakan untuk memperlancar dokumentasi dan komunikasi di dalam proyek/pekerjaan konstruksi, mengintegrasikan antar pemangku kepentingan (*stakeholder*) yang terlibat sehingga proyek dapat berjalan dengan lancar, tepat waktu, tepat biaya, dan sesuai standar/spesifikasi yang telah ditetapkan (Pantiga & Soekiman, 2021).

Perkembangan BIM sendiri di dunia antara lain pada tahun 2008, Amerika Serikat mewajibkan BIM untuk proyek pemerintah; di Inggris, pada tahun 2016 penggunaan BIM wajib untuk proyek Pemerintah; Korea pada tahun 2012 telah mengeluarkan standar BIM; mulai tahun 2012 di Denmark, BIM digunakan untuk kantor Pemerintah dan bangunan universitas; pada tahun 2017 di Rusia, BIM wajib untuk semua bangunan Pemerintah; Tahun 2015 di Singapura mewajibkan penggunaan BIM untuk Bangunan yang di atas 5.000 m². (BIM PUPR, nd).

Di Indonesia sendiri penerapan BIM mulai diadopsi tahun 2017 dan diuraikan dalam peta jalan (*roadmap*) konstruksi digital Indonesia 2017-2024. Tahun 2017 s.d. 2024 dibagi 3 fase, yaitu Fase Adopsi, Fase Digitalisasi, dan Fase Kolaborasi. Mulai tahun 2024 adalah fase integrasi. Peta jalan dapat

dilihat pada Gambar 1. (BIM PUPR, nd; Vaza, 2019)



Gambar 1. Peta Jalan Konstruksi Digital Indonesia (BIM PUPR, nd)

Fase Adopsi terdiri dari Pemahaman stakeholder konstruksi tentang “*What is BIM, Why BIM, and How to BIM*”; standar & protokol (SNI dan SKKNI) BIM; regulasi tentang kewajiban penggunaan BIM, insentif, kebijakan harga (*pricing policy*), dan sebagainya; *pilot project*. Fase Digitalisasi, terdiri dari penguatan infrastruktur IT (*storage, cloud computing, platform ERP*); penguatan *database/BIM library* (kolaborasi dengan Kementerian Perindustrian); Monitoring dan supervisi project dengan teknologi VR & MR. Fase Kolaborasi terdiri dari: standar kolaborasi dalam industri konstruksi; penyiapan platform untuk integrasi BIM dengan *e-submission* (OSS, SIMBG, dan lain-lain); penerapan BIM skala penuh pada proyek (3D sampai dengan 7D) dengan prinsip-prinsip *Virtual Design and Lean Construction* (VDC). Fase Integrasi terdiri integrasi BIM dalam seluruh proses penyelenggaraan konstruksi (*e-submission, OSS, SIMBG, claim, commissioning, handover, dan sebagainya*); penyiapan platform dan kebijakan untuk *City Information Modeling* (CIM). (Vaza, 2019)

Pelaksanaan BIM di Indonesia, selain sebagai bagian dari mengantisipasi dunia industri 4.0, juga dalam rangka memenuhi amanat Undang-undang (UU) Jasa Konstruksi Nomor 2 Tahun 2017. Pada UU Jasa Konstruksi pasal 5 ayat (5) menyatakan bahwa Pemerintah Pusat memiliki kewenangan dalam pengembangan inovasi teknologi konstruksi. Kewenangan ini dituangkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) Nomor 22 Tahun

2018, Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 16 Tahun 2021, dan Peraturan Menteri PUPR Nomor 9 Tahun 2021.

Pada Permen PUPR Nomor 22 Tahun 2018 Lampiran IV nomor 13 halaman 201 disebutkan bahwa Penggunaan BIM wajib diterapkan pada bangunan Gedung Negara tidak sederhana dengan kriteria luas diatas 2000 m² (dua ribu meter persegi) dan diatas 2 (dua) lantai. Keluaran dari perancangan merupakan hasil desain menggunakan BIM untuk gambar arsitektur, gambar struktur, gambar utilitas (mekanikal dan elektrik), gambar lansekap, rincian volume pelaksanaan pekerjaan, dan rencana anggaran biaya. Pada PP no 16 Tahun 2021 pada lampiran halaman 1076, Nomor d.2)e) menyebutkan metode pelaksanaan konstruksi dapat dilakukan dengan padat teknologi, salah satu kriteria padat teknologi adalah menggunakan BIM paling sedikit sampai dimensi kelima (5D). Pada Permen PUPR Nomor 9 Tahun 2021 terdapat uraian tentang penggunaan teknologi dan inovasi, yaitu dengan pemanfaatan teknologi BIM.

Salah satu gedung negara yang menggunakan BIM adalah renovasi stasion utama Gelora Bung Karno, Pembangunan Pasar Atas Bukittinggi di Sumatera Barat, Renovasi dan Pengembangan Stadion Manahan Solo, dan lainnya (bimpu.go.id, 2019). BIM di Indonesia telah dilakukan oleh beberapa pelaku konstruksi namun masih terbatas pada fase desain dan teknik untuk proyek besar. Hal ini terjadi kemungkinan karena masih kurangnya pemahaman tentang konsep BIM dalam siklus hidup proyek, serta masih kurang motivasi pelaksana konstruksi dalam mengadopsi BIM. (Pantiga dan Sokiman, 2021)

Tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk menguraikan apa sebenarnya yang dimaksud BIM dan apa saja perangkat dalam BIM. Diharapkan uraian ini dapat memberikan tambahan wawasan tentang BIM, tidak hanya sekedar suatu aplikasi yang digunakan dalam dunia konstruksi.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada artikel ini adalah studi kepustakaan. Data dan informasi dalam artikel didapat dari sumber sekunder, berupa artikel jurnal penelitian, dokumen, laporan penelitian, dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan untuk menambah wawasan tentang BIM, dimana penggunaan BIM saat ini di industri AEC (*Architecture, Engineering, and Construction*) semakin meluas. Selain itu, artikel ini diharapkan dapat menjadi bagian dalam penelitian tentang BIM yang akan datang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengertian

BIM merupakan pengembangan digital yang paling menjanjikan dalam industri arsitektur, teknik rekayasa dan konstruksi (*architecture, engineering and construction, AEC*). Dengan teknologi BIM, model virtual bangunan yang akurat dibangun secara digital. Model berisi geometri yang tepat dan data/informasi relevan yang diperlukan untuk mendukung kegiatan konstruksi, fabrikasi, dan pengadaan dalam mewujudkan bangunan tersebut. (Eastman, et al, 2008). BIM adalah teknologi digital yang dapat didefinisikan atau dicirikan sebagai cara untuk membuat, mengatur, mengawasi, memperdagangkan, dan berbagi informasi terkait bangunan dengan cara yang dapat dioperasikan dan digunakan kembali. (Haruna, et al. 2021)

Secara umum definisi BIM pada dua skala yang berbeda, yaitu (Denis, 2015), BIM adalah proses dimana berbagai pelaku bekerja sama, bertukar informasi (data dan geometri) secara efisien, dan berkolaborasi untuk menyediakan proses konstruksi yang lebih efisien (misal lebih sedikit kesalahan, konstruksi lebih cepat), tetapi juga bangunan yang lebih efisien yang menghasilkan lebih sedikit limbah dan lebih murah tetapi juga lebih mudah dioperasikan. Dengan visi tersebut, kuncinya bukanlah pemodelan tiga dimensi itu sendiri, melainkan informasi yang dikembangkan, dikelola, dan dibagikan, untuk mendukung kolaborasi yang lebih baik.

Selain itu BIM juga dapat dilihat sebagai *platform* perangkat lunak yang memungkinkan untuk mengoordinasikan atau menggabungkan pekerjaan berbagai pemangku kepentingan menjadi satu Model Informasi Bangunan. BIM merupakan model berorientasi objek tiga dimensi (3D) dengan informasi tertanam. Artinya representasi bangunan tiga dimensi dimana semua elemen penyusun bangunan dianggap sebagai "objek" yang terhubung satu sama lain. Setiap objek memiliki identifikasi unik dan menghubungkan informasi tentang geometri dan propertinya. Pendekatan berorientasi objek ini memungkinkan untuk mengatur model virtual dan mengembangkan perilaku atau interaksi yang berbeda sesuai dengan jenis objek (misalnya, jendela memiliki hubungan khusus dengan dinding, objek dapat ditempelkan ke lantai, dinding, langit-langit, atau objek lainnya). Selain hubungan tersebut, pendekatan berorientasi objek juga memungkinkan untuk menyimpan informasi dengan objek. Oleh karena itu, setiap objek virtual dengan informasi yang disematkan dapat dengan mudah digunakan untuk mendefinisikan dan mengidentifikasi elemen nyata yang dibangun.

BIM mengakomodasi banyak fungsi yang diperlukan untuk memodelkan siklus hidup (*life cycle*) bangunan, memberikan dasar untuk kemampuan konstruksi baru dan perubahan peran dan hubungan di antara tim proyek. Ketika diimplementasikan dengan tepat, BIM memfasilitasi proses desain dan konstruksi yang lebih terintegrasi yang menghasilkan bangunan berkualitas lebih baik dengan biaya lebih rendah dan mengurangi durasi proyek (Eastman, et al, 2008, p.1). Sistem BIM berpotensi untuk (i) meningkatkan produktivitas, efisiensi, nilai infrastruktur, kualitas, dan keberlanjutan; (ii) mengurangi biaya siklus hidup, waktu tunggu dan duplikasi; (iii) meminimalkan pemborosan, dan (iv) meningkatkan koordinasi antar disiplin desain. (Ciribini, et al, 2016 dikutip oleh Haruna, et al, 2021)

BIM melibatkan pengumpulan data yang dihasilkan selama siklus hidup bangunan dalam bentuk model 3 Dimensi (3D *model*)

dan data, yang mencakup berbagai aspek bangunan, seperti desain, konstruksi, struktur, fasilitas, dan pemeliharaan. Informasi terkait bangunan diperoleh melalui BIM terkomputerisasi, dikelola, dan dimanfaatkan, dimana keuntungan dari komputer berupa akurasi tinggi dan penyimpanan informasi yang aman. Namun, Industri konstruksi sangat luas dan kompleks, ada berbagai macam subjek konstruksi, dan berbagai perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk memproses informasi komputer berdasarkan bidang. Dalam proses pertukaran informasi antar perangkat lunak, sering terjadi kehilangan dan kesalahan informasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, buildingSMART mengusulkan konsep openBIM. Konsep ini tidak terbatas pada *platform* BIM berdasarkan format terbuka, tetapi juga memfasilitasi informasi interoperabilitas dan kompatibilitas antar *platform*. Pemanfaatan standar merupakan bagian yang sangat penting dalam openBIM. (Jo & Choi, 2021)

BIM awalnya merupakan konsep yang menggunakan model terintegrasi untuk berbagai keperluan, yang berarti harus ada standar informasi, yaitu perjanjian bersama tentang bagaimana untuk mengungkapkan informasi. Jika tidak ada standar informasi, hanya implementasi parsial yang bisa dicapai. Faktanya, saat ini banyak kasus penerapan BIM yang masih dalam implementasi parsial. Misalnya, kasus aplikasi BIM individual untuk interpretasi legal atau biaya konstruksi perhitungan. Namun, sulit untuk menemukan aplikasi BIM yang mengimplementasikan keduanya secara bersamaan. (Jo & Choi, 2021)

Untuk dapat mengimplementasi beberapa bidang diperlukan Model Desain Penuh (*Full Design Model*) yang merupakan model terintegrasi untuk masing-masing bidang yang ada dalam suatu proyek (Atul Porwal dan Kasun N. Hewage dikutip oleh Jo & Choi, 2021). Untuk model setiap bidang yang diintegrasikan, sangat diperlukan model individu yang konsisten. Dengan kata lain perjanjian bersama (yaitu standar) diperlukan agar informasi yang mewakili model, seperti

bentuk dan properti model individual, dapat diintegrasikan (Jo & Choi, 2021)

Parameter BIM

Secara teknis untuk proyek AEC, model BIM melibatkan 3 parameter, yaitu dimensi, tingkat pengembangan, dan tingkat kolaborasi (Bouhmod & Loudyi, 2021). Penjelasan masing-masing parameter sebagai berikut:

1. Dimensi BIM (BIM Dimension)

BIM tidak hanya berarti pembuatan model 3D sebuah bangunan, tapi juga menyiratkan penambahan informasi yang berkaitan dengan fase desain, konstruksi, dan pemeliharannya. Dimensi BIM meningkatkan data yang terkait dengan model untuk berbagi tingkat pemahaman yang lebih besar tentang proyek konstruksi. Menambahkan informasi ekstra ke data, pada kenyataannya, memungkinkan untuk mengetahui bagaimana proyek akan disampaikan, berapa biayanya, dan bagaimana pemeliharannya (Biblus, 2018)

Dimensi BIM mengacu pada tingkat informasi dalam data BIM tertentu, adalah Dimensi ke-3 (3D, Pemodelan 3D): geometris, informasi grafis; Dimensi ke-4 (4D, Info terkait waktu 4D): urutan konstruksi melalui Gantt chart dan garis waktu; Dimensi ke-5 (5D, analisis biaya 5D): manajemen biaya, perkiraan biaya konstruksi, dll; Dimensi ke-6 (6D, keberlanjutan 6D): studi dampak keberlanjutan lingkungan, ekonomi dan sosial; Dimensi ke-7 (7D, Siklus hidup dan pemeliharaan 7D); Manajemen Fasilitas: perencanaan dan pengelolaan operasi pemeliharaan sepanjang siklus hidup gedung. Selain 7 dimensi yang disebutkan di atas, kini ada debat terbuka mengenai tiga “dimensi baru BIM” antara lain Dimensi ke-8 (8D) – keamanan selama desain dan konstruksi; Dimensi ke-9 (9D)–konstruksi ramping; dan Dimensi ke-10 (10D)– industrialisasi konstruksi. (Biblus, 2018)

Saat ini secara umum dan praktek masih pada penggunaan sampai dengan 7D, sehingga pembahasan dalam artikel ini hanya sampai 7D (gambar 2). Definisi dan manfaat dari ketujuh dimensi sebagai berikut (united BIM, 2019):

BIM Dimensi ke-3 (3rd Dimension, 3D)

BIM 3D seperti yang kita semua ketahui, mewakili tiga dimensi geografis (x, y, z) dari struktur bangunan. Kemampuan geografis membantu pemangku kepentingan (*stakeholder*) untuk memvisualisasikan struktur bangunan dalam tiga dimensi (3D) bahkan sebelum proyek dimulai. Dalam hal BIM 3D ini, melibatkan pembuatan model 3D dan berbagi informasi yang sama menggunakan *common data environment* (CDE).

BIM 3D memungkinkan semua pemangku kepentingan untuk berkolaborasi secara efektif memodelkan dan memecahkan masalah struktural yang khas. Karena semuanya disimpan di lokasi pusat (model BIM), menjadi lebih mudah untuk penyelesaian masalah di tahap selanjutnya. Manfaat BIM 3D adalah visualisasi 3D yang disempurnakan dari keseluruhan proyek; komunikasi yang disederhanakan dan berbagi ekspektasi desain; kolaborasi yang mudah antara beberapa tim, terlepas dari bidang keahlian mereka; dan mengurangi contoh pengerjaan ulang dan revisi karena transparansi penuh dari awal.

BIM Dimensi ke-4 (4th Dimension, 4D)

BIM 4D berkaitan dengan perencanaan lokasi pembangunan dengan menambahkan elemen baru, yaitu waktu. Data penjadwalan membantu dalam menguraikan berapa banyak waktu yang akan dibutuhkan dalam penyelesaian proyek dan bagaimana proyek akan berkembang dari waktu ke waktu. Informasi tersebut dapat memberikan elaborasi tentang waktu yang dibutuhkan untuk instalasi atau konstruksi, waktu yang dibutuhkan untuk proyek beroperasi, urutan instalasi berbagai komponen, serta informasi penjadwalan lainnya.



Gambar 2. Ketujuh Dimensi BIM (United BIM, 2019)

BIM 4D adalah alat untuk perencanaan kegiatan di lokasi. Hal ini dapat membantu dalam deteksi konflik dini dengan mengelola informasi terkait status situs/bangunan secara mulus dan memvisualisasikan dampak perubahan yang dilakukan selama seluruh siklus hidup. Manfaat BIM 4D, antara lain peningkatan perencanaan lokasi dan pengoptimalan penjadwalan; koordinasi yang lancar antara arsitek, kontraktor, dan tim lapangan; kesiapsiagaan yang lebih baik dalam hal langkah selanjutnya selama setiap tahap konstruksi; penyebaran informasi yang lebih baik terkait dengan harapan garis waktu membantu menghindari penundaan yang merugikan; peningkatan keselamatan dan efisiensi berkat dokumentasi seluruh rencana dengan jadwal tertentu

BIM Dimensi ke-5 (5th Dimension, 5D)

BIM 5D berguna dalam kasus dimana analisis anggaran dan estimasi biaya diperlukan sejak awal proyek. Biaya adalah salah satu elemen terpenting yang terkait dalam suatu proyek. BIM 5D memungkinkan promotor dan pemilik proyek untuk menganalisis biaya yang akan dikeluarkan dari waktu ke waktu sehubungan dengan kegiatan proyek.

BIM 5D membantu memprediksi kebutuhan anggaran secara akurat seiring dengan perubahan persyaratan ruang lingkup, material, tenaga kerja atau peralatan. Dengan 5D BIM, seseorang dapat dengan mudah

mengekstraksi biaya yang terkait dengan skenario dan juga dapat memperhitungkan perubahan di sepanjang jalan. Manfaat BIM 5D, antara lain visualisasi biaya *real time* dalam 3D dengan pemberitahuan perubahan biaya; penghitungan otomatis untuk komponen/sistem/ peralatan yang terkait dengan suatu proyek; analisis biaya dan analisis anggaran yang disederhanakan dengan pengeluaran yang diprediksi dan aktual sepanjang waktu; meminimalkan bagian anggaran karena pelaporan biaya dan penganggaran secara teratur.

BIM Dimensi ke-6 (6th Dimension, 6D)

Pemodelan informasi bangunan 6D membantu menganalisis konsumsi energi bangunan dan menghasilkan perkiraan energi pada tahap desain awal. Menghitung berbagai tahap kehidupan struktur, BIM 6D memastikan prediksi kebutuhan konsumsi energi yang akurat. Teknologi BIM 6D membawa industri selangkah lebih maju dari pendekatan konvensional yang hanya berfokus pada biaya di muka yang terkait dengan suatu proyek. Pendekatan ini membantu mendapatkan gambaran tentang seluruh biaya aset dan bagaimana uang harus dibelanjakan untuk mencapai keberlanjutan dan efisiensi biaya.

BIM 6D juga dikenal sebagai BIM terintegrasi karena melibatkan informasi terperinci yang dapat membantu dalam mendukung manajemen dan pengoperasian fasilitas di masa mendatang. Pada dasarnya melibatkan informasi tentang pabrikan komponen, tanggal pemasangan, jadwal

perawatan, detail konfigurasi untuk kinerja terbaik, kebutuhan energi, dan informasi penonaktifan. Manfaat BIM 6D, antara lain mengurangi konsumsi energi dalam jangka panjang; pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat terkait pemasangan komponen selama proses desain; analisis terperinci dan dampak keputusan pada aspek ekonomi dan operasional selama seluruh siklus hidup; manajemen operasional gedung atau struktur yang lebih baik setelah serah terima

BIM Dimensi ke-7 (7th Dimension, 7D)

BIM 7D BIM adalah tentang pengoperasian dan manajemen fasilitas oleh pengelola dan pemilik gedung. Dimensi tersebut digunakan untuk melacak data aset penting seperti statusnya, manual pemeliharaan/pengoperasian, informasi garansi, spesifikasi teknis, dan lain-lain yang untuk digunakan pada tahap mendatang.

BIM 7D adalah pendekatan unik dimana segala sesuatu yang berkaitan dengan proses manajemen fasilitas disusun di satu tempat dalam model informasi gedung. Taktik semacam itu membantu dalam meningkatkan kualitas penyampaian layanan selama seluruh siklus proyek. Menggunakan BIM 7D memastikan bahwa segala sesuatu dalam proyek tetap dalam kondisi terbaiknya dari hari pertama hingga hari penghancuran suatu struktur. Manfaat BIM 7D, antara lain pengoptimalan manajemen aset dan fasilitas dari tahap desain hingga penghancuran; penggantian suku cadang dan perbaikan yang disederhanakan dan mudah kapan saja selama umur bangunan; proses pemeliharaan yang disederhanakan untuk kontraktor dan subkontraktor.

2. Tingkat Pengembangan (Level Of Development, LOD)

LOD mengacu pada seberapa jauh komponen model BIM telah dirinci dalam model. Ada 5 level yang ditentukan oleh American Institute of Architects (AIA) pada tahun 2008. LOD100 hingga LOD500 level lain telah ditambahkan akhir-akhir ini LOD350 (Bouhmoud & Loudyi, 2021).

Manajer proses BIM dan semua pemangku kepentingan (misalnya: manajer BIM) harus secara jelas menentukan pada setiap tahap proses BIM konten apa dan tingkat pengembangan apa yang mereka harapkan. Istilah "*Level Of Development (LOD)*" umumnya digunakan untuk mewakili tingkat presisi konten model. Hal ini adalah sejauhmana geometri elemen dan informasi yang melekat telah dipikirkan, sejauhmana anggota tim proyek dapat mengandalkan informasi saat menggunakan model. (Denis, 2015)

Tingkat Pengembangan (BIMforum, 2013; Moreau 2012 dikutip oleh Denis, 2015), antara lain:

LOD 100: Desain konseptual

Objek memiliki representasi geometris menggunakan simbol atau representasi generik. Model global dapat digunakan untuk analisis energi matahari dan awal.

LOD 200: Pengembangan Desain

Objek memiliki representasi geometris menggunakan sistem generik, objek, atau rakitan. Perkiraan informasi yang berkaitan dengan jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi juga ditentukan. Model global dapat digunakan untuk analisis dan perhitungan kinerja umum.

LOD 300: Dokumen Konstruksi Umum

Objek memiliki representasi geometris yang akurat dengan sistem, objek, atau rakitan tertentu. Informasi yang berkaitan dengan jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi juga ditentukan. Model global memiliki informasi yang cukup untuk memberikan analisis dan simulasi yang tepat pada setiap elemen dan sistem. Selanjutnya, tugas-tugas yang berkaitan dengan kolaborasi, seperti koordinasi dan pendeteksian benturan, dapat dilakukan.

LOD 350: Kompromi

Objek memiliki representasi geometris yang akurat dengan sistem, objek, atau rakitan tertentu. Informasi terkait jumlah, ukuran, bentuk, lokasi, orientasi dan antarmuka dengan

sistem bangunan lain (= LOD300 + antarmuka [interface]) juga ditentukan. Model global sangat cocok untuk penggunaan model untuk mendukung proses konstruktif. Ini memiliki keuntungan karena lebih mudah dikembangkan daripada LOD400 tetapi memberikan informasi yang lebih berguna daripada LOD300.

LOD 400: Informasi fabrikasi

Objek memiliki representasi geometris yang akurat dengan sistem, objek, atau rakitan tertentu. Informasi yang berkaitan dengan jumlah, ukuran, bentuk, lokasi dan orientasi adalah dengan detail, fabrikasi, perakitan, dan informasi pemasangan. Model global dapat digunakan untuk produksi langsung dan penjadwalan konstruksi.

LOD 500: Model bawaan

Objek adalah representasi bidang yang diverifikasi dalam hal ukuran, bentuk, lokasi, jumlah, dan orientasi. Ini adalah versi *As-Built* dari BIM. Dalam model ini, elemen diwakili dengan semua informasi teknis yang diperlukan untuk pemeliharaan dan pengadaan.

Sebagai catatan tambahan, harus dinyatakan bahwa tidak ada korespondensi yang tepat antara LOD dan fase desain atau konstruksi. Setiap sistem bangunan diibandingkan dengan kecepatan yang berbeda selama fase yang berbeda. Oleh karena itu, penentuan LOD menggambarkan LOD yang diharapkan untuk sistem bangunan tertentu pada tahapan tertentu. Demikian pula, tidak ada "Model LOD 350" tetapi model khusus (misalnya: Arsitektur, struktural) di mana sistem bangunan yang berbeda dikembangkan di LOD yang berbeda.

LOD yang diharapkan berdasarkan elemen/kategori/sistem bangunan pada setiap tahap proyek harus ditentukan dan didokumentasikan. Selain itu, elemen-elemen berikut didefinisikan sebagai berikut: Apa yang dimodelkan? Apa yang tidak dimodelkan? Komentar tambahan pada informasi level yang tidak ada di LOD; Konvensi khusus proyek (misalnya: ruang dengan luas > 3 m²

dimodelkan atau elemen dimensi < 1 cm tidak dimodelkan).

3. Tingkat Kolaborasi, (Level Of Collaboration, L)

Level Kolaborasi antara lain (Bouhroud & Loudyi, 2021)

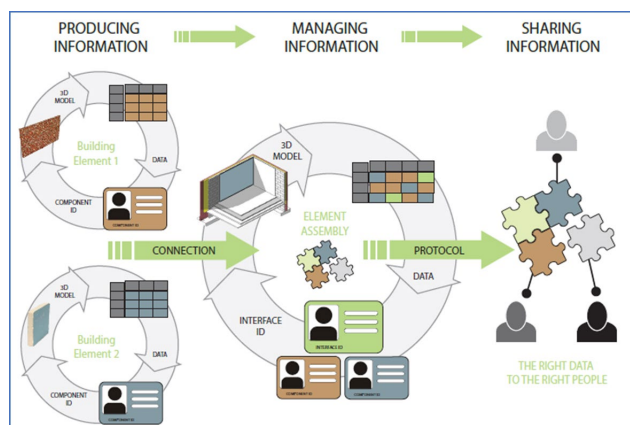
- Level 0: CAD yang tidak dikelola mungkin dalam format kertas 2D atau elektronik sebagai mekanisme pertukaran yang paling mungkin. Hal ini terkait dengan praktik tradisional tetapi tidak dengan BIM.
- Level 1: CAD Terkelola dalam format 2D atau 3D dengan alat kolaborasi yang menyediakan lingkungan data umum, mungkin beberapa struktur dan format data standar. Data komersial dikelola oleh keuangan mandiri dan paket manajemen biaya tanpa integrasi.
- Level 2: Lingkungan 3D terkelola yang diadakan di alat "BIM" disiplin terpisah dengan data yang dilampirkan. Komersial data dapat dikelola oleh aplikasi *Enterprise Resource Planning* (ERP). Integrasi berdasarkan antarmuka berpemilik atau middleware dipesan lebih dahulu dapat dianggap sebagai "pBIM" (proprietary). Pendekatan tersebut dapat menggunakan data program 4D dan elemen biaya 5D serta sistem operasional umpan.
- Level 3: Proses terbuka penuh dan integrasi data dimungkinkan oleh layanan web yang sesuai dengan Industri yang sedang berkembang *Standard Foundation Classes* (IFC) dan *International Framework for Dictionaries* (IFD), dikelola oleh server model kolaboratif. Level 3 dapat dianggap sebagai "iBIM" atau BIM terintegrasi yang berpotensi menggunakan proses rekayasa bersamaan.

Aturan Umum Tentang Kolaborasi BIM

Karena inti dari BIM bukanlah geometri itu sendiri melainkan lebih pada informasi yang melekat padanya, kunci keberhasilan proses BIM terletak pada cara kita menangani informasi. Siapa yang memproduksinya? Kapan diproduksi? Apa tujuan dari informasi

tersebut? Bagaimana dengan keterbatasan atau ketidakakuratan? Bagaimana itu dibagikan atau ditukar? Kunci kolaborasi dengan demikian terletak pada pengelolaan informasi. Informasi harus diproduksi, dikelola dan digabungkan dengan cara yang ditentukan dan konsisten (konvensi penamaan, hierarki, dan klasifikasi). Selain itu, informasi harus dibagikan dan data yang tepat disajikan kepada orang yang tepat, pada waktu yang tepat dengan menggunakan

format yang tepat. Karena setiap pemangku kepentingan memiliki kebutuhan yang berbeda, alat yang berbeda, dan pandangan yang berbeda tentang proyek, dia mungkin memerlukan informasi yang berbeda juga. Namun, kunci interoperabilitas adalah menemukan bahasa umum yang memungkinkan untuk mengatur, mengklasifikasikan, mengidentifikasi, dan membagikan informasi ini. (Denis, 2015).



Gambar 3. Kunci Penukaran Manajemen Informasi BIM (Denis, 2015)

Peralatan BIM (BIM tools)

BIM melibatkan tiga alat berbeda: perangkat lunak, perangkat keras, dan platform kolaborasi. (Bouhmod & Loudyi, 2021)

1. Perangkat Lunak (Software)

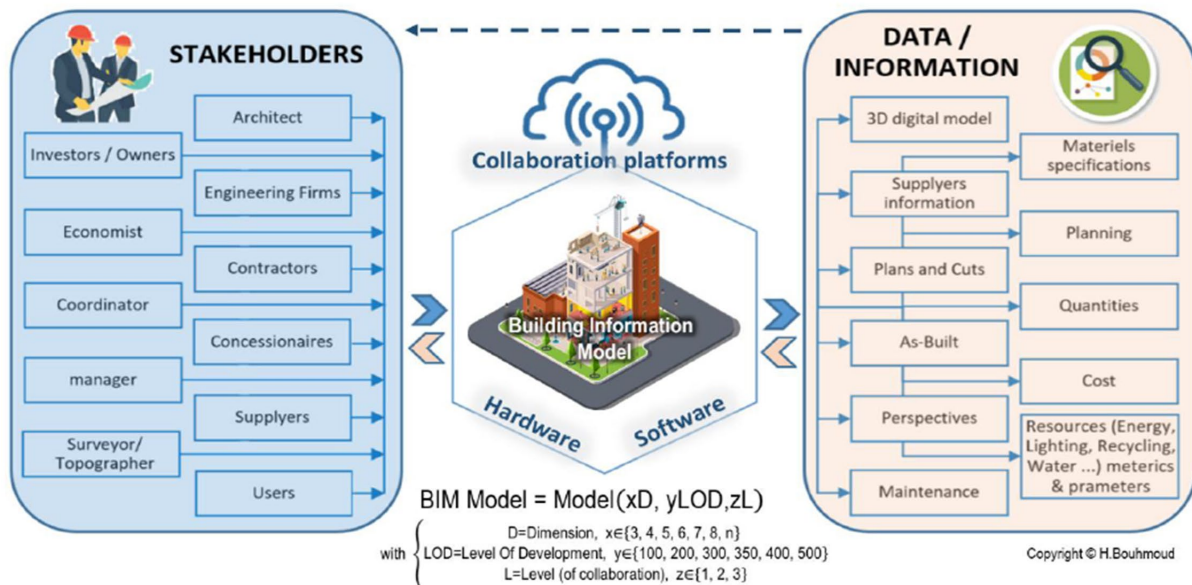
Tivendale dan Liu (dikuti oleh Bouhmod & Loudyi, 2021) menyampaikan bahwa konsep BIM dimulai untuk aplikasi komputasi sederhana pada tahun 1960-an dan ditingkatkan untuk program pemodelan yang solid pada tahun 1970-an tetapi pengembangan perangkat lunak ArchiCAD adalah awal sebenarnya dari BIM. Sejak tahun 2004 ketika BIM pertama kali disebutkan dalam tinjauan literatur, banyak pemasok telah meningkatkan perangkat lunak konstruksi atau mengembangkan yang baru untuk memperhitungkan parameter BIM dan memasukkan ekstensi umum file BIM bernama IFC. (Bouhmod & Loudyi, 2021).

Sekalipun BIM lebih merupakan metodologi daripada perangkat lunak

(software), BIM tetap harus diaplikasikan menggunakan alat khusus. Karena BIM bukan hanya pemodelan tiga dimensi, tetapi juga memerlukan alat khusus yang dapat menghasilkan geometri dan mengelola informasi. Khususnya untuk perangkat lunak yang digunakan oleh desainer, karena pekerjaan mereka akan menjadi inti dari proses BIM selama konstruksi. perangkat lunak akan memodelkan bangunan dan elemennya, juga menentukan persyaratan atau properti yang memungkinkan kontraktor dan pemangku kepentingan lainnya menggunakan informasi yang disematkan untuk membeli, merencanakan, merakit, dan membangun gedung. (Denis, 2015)

Beberapa alat analisis tidak perlu "diaktifkan BIM sepenuhnya" selama alat tersebut dapat mengimpor informasi yang diperlukan dalam perangkat lunak (misalnya: alat yang menghitung jembatan termal). Semakin baik perangkat lunak dapat berkomunikasi dengan mudah (tanpa impor/ekspor atau operasi manual), semakin

cepat keseluruhan prosesnya, semakin rendah risiko kesalahan atau kehilangan data. (Denis, 2015)



Gambar 4. Kerangka Sintetis Konsep BIM (Bouhmoud & Loudyi, 2021)

Pemasok perangkat lunak BIM yang paling terkenal adalah: Autodesk pengembang Revit yang dianggap sebagai perangkat lunak BIM paling terkenal, Trimble (editor Tekla), Graphisoft (editor Archicad) dan Nemechek (editor AllPlan) (Bouhmoud & Loudyi, 2021). Beberapa perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk BIM, yaitu Revit; Naviswork; Tekla BIMsight; Bexel Manager; PriMus IFC; Revizto; ArchiCad; Vectorworks Architect; Edificius; Midas Gen; Autodesk BIM 360; SktechUp; Buildertrend; Trimble Connect; BIMobject; Civil 3D; BrisCAD BIM; Hevacomp; Kreo; VisuaoARQ; The Wild; Allpan Architecture; AECOSim Building designer; ActCAD BIM; BIMx; dRofus; Procure; ArcCADia BIM 11; Iris VR. (Builder Indonesia, 2023)

2. Perangkat Keras (*Hardware*)

Selain perangkat keras (*hardware*) Teknologi Informasi (misalnya komputer), perangkat keras BIM yang paling dikenal adalah pemindai laser (*laser scanner*) dan printer 3D. Pemindai laser membantu BIM

Sejarah (*historic* BIM, HBIM) untuk berkembang, dimana monumen dan fasilitas

bersejarah dapat dipindai dan disimpan secara numerik untuk memfasilitasi eksploitasi dan pemeliharaannya. Dengan penggunaan model BIM yang dikembangkan, teknologi pencetakan 3D mengalami tren yang meningkat terutama dalam hal pracetak dan konstruksi beberapa bangunan tertentu.

(Bouhmoud & Loudyi, 2021) Virtual Reality (VR) juga saat ini digunakan dalam BIM.

3. Platform kolaborasi

Platform kolaborasi adalah platform web yang menawarkan kepada profesional bangunan suatu alat kerja yang diperlukan agar dapat beroperasi dengan benar dengan metodologi BIM di *cloud*. (Bouhmoud & Loudyi, 2021) Platform kolaborasi BIM harus memiliki serangkaian fungsi untuk meningkatkan tingkat produktivitas baik individu maupun seluruh tim desain dalam mendapatkan keuntungan, sebagai berikut: mengotomasi koordinasi informasi (perangkat lunak koordinasi BIM); transparansi informasi dari proses, kepemilikan data dan ketersediaan sementara informasi; pengelolaan otomatis revisi proyek dan pemutakhiran data; pengurangan redundansi dan risiko yang

terkait dengan duplikasi data; komunikasi di antara berbagai pihak yang terlibat. (Biblus, 2018)

Lebih lanjut, platform kolaborasi harus mendukung pengembangan proyek (*project development*) dengan serangkaian persyaratan teknis, yaitu mobilitas: aksesibilitas dari perangkat seluler, notebook, dan aplikasi *desktop* serta dukungan *browser*; kesederhanaan dan kegunaan: penggunaan antarmuka (*interface*) modern dan interaksi ramah pengguna yang dioptimalkan seperti *drag and drop file*; manipulasi file: akses mudah ke dokumen, sinkronisasi data, dan berbagi; produktivitas pengguna; kolaborasi: pembuatan lingkungan kerja untuk mengedit dokumen tim dan ketertelusuran tindakan apa pun yang diambil; manajemen konten: klasifikasi metadata, alat pencarian yang disederhanakan, dan jejak audit; alur kerja (*workflow*): pembuatan proses untuk menjelaskan tindakan file, pemberitahuan tugas, dan manajemen izin pengguna; keamanan dan perlindungan data: terkait dengan perangkat yang terhubung, dokumen dalam perjalanan dan yang disimpan; integrasi: integrasi dengan CMIS (*content management interoperability services*) dan peralatan desain (*design tools*); penyimpanan data: dengan menggunakan repositori terpusat dan ruang penyimpanan untuk pengguna. (Biblus, 2018)

Platform BIM memungkinkan interoperabilitas antara tim proyek yang berbeda sehingga para profesional dari berbagai disiplin ilmu untuk berkolaborasi terlepas dari alat dan perangkat lunak pilihan mereka. Ada banyak manfaat yang ditawarkan platform BIM, seperti menyimpan data dalam ruang *cloud* yang aman dan andal yang dibagikan dengan semua pemangku kepentingan proyek; berkolaborasi secara *real time* pada model BIM yang sama dan dokumennya; menyinkronkan seluruh tim BIM dan membuat keputusan yang lebih baik. (Biblus, 2018)

KESIMPULAN

Penggunaan BIM bertujuan dalam memperlancar dokumentasi dan komunikasi

dalam suatu pekerjaan bangunan sehingga berjalan lancar, tepat waktu, tepat biaya, dan sesuai standar yang ditetapkan. Pemanfaatan BIM tidak hanya sebatas saat pelaksanaan proyek, namun dapat digunakan selama siklus hidup bangunan.

Pelaksanaan proyek memerlukan suatu kolaborasi dari berbagai bidang. Aplikasi BIM sendiri untuk setiap bidang berbeda, sehingga perlu suatu model yang dapat mengintegrasikan model per bidang ini. Model perbidang harus konsisten sehingga mempermudah dalam integrasi ke dalam satu model utuh. Untuk memastikan konsistensi ini diperlukan standar sehingga informasi yang mewakili model per bidang dapat diintegrasikan.

Model BIM melibatkan 3 parameter, yaitu dimensi, tingkat pengembangan, dan tingkat kolaborasi. Dimensi mengacu pada tingkat informasi dalam BIM, terdiri dari 3D, 4D, 5D, 6D, dan 7D dan masih dalam proses pengembangan ke arah 8D, 9D, dan 10D. Tingkat pengembangan (LOD) digunakan untuk mewakili tingkat presisi konten model terbagi atas LOD100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400, LOD 500. Tingkat kolaborasi (L) terdiri atas Level 0, Level 1, Level 2, dan Level 3.

Walaupun BIM lebih mengarah pada metodologi, namun tetap dibutuhkan suatu alat khusus atau perangkat lunak. Perangkat lunak ini digunakan dalam mengaplikasikan model geometri dan pengelolaan informasi yang dipakai oleh setiap pemangku kepentingan dalam berkolaborasi dan mengambil keputusan yang lebih baik selama siklus hidup bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Biblus. nd. "The 7 dimensions of BIM – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D BIM explained. <https://biblus.accasoftware.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2021/07/The-7-dimensions-of-BIM.pdf>
- Biblus, 2018. *The dimensions of BIM – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D BIM explained.* <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/>

- Biblus. 2018. *BIM collaboration platforms: characteristics and advantages*. <https://biblus.accasoftware.com/en/what-characteristics-should-have-a-bim-collaboration-platform-and-what-advantages-does-it-offer/>
- BIM PUPR. 2019. *Implementasi BIM di Indonesia untuk Proyek Bangunan Gedung*. 31 Agustus 2019. <http://bim.pu.go.id/berita/baca/42/implementasi-bim-di-indonesia-untuk-proyek-bangunan-gedung.html>
- BIM PUPR. nd. *Implementasi BIM. Building Information Modelling*. Bahan Papan Implementasi BIM. http://bim.pu.go.id/assets/files/ROADMAP_KONSTRUKSI_DIGITAL_INDONESIA
- Bouhmoud, H. & Loudyi, D. 2021. *Building Information Modeling (BIM) Framework, Potential and Challenges. Special Issue on Research Challenges in Digitalization and Societal Transformation*. iJIST, Vol. 5 - No. 3 -December 2021. https://www.researchgate.net/publication/357662631_Building_Information_Modeling_BIM_Framework_Potential_and_Challenges
- Builder Indonesia. 2023. *30 Software BIM Terbaik 2023 untuk Proyek Konstruksi Software Building Information Modelling Terbaik* 2023. <https://www.builder.id/software-bim-terbaik/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. 2008. "BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors". Wiley, Canada
- Denis, F. 2015. "Building Information Modelling–Belgian Guide for the construction Industry". ADEB-VBA, Brussel, Belgia
- Haruna, A., Shafiq, N., & Montasir, O.A. 2021. *Building information modelling application for developing sustainable building (Multi criteria decision making approach)*. Ain Shams Engineering Journal 12 (2021) 293-302.
- Jo, C. & Choi, J. 2021. *BIM Information Standard Framework for Model Integration and Utilization Based on openBIM*. Applied Sciences. Appl. Sci. 2021, 11, 9926
- ITI. 2023. *Apa Itu Revolusi Industri 4.0: Transformasi Digital, Tantangan & Peluang Setelah Era ChatGPT*. <https://el.iti.ac.id/apa-itu-revolusi-industri-4-0-transformasi-digital-tantangan-peluang-setelah-era-chatgpt/>
- Pantiga, J. & Soekiman, A. 2021. *Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) Di Dunia Konstruksi Indonesia*. REKAYASA SIPIL / Volume 15, No.2 – 2021. <https://rekayasapil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/737>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 22/PRT/M/2018 Tahun 2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2021 tentang Pedoman Penyelenggaraan Konstruksi Berkelanjutan
- Relani, I. & Hidayat, E.N. 2019. *Pengaruh Revolusi Industri 4.0 Terhadap Online Service Terminal Petikemas Koja Jakarta*. Majalah Ilmiah Gema Maritim Volume 21 No. 2 tahun 2019. <https://media.neliti.com/media/publication/s/340279-pengaruh-revolusi-industri-40-terhadap-o-23dddaa6.pdf>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi
- United BIM. 2019. *BIM Dimensions 3D, 4D, 5D, 6D, 7D. Definition & Benefits*. <https://www.united-bim.com/wp-content/uploads/2019/12/BIM-Dimensions-3D-4D-5D-6D-and-7D-BIM-Explained-Definition-Benefits-Free-PDF-Download.pdf>
- Vaza, H., 2019. *Rencana Pengembangan Nasional Roadmap BIM di Indonesia*. Bahan paparan pada Forum Strategy Workshop, Jakarta, 19-20 Maret 2019. http://bim.pu.go.id/assets/files/PUPR_BIM_Bappenas_FIX.pdf

EFISIENSI PENURUNAN LOGAM BERAT PADA LIMBAH B3 DENGAN VARIAN FLY ASH INDUSTRI PULP & PAPER DAN INSINERATOR PADA PROSES STABILISASI DAN SOLIDIFIKASI

Guntur Laksono¹ Amaliyah², Taufik Octaviano²

¹Mahasiswa Program Studi S1Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

²Dosen Program Studi S1Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email : gunturlaksono8998@gmail.com

Abstrak

Limbah merupakan salah satu hal yang tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia, khususnya pada sektor industri. Limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dapat mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). Penanganan limbah B3 yang tidak baik akan memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu cara pengolahan limbah B3 dengan proses stabilisasi dan solidifikasi menggunakan campuran semen dan *fly ash*. *Fly ash* memiliki sifat pozzolan dan mempunyai kehalusan yang sama dengan semen sehingga *fly ash* dapat mengikat logam berat yang terkandung dalam limbah B3. Percobaan ini bertujuan mengetahui pengaruh dan efisiensi penurunan kandungan logam berat Pb dan Cd pada Limbah B3 dengan menggunakan varian jenis *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator melalui proses stabilisasi dan solidifikasi. Proses stabilisasi dan solidifikasi dilakukan dengan perbandingan *fly ash* : semen : limbah B3 yakni 1:1:1. Produk hasil stabilisasi dan solidifikasi selanjutnya diuji dengan uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP). Hasil penelitian menunjukkan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan pengaruh dan efisiensi untuk menurunkan kandungan logam berat Pb masing-masing 99,89 % dan 98,32% dan Cd masing-masing 99,98% dan 99,98% pada limbah B3 dalam proses stabilisasi dan solidifikasi. Hasil uji TCLP telah memenuhi baku mutu lingkungan lampiran XII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Kata Kunci : Limbah B3, Logam Berat, Stabilisasi dan Solidifikasai, *Fly Ash*, TCLP.

Abstract

Waste is thing that cannot be separated from human life, especially in the industrial sector. Waste generated from industrial activities can contain hazardous and toxic materials (B3). Improper handling of B3 waste will have a direct impact on human health and the environment. One way to treat B3 waste is through a stabilization and solidification process using a mixture of cement and fly ash. Fly ash has pozzolanic properties and has the same smoothness as cement so that fly ash can bind heavy metals contained in B3 waste. This experiment aims to determine the effect and efficiency of reducing the content of heavy metals Pb and Cd in B3 waste by using a variant type of fly ash from the pulp & paper industry and incinerators through stabilization and solidification processes. The stabilization and solidification processes are carried out using the ratio of fly ash : cement : B3 waste, which is 1:1:1. The stabilized and solidified products were then tested using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) test. The results showed that fly ash from the pulp & paper industry and incinerators had the effect and efficiency of reducing the heavy metal content of Pb, respectively 99.89% and 98.32%, and Cd, respectively, 99.98% and 99.98% in waste. B3 is in the process of stabilization and solidification. The results of the TCLP test have met the environmental quality standards in Appendix XII of the Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management.

Keyword : Hazardous Waste (B3), Heavy Metals, Stabilization and Solidification, *Fly Ash*, TCLP.

PENDAHULUAN

Limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dapat mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) berupa senyawa organik dan anorganik. Penanganan limbah B3 yang tidak baik akan memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pengolahan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara termal, stabilisasi dan solidifikasi atau dengan cara lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Stabilisasi atau solidifikasi (S/S) merupakan proses yang melibatkan pencampuran limbah dengan zat pengikat untuk mereduksi pelindian kontaminan baik secara fisik dan kimia. Proses S/S mengkonversi limbah B3 menjadi bentuk limbah yang dapat diterima oleh lingkungan untuk dibuang ke lahan pembuangan atau digunakan untuk keperluan konstruksi. Utomo, (2008) menyatakan bahwa proses S/S merupakan teknologi penanganan limbah B3 yang dapat mereduksi mobilitas kontaminan dengan menstabilkan kontaminan.

Proses stabilisasi atau solidifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan semen dan bahan pengikat. Bahan pengikat yang dapat digunakan berupa kapur, natrium silika, kalsium klorida, dan *fly ash*. *Fly ash* banyak dihasilkan oleh industri-industri besar yang membutuhkan bahan bakar seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), industri semen, *pulp* dan *paper*, karet dan lain-lain. *Fly ash* dengan kode limbah N 106 dari proses pembakaran batubara pada fasilitas pembangkitan listrik tenaga uap PLTU atau dari kegiatan lain yang menggunakan teknologi selain *stoker boiler* dan/atau tungku industri termasuk kedalam kategori limbah non B3. Sedangkan pada proses pembakaran batubara di industri lain, dengan fasilitas *stoker boiler* dan/atau tungku industri yang digunakan untuk pembuatan

steam dengan temperatur rendah, limbah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA).

Permasalahan yang timbul dalam kajian ini adalah bagaimana pengaruh *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator untuk menurunkan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dalam proses stabilisasi dan solidifikasi; bagaimana tingkat efisiensi penurunan logam berat Pb dan Cd dalam limbah B3 dengan menggunakan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator.

Tujuan dari penelitian ini adalah menjelaskan pengaruh *fly ash* terhadap penurunan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dengan menggunakan varian jenis *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator melalui proses stabilisasi dan solidifikasi; menjelaskan efisiensi penurunan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dengan menggunakan varian jenis *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator melalui proses stabilisasi dan solidifikasi.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan pengolahan limbah B3 dengan proses stabilisasi dan solidifikasi; memberikan alternatif varian *fly ash* industri *pulp & paper* dan insinerator untuk pengolahan limbah B3 yang mengandung logam berat.

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi pengujian mutu produk hasil proses stabilisasi dan solidifikasi dilakukan di Laboratorium PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI). Limbah yang digunakan berupa limbah buatan yang mengandung logam berat Pb dan Cd. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis awal konsentrasi Pb dan Cd limbah buatan, analisis produk hasil stabilisasi dan solidifikasi meliputi uji TCLP.

Studi Literatur

Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara

langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disebut LB3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3.

Stabilisasi dan Solidifikasi

Stabilisasi adalah proses penambahan bahan aditif atau reagensia yang bertujuan untuk mengurangi sifat beracun limbah, dengan cara mengubah limbah dan komponen berbahayanya ke bentuk yang dapat mengurangi laju migrasi kontaminan ke lingkungan, atau mengurangi sifat beracun limbah tersebut. Sedangkan solidifikasi adalah proses ditambakkannya bahan yang dapat memadatkan limbah agar terbentuk massa limbah yang padat (Trihadiningrum, 2016).

Tujuan dari proses stabilisasi/solidifikasi adalah mengkonversi limbah beracun menjadi massa yang secara fisik inert, memiliki daya leaching rendah, serta kekuatan mekanik yang cukup agar aman untuk dibuang ke landfill limbah B3. Terdapat beberapa jenis proses S/S yang banyak digunakan, yaitu Stabilisasi / solidifikasi dengan semen; Vitrifikasi; Absorpsi; Enkapsulasi Termoplastik; Enkapsulasi Makro

Menurut Riyanto (2013), prinsip kerja stabilisasi/solidifikasi adalah perubahan watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (*massive*).

Tata cara kerja stabilisasi/solidifikasi adalah limbah B3 sebelum stabilisasi/solidifikasi harus dianalisis karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B3 tersebut. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap

hasil olahan tersebut dilakukan uji TCLP untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*). Hasil uji TCLP kadarnya tidak boleh melewati nilai ambang batas sebagaimana ditetapkan. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*Compressive Strength*) dengan "*Soil Penetrometer Test*", dengan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos uji "*paint filter liquid test*". Limbah B3 olahan yang memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos tes *paint filter liquid test*; selanjutnya harus ditimbun di tempat penimbunan (*landfill*) yang ditetapkan pemerintah atau yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 2460:2014, abu terbang atau *fly ash* merupakan residu halus yang dihasilkan dari pembakaran atau pembubukan batubara dan ditransportasikan oleh aliran udara panas. Abu terbang batu bara yang berasal dari pembangkit listrik memiliki kandungan silika (SiO₂) dapat mencapai 60% dan alumina (Al₂O₃) 35%. Kandungan mineral ini tergantung dari jenis batubara yang digunakan bituminous, subbituminous ataupun lignit. Pembakaran batu bara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous, namun memiliki kandungan silika, alumina dan karbon lebih sedikit daripada bituminous.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 2460:2014 menyatakan bahwa *fly ash* diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu : Abu terbang kelas N – Pozzolan alam mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah diatomae (hasil pelapukan); batu rijang opalan dan serpih; tufa dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya lempung dan serpih.

Abu terbang kelas F biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batubara bituminous, tetapi dapat juga dihasilkan dari batubara sub bituminous dan lignite.

Abu terbang kelas C biasanya dihasilkan dari pembakaran lignit atau batubara sub bituminous, dan dapat juga dihasilkan dari antrasit atau batubara bituminous. Abu terbang kelas C mengandung kadar kalsium total, yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO), lebih tinggi dari 10 %.

Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 8808 : 2019 tentang Prosedur Pelindian Karakteristik Beracun (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*, TCLP), TCLP merupakan prosedur yang ditetapkan untuk penentuan mobilitas bahan pencemar baik senyawa organik dan anorganik yang terdapat dalam cairan, padatan, atau limbah campuran. Selain digunakan untuk menentukan salah satu sifat beracun dari suatu limbah, uji TCLP dapat diterapkan dalam evaluasi produk hasil stabilisasi/solidifikasi.

Prinsip pengujian TCLP adalah bahan uji dilakukan dengan cara diekstrak dengan asam lemah pada pH tertentu dengan menggunakan agitator yang berputar secara *end over end* pada kecepatan $30 \text{ rpm} \pm 2 \text{ rpm}$ selama $18 \text{ jam} \pm 2 \text{ jam}$, kemudian larutan ekstraksi disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan instrumen untuk parameter organik atau anorganik. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan dan digunakan untuk penanganan limbah lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk pada penelitian kuantitatif dengan metode eksperimen, yaitu penelitian yang bermaksud untuk mengetahui efisiensi penurunan logam berat Pb dan Cd dalam limbah B3 dengan penambahan *fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator pada

proses stabilisasi dan solidifikasi. Penelitian yang dilakukan berusaha menelaah secara cermat dan sistematis mengenai pemilihan jenis *fly ash* yang dapat memberikan efisiensi tertinggi terhadap penurunan logam berat pada proses stabilisasi dan solidifikasi.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI). PT (PPLI) berlokasi di Jalan Raya Narogong Desa Nambo Kecamatan Klapanunggal Bogor 16820 Indonesia.

Kerangka Berfikir

Limbah B3 yang dihasilkan oleh industri memiliki kandungan logam berat Pb dan Cd yang tinggi. Logam berat Pb dan Cd memiliki sifat racun yang bersifat akut atau kronis yang dapat berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu pengolahan yang tepat untuk menurunkan logam berat pada limbah yang dihasilkan industri melalui proses stabilisasi dan solidifikasi dengan menggunakan campuran *fly ash* dan semen *portland*.

Variabel yang diamati

Variabel yang diamati adalah konsentrasi awal logam berat Pb dan Cd limbah buatan dan analisis produk hasil stabilisasi dan solidifikasi meliputi uji TCLP..

Tahapan Penelitian

Pembuatan Limbah Buatan dan Analisis Konsentrasi Awal

Dilakukan pembuatan limbah buatan dengan kandungan logam berat Pb dan Cd 10 mg/L. Limbah yang dibuat disesuaikan dengan kategori limbah yang belum terolah yang akan ditimbun ke *landfill*, selanjutnya limbah buatan tersebut dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi Pb dan Cd menggunakan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES)

Pembuatan Benda Uji

Rerata	9,51	9,55
--------	------	------

Dilakukan proses stabilisasi dan solidifikasi dengan campuran semen dan varian *fly ash* dari industri *pulp and paper* dan *incinerator* dengan perbandingan 1:1:1. Benda uji dalam penelitian ini dicetak berbentuk silinder. Setelah dilakukan proses stabilisasi dan solidifikasi, benda uji tersebut dibiarkan selama 14 hari pada suhu kamar.

Uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)

Benda uji produk hasil proses stabilisasi dan solidifikasi, selanjutnya dilakukan pengujian TCLP, Pengujian TCLP dilakukan dengan mengacu kepada metode *United States Environmental Protection Agency (US EPA) Method 1311*. kemudian larutan ekstraksi disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan instrumen *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)* untuk mengetahui konsentrasi Pb dan Cd.

Analisis Data

Data yang diperoleh, dianalisis dengan menggunakan rumus perhitungan efisiensi :

$$\text{Efisiensi}(\%) = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN**Karakteristik Limbah Buatan**

Penelitian ini menggunakan limbah buatan yang memiliki kandungan Pb dan Cd yang diperoleh dari penggunaan *Certified Reference Material Multielement (CRM)*. Hasil analisis awal konsentrasi Pb dan Cd dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Konsentrasi Awal Limbah Sebelum Pengolahan

No	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)
1	9,42	9,34
2	9,45	9,47
3	9,53	9,58
4	9,52	9,58
5	9,63	9,72

Berdasarkan hasil analisis diperoleh konsentrasi awal limbah untuk logam Pb sebesar 9,51 mg/L dan logam Cd 9,55 mg/L. Berdasarkan data tersebut limbah tersebut diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 1, karena memiliki zat pencemar lebih besar dari TCLP A. (PP Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup).

Uji TCLP Logam Pb

Uji TCLP merupakan prosedur laboratorium untuk memprediksi potensi perlintian B3 dari suatu limbah. Pada percobaan ini, limbah yang telah di stabilisasi dan solidifikasi serta dibiarkan selama 14 hari selanjutnya dilakukan pengujian TCLP dengan menggunakan larutan pengeskrak 2 yang memiliki nilai pH antara 2,83 – 2,93. Ekstraksi dilakukan pada kecepatan 30 ± 2 rpm selama 18 ± 2 jam. Hasil larutan ekstrak selanjutnya dilakukan analisis menggunakan ICP-OES sehingga diperoleh konsentrasi Pb yang dapat dilihat pada Tabel 2.

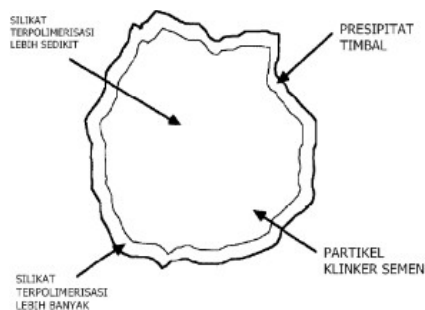
Tabel 2. Konsentrasi Logam Pb Setelah Pengolahan

No.	Konsetrasi Pb (mg/L) <i>Fly Ash</i> Industri <i>Pulp & Papper</i>	Konsentrasi Pb (mg/L) <i>Fly Ash</i> Insinerator	*BML (mg/L)
1.	<0.01	0,05	0,50
2.	<0.01	0,18	0,50
3.	<0.01	0,27	0,50
Rata2	<0.01	0,16	0,50

Berdasarkan Tabel 2. hasil TCLP logam Pb dengan menggunakan *fly ash* dari industri *pulp & paper* memberikan penurunan logam Pb lebih besar dibandingkan penggunaan *fly ash* dari insinerator, hal ini dapat terjadi disebabkan jenis limbah yang diolah menggunakan insinerator yang beragam dibandingkan dengan *fly ash* dari industri *pulp & paper*. Hasil TCLP logam Pb menunjukkan penggunaan *fly ash* dari kedua sumber tersebut

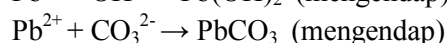
telah memenuhi baku mutu karakteristik beracun melalui TCLP untuk penetapan standar pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun sebelum ditempatkan di fasilitas penimbunan akhir.

Penurunan logam berat Pb pada limbah buatan ini karena limbah tersebut diikat secara fisik oleh bahan pengabsorpsi yakni *fly ash*, sesuai dengan Trihadiningrum (2016) *fly ash* merupakan bahan absorben yang bersifat pozzolanik atau dapat mengeras serta dapat digunakan untuk jangka panjang. Penurunan logam berat Pb pada limbah buatan ini juga dipengaruhi penggunaan semen sebagai bahan pengikat. Berdasarkan Penelitian Cocke (dalam Trihadiningrum & Anrozi, 2017) semen memiliki peran penting dalam proses stabilisasi dan solidifikasi untuk mencegah imobilisasi kontaminan. Pb dilapisi oleh lapisan kalsium silikat yang mencegah hidrasi dan membatasi mobilisasi kontaminan.



Gambar 1. Sketsa Logam Berat Timbal yang Dilapisi Partikel Semen Pada Proses S/S

Kontaminan logam berat Pb terperangkap di dalam matriks semen dan terkonversi menjadi bentuk yang stabil secara fisik dan kimia. Reaksi yang berlangsung saat proses S/S adalah:



Logam berat Pb yang mengendap terperangkap dalam matriks semen yang terbentuk menyebabkan kontaminan terimobilisasi dan stabil secara fisik.

Uji TCLP Logam Cd

Uji Logam Cd, limbah yang telah di stabilisasi dan solidifikasi serta didiamkan selama 14 hari selanjutnya dilakukan pengujian TCLP dengan menggunakan larutan pengeskrak 2 yang memiliki nilai pH antara 2,83 – 2,93. Ekstraksi dilakukan pada kecepatan 30 ± 2 rpm selama 18 ± 2 jam. Hasil larutan ekstrak selanjutnya dilakukan analisis menggunakan ICP-OES sehingga diperoleh konsentrasi Pb yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi Logam Cd Setelah Pengolahan

No.	Konsentrasi Cd (mg/L) Fly Ash Industri Pulp & Papper	Konsentrasi Cd (mg/L) Fly Ash Insinerator	*BML (mg/L)
1.	<0.002	<0.002	0,15
2.	<0.002	<0.002	0,15
3.	<0.002	<0.002	0,15
Rata2	<0.002	<0.002	0,15

Berdasarkan Tabel 3. hasil TCLP logam Cd dengan menggunakan *fly ash* dari industri pulp & paper dan insinerator menunjukkan hasil logam Cd dari kedua sumber *fly ash* tersebut telah memenuhi baku mutu karakteristik beracun melalui TCLP untuk penetapan standar pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun sebelum ditempatkan di fasilitas penimbunan akhir.

Penurunan logam berat Cd pada limbah buatan ini karena limbah tersebut diikat secara fisik oleh bahan pengabsorpsi yakni *fly ash*, sesuai dengan Trihadiningrum (2016) *fly ash* merupakan bahan absorben yang bersifat pozzolanik atau dapat mengeras serta dapat digunakan untuk jangka panjang

Efisiensi Penurunan Logam Berat PB dan Cd

Berdasarkan hasil analisis konsentrasi awal limbah sebelum pengolahan dan limbah setelah pengolahan yang dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Selanjutnya data tersebut dapat digunakan untuk memperoleh %

efisiensi penurunan logam Pb dan Cd yang dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan persentase efisiensi dapat dilihat pada sebagai berikut :

1. Efisiensi penurunan logam berat pb menggunakan *fly ash* industri *pulp & paper*

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,51 \frac{mg}{L} - 0,01 \frac{mg}{L}}{9,51 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 99,89\%$$

2. Efisiensi penurunan logam berat pb menggunakan *fly ash* insinerator

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,51 \frac{mg}{L} - 0,16 \frac{mg}{L}}{9,51 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 98,32\%$$

3. Efisiensi penurunan logam berat cd menggunakan *fly ash* industri *pulp & paper*

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,55 \frac{mg}{L} - 0,02 \frac{mg}{L}}{9,55 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 99,98\%$$

4. Efisiensi penurunan logam berat cd menggunakan *fly ash* insinerator

$$\text{Efisiensi Penurunan Pb (\%)} = \frac{9,55 \frac{mg}{L} - 0,02 \frac{mg}{L}}{9,55 \frac{mg}{L}} \times 100\% = 99,98\%$$

Tabel 4. Konsentrasi Logam Cd Setelah Pengolahan

Jenis <i>Fly Ash</i>	Efisiensi Penurunan Pb (%)	Efisiensi Penurunan Cd (%)
Industri Pulp & Papper	99,89	99,98
Insinerator	98,32	99,98

Berdasarkan tabel diatas kedua jenis *fly ash* tersebut memberikan efisiensi penurunan logam Pb dan Cd yang baik, sehingga kedua *fly ash* tersebut dapat digunakan untuk mengolah limbah B3 dengan proses stabilisasi dan solidifikasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut *Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan pengaruh untuk menurunkan kandungan logam berat Pb dan Cd pada limbah B3 dalam proses stabilisasi dan solidifikasi.

Fly ash dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan efisiensi penurunan logam berat Pb masing-masing 99,89 % dan 98,32%. *Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator memberikan efisiensi penurunan logam berat Cd yakni 99,98%. *Fly ash* dari industri *pulp & paper* dan insinerator dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah B3.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 2014. Standar Nasional Indonesia (SNI) 2460:2014 Tentang Spesifikasi abu Terbang Batu Bara Dan Pozzolan Alam Mentah Atau Yang Telah Dikalsinasi Untuk Digunakan Dalam Beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2019. Standar Nasional Indonesia (SNI) 8808:2019 Prosedur Pelindian Karakteristik Beracun (Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Dermawan, M.H. 2010. Model Kuat Tekan Proporsi Abu terbang dan Semen untuk Bahan Dasar Batu Cetak. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan 12 (1): 59-70

Gunawan, G., & Fransisko, S. 2011. Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Yang Ramah Lingkungan Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Dasar (Waste Utilization of Enviroment-Friendly Fly Ash As Soil Subgrade Stabilizer). Jurnal Jalan-Jembatan Volume 28, pp. 76-85. Bandung.

Husaini & Adhani, R. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.

Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1995.Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor: Kep 04/Bapedal/09/1995 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan, Dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun. Jakarta: Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.

Palar, H. 2004. *Pencemaran & Toksikologi Logam Berat Ed Ke-2*. Jakarta: Rineka Cipta

ANROZI, R., & TRIHADININGRUM, Y. 2017. Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 2. Surabaya.

Pemerintah Pusat Republik Indonesia 2021, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan

dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
Pemerintah Pusat. Jakarta.

Riyanto. 2013. *Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Yogyakarta: Deepublish.

POTENSI KAYU TISUK, GMELINA DAN SENGON SEBAGAI ELEMEN STRUKTUR BERDASARKAN SIFAT FISISNYA

Sri Indah Setyaningsih MSM¹

¹Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Gunadarma

Email : niningbanjar78@gmail.com

Abstrak

Hutan Indonesia mengandung sekitar 4.000 jenis pohon. Permintaan kayu meningkat dengan pertumbuhan ekonomi yang kuat di Indonesia. Namun besarnya deforestasi di Indonesia yang menyebabkan krisis bahan baku di industri kehutanan. Salah satu alasan mengapa kayu lebih disukai sebagai bahan bangunan adalah karena nilai estetika. Alasan lain adalah kekuatan tarik dan kekuatan geser, yang relatif lebih tinggi dibandingkan beton, sehingga penggunaannya sebagai komponen dalam struktur bangunan relatif aman di daerah rawan gempa, terutama untuk perumahan. Penelitian ini berkonsentrasi pada potensi penggunaan kayu Tisuk, Gmelina dan Sengon yang tergolong jenis kayu cepat tumbuh sebagai elemen struktur berdasarkan sifat fisisnya. Berdasarkan kelas kuatnya, kayu yang dinyatakan layak sebagai elemen struktur adalah kayu dengan kelas kuat I, II dan III. Tujuan utama adalah untuk mengatasi kelangkaan kayu dengan mencari sumber kayu alternatif dari jenis kayu cepat tumbuh. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menguji sifat fisis dari tiga jenis kayu cepat tumbuh (Tisuk, Gmelina, Sengon) di laboratorium. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kayu Gmelina dan Tisuk adalah kayu yang tergolong kelas kuat III dengan densitas 0,5-0,6 gr/cm³. Namun kayu Gmelina juga memiliki kadar air tertinggi yaitu 12%. Sedangkan kayu Sengon memiliki nilai densitas terendah yaitu 0,3 (tergolong kelas kuat IV). Oleh karena itu, dari 3 spesies, yang usianya berkisar antara 5-8 tahun, yang layak untuk digunakan sebagai elemen struktur dalam bentuk adalah kayu Gmelina dan Tisuk.

Kata Kunci: kayu cepat tumbuh, kayu dilaminasi, sifat fisik.

Abstract

Indonesia's forests contain around 4,000 species of trees. The demand for wood is increasing with Indonesia's strong economic growth. However, the amount of deforestation in Indonesia is causing a raw material crisis in the forestry industry. One of the reasons why wood is preferred as a building material is because of its aesthetic value. Another reason is the tensile strength and shear strength, which are relatively higher than concrete, so that their use as components in building structures is relatively safe in earthquake-prone areas, especially for housing. This research concentrates on the potential use of Tisuk, Gmelina and Sengon timber which are classified as fast growing tree species as structural elements based on their physical properties. Based on its strength class, the timber that is declared suitable as a structural element is timber with strength class I, II and III. The main goal is to overcome the timber shortage by finding alternative sources of timber from fast growing tree species. The method used in this study examined the physical properties of three fast growing tree species (Tisuk, Gmelina, Sengon) in the laboratory. The results showed that Gmelina and Tisuk timber belonged to strong class III with a density of 0.5-0.6 gr/cm³. However, Gmelina timber also has the highest moisture content, which is 12%. While Sengon timber has the lowest density value, namely 0.3 (classified as strong class IV). Therefore, of the 3 species, whose ages range from 5-8 years, the ones that are suitable for use as structural elements in the form are Gmelina and Tisuk timber.

Keywords: fast growing tree, physical properties, formatting.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berisiko tinggi terhadap gempa. Hal ini disebabkan adanya pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Filipina.

Untuk dapat menahan gaya gempa, maka bangunan harus didesain dengan paradigma risiko gempa. Titik kritis saat gempa pada suatu bangunan adalah pada bagian sambungan balok kolomnya. Berdasarkan fakta tersebut, penggunaan kayu sebagai bahan baku sambungan balok kolom tahan gempa mungkin dapat menjadi solusi alternatif untuk diaplikasikan pada permasalahan ini.

Kayu merupakan salah satu material konstruksi yang sudah lama dikenal, sebelum digunakan material baja dan beton. Hanya saja untuk struktur bangunan saat ini, kayu jarang digunakan karena dimensi kayu yang tersedia terbatas bila dibandingkan dengan baja dan beton. Untuk mengatasi masalah dimensi kayu yang terbatas, saat ini mulai dikembangkan suatu teknologi di bidang material konstruksi berupa teknologi kayu glulam. Kayu glulam adalah kayu yang terdiri dari beberapa lapisan kayu yang direkatkan dengan bantuan lem untuk mendapatkan dimensi ukuran yang lebih besar dari pada kayu yang tersedia di pasaran. Kondisi seperti ini harus diantisipasi dengan mencari pengganti penggunaan kayu dengan bahan berkayu lain yang memiliki potensi cukup besar dan dapat di manfaatkan dengan baik serta dapat menggantikan penggunaan kayu hutan alami sebagai bahan konstruksi dan bahan bahan lain kebutuhan manusia. Misalnya dengan penggunaan produk komposit seperti kayu laminasi yang berbahan baku dari kayu cepat tumbuh dan berkembang.

Manfaat yang dihasilkan dengan adanya teknologi kayu glulam antara lain adalah dimensi kayu dapat direkayasa menjadi lebih besar, biaya yang lebih ekonomis karena dapat menggunakan beberapa mutu kayu yang berbeda, dan dapat mengatur posisi cacat kayu. Hal ini bisa didapatkan pada kayu yang

dibudidayakan oleh Hutan Produksi atau Hutan Rakyat atau Hutan Tanaman Industri.

Keseluruhan persoalan yang dihadapi oleh industri pengolahan kayu baik secara parsial maupun nasional harus dicarikan jalan terbaik agar bisa keluar dari krisis tersebut di atas. Salah satu faktor penting yang perlu dilakukan adalah efisiensi bahan baku karena selain sumberdaya hutan yang semakin langka, harga kayu yang semakin mahal, juga karena tekanan dunia internasional yang menghendaki agar seluruh produk industri perkayuan yang dihasilkan dari hutan yang dikelola secara lestari dan berkesinambungan (*sustainable forest management*).

METODE PENELITIAN

Pemilihan kayu cepat tumbuh dilakukan di lokasi Hutan Rakyat di Desa Cibugel Kecamatan Cibugel Kabupaten Sumedang Propinsi Jawa Barat. Adapun jenis kayu yang dipilih disajikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 1. Jenis Kayu Cepat Tumbuh yang diteliti dan Pengkodean

No.	Jenis Kayu	Diameter	Umur	kode
1	Tisuk	30 cm	5 tahun	D
2	Gmelina (<i>Gmelina arborea</i>)	25-30 cm	6 tahun	E
3	Sengon (<i>Toona Sinensis Roem</i>)	25 cm	5 tahun	F

Kemudian dilakukan uji sifat fisis terhadap ketiga jenis kayu tersebut yaitu uji kadar air dan uji densitas/kerapatan.

a. Pengujian Kadar Air (%)

Komponen Pengujian kadar air adalah berupa alat dan bahan berupa lima jenis kayu cepat tumbuh, yang dihitung dengan rumus:

$$\omega = (W1 - W2) / W1 \times 100\%$$

b. Pengujian Kerapatan (gr/cm³)

Komponen Pengujian kadar air adalah berupa alat dan bahan berupa lima jenis kayu cepat

tumbuh, yang dihitung dengan rumus kerapatan (ρ)

$$\rho = m/v$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji sifat fisis yang telah dilakukan yaitu ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air

No.	Jenis Kayu	sampel	Berat awal (W0)	Berat (gr) oven 2 jam ke-1 (W1)	Berat (gr) oven 2 jam ke-5 (W5)	Kadar Air ω (%)
1	D	D1 (4,955 X4,825 X4,955)	61,55	58,04	55,54	9,7
		D2 (4,955 X4,955 X4,9)	60,82	56,93	53,97	9,6
		D3 (4,9X4,95,4,955)	60,87	57,73	54,61	9,8
2	E	E1 (4,955 X4,86 C4,86)	58,69	56,00	50,33	14
		E2 (4,955 X4,86 X4,86)	61,35	58,41	52,43	12
		E3 (4,95 X4,9,4,85)	73,16	68,95	60,90	10
3	F	F1 (5X4,9 X4,8)	36,09	33,84	32,98	8,6
		F2 (5X4,9 X4,825)	36,65	36,65	33,56	8,4
		F3 (4,9X4,82X4,85)	34,69	34,69	31,53	8,3

Tabel 3. Hasil Pengujian Kerapatan/Densitas

No.	Jenis Kayu	sampel	Berat awal (gr)	Densitas ($\rho = \frac{m}{v}$)
1	D	D1 (4,955X4,825X4,955)	61,55	0,520
		D2 (4,955X4,955X4,9)	60,82	0,516
		D3 (4,9X4,95,4,955)	60,87	0,501
2	E	E1 (4,955X4,86C4,86)	58,69	0,612
		E2 (4,955X4,86X4,86)	61,35	0,610
		E3 (4,95X4,9,4,85)	73,16	0,601
3	F	F1 (5X4,9X4,8)	36,09	0,298
		F2 (5X4,9X4,825)	36,65	0,303
		F3 (4,9X4,82X4,85)	34,69	0,321

Setelah dilakukan tes terhadap sifat fisis terhadap kayu solid, kayu Gmelina memiliki spesifikasi tertinggi dengan 0,55 gr/cm³(kelas kuat III), Tisuk 0,51 gr/cm³(kelas kuat III) dan Sengon 0,29 gr/cm³ (kelas kuat IV) .

KESIMPULAN

Densitas yang tertinggi diperoleh pada kayu Gmelina yaitu antara 0,61 gr/cm³, Tisuk dengan Densitas 0,56 gr/cm³, dan Sengon 0,341 gr/cm³ dan kadar air rata-rata tertinggi ada pada kayu Gmelina yaitu 12 %

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2000. ASTM D143-94 (Reapprove 2000), Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.
- Anonim. 2007. Japanese Agricultural Standard (JAS) for Glued Laminated Timber. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan.
- Anonim. 2005. Spesifikasi kelas kekuatan kayu bangunan yang di pilih secara masinal. Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, SNI 7023: 2013
- Anonim, 2009. Kementerian Kehutanan. Produksi HTI kayu dan pembangunan areal penanaman tahun 2007 dan 2008. Anonim, 2010. Badan Pusat Statistik. Jumlah Penduduk Indonesia.

- Dimiyati M. 2011, Kebutuhan Rumah Penduduk di Indonesia
- Smith T, et al. 2012. Seismic Performance of a Post-Tensioned Glue Laminated Beam to Column Joint : Experimental and Numerical Results. World Conference on Timber Engineering. Auckland, 16-19 Juli 2012.
- Sugiri S, et al. 2013. Mapping of Indonesian Timber: Potential of Glulam Wooden Beams without Reinforcement and with Reinforcement for Timber Structures. The Second international Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment, Bandung 19-20 November 2013.
- Vinci L D, 2008, Handbook2 Design of Timber Structures according to EC 5, Educational Material for Designing and Testing of Timber Structure- TEMTIS.

OPTIMALISASI KOAGULAN UNTUK PENINGKATAN KAJIAN KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR (IPA) KEDASIH CITAYAM PT TIRTA ASASTA DEPOK

Trimo Pamudji Al Djono¹, Raihan Nurriska²

¹Dosen Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

²Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email: aldjono@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan koagulan dalam meningkatkan kinerja Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedasih dalam penyisihan flok dari unit sedimentasi sebelum masuk ke unit berikutnya, serta menganalisis efisiensi energi terkait dengan fluktuasi kualitas air baku, terutama pada parameter kekeruhan. Penelitian ini dilakukan pada PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) dalam kurun waktu Januari hingga Februari 2023. Pengambilan data dilakukan secara kuantitatif. Pada unit koagulasi, digunakan sistem hidrolis (terjunan) dengan menggunakan bahan kimia koagulan Poly Aluminium Chlorite (PAC). Sementara itu, unit filtrasi menggunakan jenis saringan pasir cepat (Rapid Sand Filter) dengan single media yaitu pasir silika. Hasil pengukuran kekeruhan selama 29 hari pada sedimentasi dan produksi menunjukkan nilai rata-rata 2,2 NTU pada sedimentasi dan 1,4 NTU pada produksi, yang telah memenuhi syarat. Selanjutnya, hasil perhitungan parameter rancangan di unit filtrasi menunjukkan kecepatan penyaringan sebesar 10 meter/jam, yang juga telah memenuhi kriteria desain. Efisiensi penyisihan kekeruhan mengalami peningkatan dari 98,6% menjadi 99,1%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan koagulan dalam IPA Kedasih berkontribusi pada peningkatan efisiensi penyisihan flok dan kualitas air baku. Kapasitas IPA yang terpasang adalah 480 liter/detik, dan yang terpakai adalah 350 liter/detik berdasarkan data total kapasitas. Kesimpulannya, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan koagulan dan proses filtrasi dalam IPA Kedasih sangat efektif dalam memperbaiki kualitas air baku, dengan hasil yang memenuhi standar baku mutu dan kriteria desain. Penggunaan koagulan dan filtrasi ini dapat menjadi solusi yang efisien dalam meningkatkan kinerja Instalasi Pengolahan Air dan memastikan penyediaan air berkualitas bagi masyarakat.

Kata Kunci: *Pengolahan air, instalasi, koagulasi, flokulasi, kinerja pengolahan*

Abstract

This study aims to analyze the use of coagulants in improving the performance of the Kedasih Water Treatment Plant (IPA) in removing flocs from the sedimentation unit before entering the next unit, as well as analyzing the energy efficiency related to fluctuations in raw water quality, especially on turbidity parameters. This research was conducted at PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) from January to February 2023. Data collection was done quantitatively. The installed IPA capacity is 480 liters/second, and the used capacity is 350 liters/second based on total capacity data. In the coagulation unit, a hydraulic system (falling) is used using Poly Aluminium Chlorite (PAC) coagulant chemicals. Meanwhile, the filtration unit uses a type of rapid sand filter (Rapid Sand Filter) with a single media, namely silica sand. The results of turbidity measurements for 29 days at sedimentation and production showed an average value of 2.2 NTU at sedimentation and 1.4 NTU at production, which met the requirements. Furthermore, the results of the design parameter calculation in the filtration unit showed a filtration rate of 10 meters/hour, which also met the design criteria. The efficiency of turbidity removal in December increased from 98.6% to 99.1%. This indicates that the use of coagulants in IPA Kedasih contributes to the improvement of floc removal efficiency and raw water quality. In conclusion, this study shows that the use of coagulants and filtration processes in IPA Kedasih are very effective in improving raw water quality, with results that meet quality standards and design criteria. The use of coagulants and filtration can be an efficient solution in improving the performance of Water Treatment Plants and ensuring the provision of quality water for the community.

Keywords: *Water treatment, installation, coagulation, flocculation, water treatment performance*
Optimalisasi Koagulan Untuk Peningkatan Kajian Kinerja Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedasih Citayam PT Tirta Asasta Depok

PENDAHULUAN

Air adalah zat kimia penting dengan rumus H_2O , terdiri dari dua atom hidrogen yang terikat pada satu atom oksigen. Kehadiran air krusial bagi kehidupan di bumi, tak dapat digantikan oleh zat lain. Fungsi utama air adalah sebagai air minum, memenuhi kebutuhan tubuh manusia untuk kelangsungan hidup, serta untuk keperluan rumah tangga, industri, pertanian, dan lainnya.

Pentingnya kualitas air minum menuntut adanya persyaratan kualitas air yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/PER/IV/2010, mencakup aspek fisika, kimia, dan bakteriologis.

Dalam upaya menyediakan air minum berkualitas bagi masyarakat, Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) didirikan untuk menyediakan layanan air minum. Sebelum didistribusikan ke konsumen, air baku harus melalui proses pengolahan di Instalasi Pengolahan Air (IPA) untuk memastikan terpenuhinya standar kualitas.

PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) adalah PDAM yang menggunakan sungai Ciliwung sebagai sumber air baku untuk diolah di IPA Kedasih Citayam, berkapasitas 480 L/detik. Penelitian ini akan fokus pada optimalisasi penggunaan koagulan pada IPA Kedasih untuk meningkatkan efisiensi penyisihan flok sebelum masuk ke unit berikutnya dan menganalisis efisiensi energi terkait fluktuasi kualitas air baku, khususnya kekeruhan.

Penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman lebih mendalam tentang kualitas air hasil olahan di IPA Kedasih dan berkontribusi pada peningkatan kinerja IPA serta penyediaan air minum yang berkualitas bagi masyarakat. Penelitian dilaksanakan pada Januari-Februari 2023 dengan PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) sebagai narasumber dan menggunakan metode kuantitatif.

Sumber Air dan Pemilihan Air Baku untuk Pengolahan Air Minum

Air permukaan terdiri dari sungai, danau, waduk, rawa, dan genangan air lainnya yang tidak mengalami infiltrasi ke dalam tanah. Aliran air dari daratan ke badan air disebut limpasan permukaan, sedangkan aliran air di sungai menuju laut disebut aliran air sungai. Sekitar 60% air yang masuk ke sungai berasal dari hujan, pencairan es/salju, dan sisanya dari air tanah.

Air hujan mengandung oksigen, karbon dioksida, nitrogen oksida, dan sulfur dioksida dari udara, namun tetap dapat digunakan untuk berbagai keperluan termasuk air minum.

Pemilihan air baku harus memenuhi persyaratan kualitas, kuantitas, dan kontinuitas untuk sistem penyediaan air minum. Kualitas air minum harus memenuhi standar baku mutu yang meliputi parameter fisik seperti bau, warna, TDS, kekeruhan, rasa, dan suhu; parameter kimia seperti aluminium, besi, kesadahan, klorida, mangan, pH, seng, sulfat, tembaga, dan amonia; parameter mikrobiologi seperti E-Coli dan total bakteri koliform; serta parameter kimia anorganik termasuk arsen, fluorida, total khromium, kadmium, nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), sianida, dan selenium.

Air minum harus memenuhi persyaratan kuantitas dengan jumlah air yang mencukupi untuk kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang dilayani. Akses air minum yang aman harus memenuhi kebutuhan pokok minimal 60 liter/orang/hari melalui Sistem Penyediaan Air Minum dengan jaringan perpipaan atau bukan jaringan perpipaan terlindungi.

Kontinuitas pengaliran Air Minum harus memberikan jaminan pengaliran selama 24 jam per hari. Unit instalasi pengolahan air minum termasuk bangunan penangkap air (intake) yang mengumpulkan air baku dari sumber dan menyaring benda-benda kasar

dengan *bar screen*. Koagulasi merupakan proses kimia untuk memecah partikel koloid di air baku dengan penambahan koagulan seperti aluminium sulfat atau garam-garam besi untuk membentuk flok koagulan.

Koagulasi pada Pengolahan Air Minum

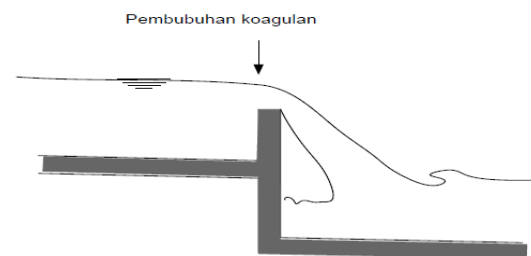
Faktor yang mempengaruhi proses koagulasi antara lain kualitas air, jumlah dan karakteristik koloid, derajat keasaman air (pH), pengadukan cepat, kecepatan *paddle*, temperatur air, alkalinitas air, dan karakteristik ion-ion dalam air. Koagulan-pembantu seperti polielektrolit juga dapat digunakan.

Tabel 1: Jenis Koagulan dalam Pengolahan Air

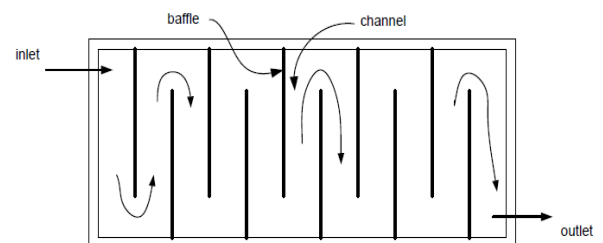
Nama Kimia	Nama Lain	Rumus Kimia	Berat Molekul	Wujud	Densitas bulk, kg/m ³	Specific Gravity	Kelarutan dalam Air, kg/m ³	Kadar Kimia %w/w	Kadar Air % w/w	pH larutan
Aluminium sulfat	Alum	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$	599,77	Putih terang, padat	1000-1096	1,25-1,36	Sekitar 872	Al: 9,0-9,3		Sekitar 3,5
	Alum cair	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 49,6H_2O$	1235,71	Putih atau terang- abu abu kekuningan, cair		1,30-1,34	Sangat larut	Al: 4,0-4,5	71,2-74,5	
Ferri klorida	Besi (III) klorida, Besi triklorida	$FeCl_3$	162,21	Hijau-hitam, bubuk	721-962		Sekitar 719	Fe: kira2 34		
	Ferri klorin cair	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	270,30	Kuning-coklat, bongkahan	962-1026		Sekitar 814	Fe: 20,3-21,0		
		$FeCl_3 \cdot 13,1H_2O$	398,21	Coklat kemerahan, cair		1,20-1,48	Sangat larut	Fe: 12,7-14,5	56,5-62,0	0,1-1,5
Ferri sulfat	Besi (III) sulfat, Besi persulfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	562,02	Merah-coklat, bubuk	1122-1154			Fe: 17,9-18,7		
	Ferri sulfat cair	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 36,9H_2O$	1064,64	Coklat kemerahan, cair		1,40-1,57	Sangat larut	Fe: 10,1-12,0	56,5-64,0	0,1-1,5
Ferro sulfat	Copperas	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	278,02	Hijau, bongkahan kristal	1010-1058			Fe: Sekitar 20		

Sumber: Qasim, dkk. (2000)

Jenis pengadukan dalam koagulasi terbagi menjadi dua, yaitu pengadukan mekanis dan pengadukan hidrolis. Pengadukan mekanis menggunakan peralatan mekanis yang bergerak dengan motor listrik untuk mencapai pengadukan cepat dalam satu bak. Pentingnya perancangan alat pengaduk mekanis melibatkan parameter G dan td. Sementara itu, pengadukan hidrolis menggunakan aliran air sebagai tenaga pengadukan, dengan energi hidrolis yang dihasilkan dari aliran seperti terjunan, loncatan hidrolis, dan *parshall flume* untuk mencapai turbulensi yang dibutuhkan dalam pengadukan cepat.



Gambar 1. Pengadukan cepat dengan terjunan



Gambar 2. Denah pengadukan dengan *baffled channel*

Pada proses pengolahan air, koagulasi digunakan untuk mengurangi kekeruhan air baku dengan penambahan tawas atau PAC (Polialuminium Chloride). Penggunaan tawas atau PAC harus sesuai dengan dosis yang

tepat untuk mencapai hasil optimal. Kekeruhan yang tinggi dapat menyebabkan air menjadi tidak jernih dan sulit diolah. Penggunaan hydrocyclone juga dapat membantu mengurangi kekeruhan air dengan memisahkan partikel-padat dari air.

Setelah proses koagulasi, dilakukan flokulasi untuk mempercepat penggabungan flok yang telah terbentuk. Flokulasi melibatkan proses tarik-menarik antara partikel-partikel yang distabilkan, membentuk flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Pada flokulasi, bak dibagi menjadi tiga kompartemen untuk pendewasaan, penggabungan, dan pemadatan flok. Pengadukan dalam flokulasi dilakukan secara lambat dengan gradien kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan proses koagulasi.

Flokulasi memiliki beberapa tujuan, termasuk meningkatkan penyisihan partikel padat dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dari pengolahan fisik, memperlancar proses *conditioning* air limbah industri, meningkatkan kinerja *secondary clarifier* dan proses lumpur aktif, serta menjadi *pretreatment* untuk proses pembentukan *secondary effluent* dalam filtrasi.

Operasional dan Pemeliharaan Bak Koagulasi dan Flokulasi

Operasional dan pemeliharaan bak koagulasi meliputi beberapa langkah. Pertama, pemeriksaan kualitas air baku di laboratorium instalasi untuk menentukan dosis koagulan yang tepat, termasuk mengukur kekeruhan air dan pH air baku. Dosis koagulan ditentukan melalui percobaan *jar-test* dan pengukuran pH air baku menggunakan komparator pH. Selanjutnya, pengontrolan debit koagulan yang masuk ke splitter box dilakukan setiap jam oleh operator instalasi. Pemeriksaan clogging pada saluran/pipa *feeding* dan pompa pembubuh larutan koagulan serta cek *clogging* pada *orifice diffuser* dilakukan setiap harinya oleh operator instalasi.

Sementara itu pada bak flokulasi meliputi: *penyisihan* schum yang mengapung pada bak flokulasi dilakukan setiap hari secara manual menggunakan alat sederhana (jala), biasanya dilakukan pada pagi hari, dan mengontrol ukuran flok yang terbentuk melalui pengamatan visual. Selanjutnya melakukan pemeriksaan kemungkinan tumbuhnya algae pada dinding tangki dan *baffle* dan diikuti dengan pengontrolan kecepatan mixer jika pengadukan dilakukan menggunakan *mechanical mixer*. Pengoperasian *mixer* membutuhkan perawatan yang lebih besar dari penggunaan *flokulator baffle*.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian yang digunakan dalam kajian ini di Instalasi Pengolahan Air Citayam, Jl. Kartini, Depok, Jawa Barat. Kajian dilakukan pada rentang waktu 22 Januari hingga 22 Februari 2022.

Metode Pengumpulan Data: Untuk mendapatkan informasi yang sesuai dengan fokus penelitian, metode pengumpulan data terdiri dari pengumpulan data sekunder dan data primer.

Data Pendukung Kajian: Selain data sekunder dan data primer, kajian memerlukan data pendukung berupa baku mutu air baku dan baku mutu air minum sesuai dengan peraturan pemerintah dan peraturan kesehatan, serta standar SNI 6774-2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket.

Analisis Data: Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk melihat alur proses pengolahan air minum di instalasi Citayam sesuai dengan standar Tata Cara Perencanaan Unit Paket SNI 6774-2008.

Tahap Pelaksanaan Kajian: Tahap pelaksanaan kajian terdiri dari persiapan dan pelaksanaan. Tahap persiapan melibatkan kegiatan yang diperlukan untuk memastikan kelancaran pelaksanaan kajian dan menghindari hambatan. Tahap pelaksanaan dimulai dengan mengumpulkan data pendukung, hasil wawancara, analisis, dan pengamatan langsung di lapangan. Data

dianalisis sesuai dengan standar baku mutu dan kriteria desain yang berlaku.

Kerangka Kajian: Kerangka kajian berisi uraian kegiatan kajian secara keseluruhan

Tahapan Penelitian

Pengumpulan Data Sekunder: Data sekunder diperoleh dari sumber seperti perpustakaan PT Tirta Asasta Depok (Perseroda), laporan bagian produksi, dan laporan penelitian. Data sekunder yang dibutuhkan mencakup spesifikasi Unit IPA Citayam, *as-built drawing* uprating IPA Citayam, peraturan-peraturan terkait, baku mutu air minum, baku mutu air baku, serta data monitoring/pengukuran debit dan kualitas air.

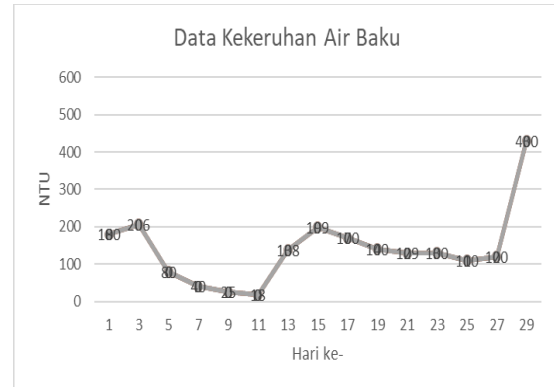
Pengumpulan Data Primer: Data primer diperoleh langsung dari lapangan melalui wawancara, pengamatan, pengukuran, dan pengujian. Wawancara dilakukan dengan Supervisor IPA Citayam, staf IPA Citayam, dan staf Laboratorium, dengan analisis sesuai standar baku mutu. Pengamatan langsung dilakukan di IPA Citayam, khususnya pada unit Filtrasi untuk memeriksa kinerjanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kualitas Air Baku Sungai Ciliwung

Parameter kualitas air baku baik parameter fisika, parameter kimia dan parameter biologi di cek di laboratorium kualitas air PT Tirta Asasta Depok (Perseroda). Parameter kualitas air baku hasil pemeriksaan di laboratorium kualitas air PT Tirta Asasta Depok dibandingkan dengan kriteris mutu air kelas I berdasarkan PP RI Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. IPA Citayam sudah mampu mengolah air baku yang berasal dari Sungai Ciliwung sehingga menghasilkan air produksi yang kualitasnya sesuai dengan standar kualitas air minum menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Analisis kualitas air baku di IPA Citayam terlampir.

Analisa Kualitas Air Baku Sungai Ciliwung



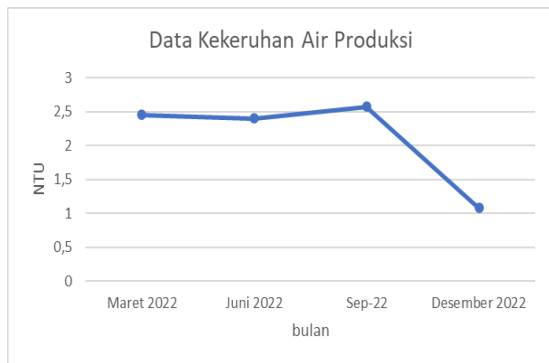
Gambar 3. Grafik Analisis Kekeruhan Air Baku

Berdasarkan pemantauan kekeruhan air baku yang dilakukan selama 29 hari di bulan Desember 2022, pada grafik diatas diketahui bahwa rata-rata nilai kekeruhan pada air baku sebesar 141 NTU. Nilai kekeruhan air baku yang terukur sangat berfluktuatif dan masih sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti cuaca, kandungan air baku, aktivitas manusia dan aktivitas pembuangan limbah ke badan air.

Kualitas Air Produksi

Secara rutin setiap sebulan sekali, IPA Citayam melakukan uji kualitas air produksi. Hal ini dilakukan dalam upaya pemantauan dan menjaga kualitas air agar layak dikonsumsi oleh konsumen. Kualitas air produksi harus memenuhi standar kualitas, karena hal ini menyangkut kesehatan bagi para konsumen. Berdasarkan parameter yang telah diuji, hasilnya sudah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, dimana terdapat parameter wajib yaitu parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan yang terdiri dari parameter mikrobiologi dan kimia anorganik, dan parameter tambahan yang terdiri dari parameter kimiawi antara lain bahan organik, radioaktivitas, pestisida, dan desinfektan beserta hasil sampingannya. Hasil Analisis Kualitas Air Produksi yang terlampir.

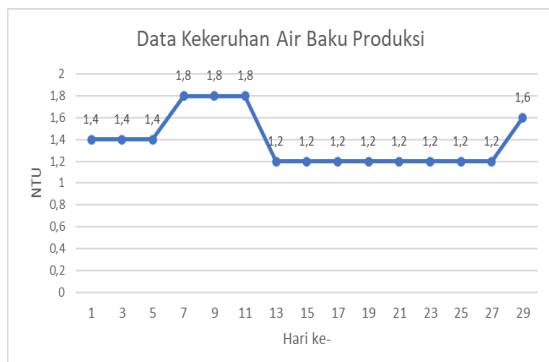
Analisis Kualitas Air Produksi



Gambar 4. Grafik Analisis Kekeruhan Air Produksi

Berdasarkan analisis data kekeruhan selama bulan Maret 2022 sampai dengan Desember 2022 pada grafik diatas diketahui bahwa rata-rata nilai kekeruhan air produksi IPA kapasitas 350 liter/detik sebesar 3,42 NTU dibawah persyaratan baku mutu yang di syaratkan, maka hasil tersebut telah memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

Analisa Data Kekeruhan Air Produksi



Gambar 5. Grafik Analisis Kekeruhan Air Produksi

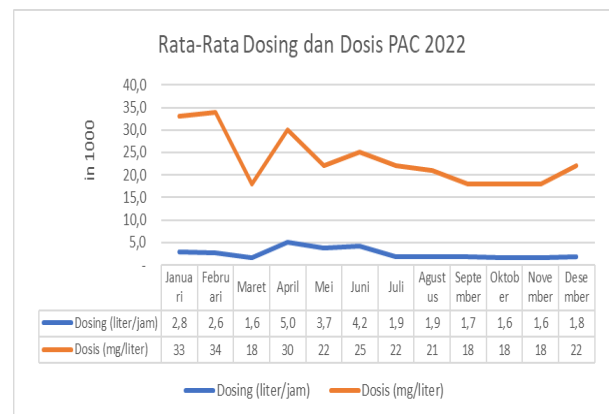
Berdasarkan pemantauan kekeruhan air produksi IPA Kapasitas 350 liter/detik yang dilakukan selama 29 hari pada grafik diatas diketahui bahwa rata-rata nilai kekeruhan pada air produksi sebesar 1,38 NTU.

Analisis Rata-Rata Penggunaan Dosing dan Dosis Larutan PAC IPA Kedasih Citayam

Dari data pengolahan IPA Kedasih Citayam didapatkan rata-rata penggunaan Dosing dan Dosis Larutan PAC IPA Kedasih Citayam Tahun 2022 yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6

Tabel 2: Hasil Perhitungan Rata-Rata Dosing dan Dosis Larutan PAC IPA Kedasih Citayam Tahun 2022.

Bulan	Dosing (liter/jam)	Dosis (mg/liter)
Januari	2.8	33
Februari	2.6	34
Maret	2.7	18
April	2.5	30
Maret	2.7	22
Juni	3.0	25
Juli	2.4	22
Agustus	2.5	21
September	3.4	18
Oktober	2.3	18
November	2.4	18
Desember	2.5	22



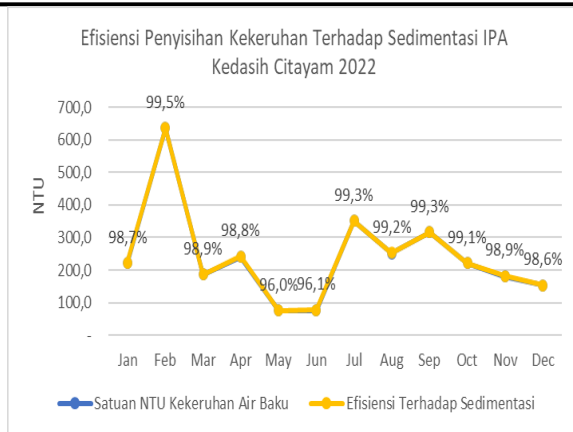
Gambar 6. Hasil Perhitungan Rata-Rata Dosing dan Dosis Larutan PAC IPA Kedasih Citayam Tahun 2022

Analisis Efisiensi Penyisihan Kekeruhan

Dari data pengolahan IPA Kedasih Citayam didapatkan efisiensi penyisihan kekeruhan yang dapat dilihat pada Tabel 3, Gambar 7, dan Gambar 8

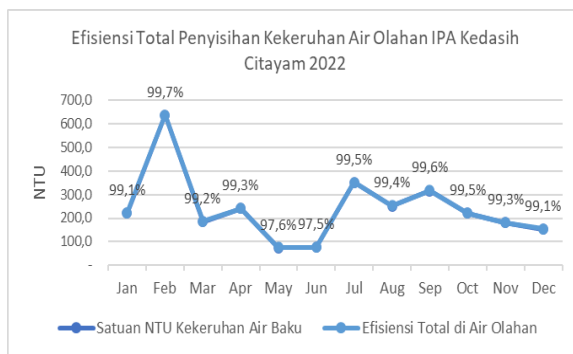
Tabel 3: Hasil Perhitungan Efisiensi Kekeruhan IPA Kedasih Citayam Tahun 2022

Bulan	Satuan NTU			Efisiensi	
	Kekeruhan Air Baku	Kekeruhan Air Sedimentasi	Kekeruhan Air Produksi	Efisiensi Terhadap Sedimentasi	Efisiensi Total di Air Olahan
Jan	221,2	2,8	2,0	98,7%	99,1%
Feb	636,0	3,0	2,0	99,5%	99,7%
Mar	186,0	2,0	1,5	98,9%	99,2%
Apr	241,0	3,0	1,8	98,8%	99,3%
May	75,0	3,0	1,8	96,0%	97,6%
Jun	76,0	3,0	1,9	96,1%	97,5%
Jul	351,0	2,6	1,7	99,3%	99,5%
Aug	252,0	2,0	1,4	99,2%	99,4%
Sep	316,0	2,1	1,4	99,3%	99,6%
Oct	221,0	2,0	1,2	99,1%	99,5%
Nov	181,0	2,0	1,2	98,9%	99,3%
Dec	153,0	2,2	1,4	98,6%	99,1%



Gambar 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Kekeruhan Terhadap Sedimentasi Tahun 2022



Gambar 8: Hasil Perhitungan Efisiensi Total Penyisihan Kekeruhan Air Olahan IPA Kedesih Citayam Tahun 2022

KESIMPULAN

Kesimpulan

Hasil analisis kualitas air baku Sungai Ciliwung PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) telah memenuhi standar baku mutu Peraturan Pemerintah RI Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Kelas I. Hasil analisis kualitas air produksi Instalasi Pengolahan PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) telah memenuhi standar baku mutu air PermenKes Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

Hasil pengukuran pH air baku pada bulan Maret 2022-Desember 2022 didapatkan nilai rata-rata 7,27 yang dinyatakan memenuhi persyaratan. Selanjutnya hasil pengukuran pH air produksi pada bulan Maret 2022-Desember 2022 dan hasil pemantauan selama 29 hari

didapatkan nilai rata-rata 7,22 dan 6,8 yang dinyatakan memenuhi persyaratan.

Hasil pengukuran kekeruhan pada sedimentasi dan produksi selama 29 hari didapatkan nilai rata-rata 2,2 NTU pada sedimentasi dan 1.4 NTU pada produksi yang dinyatakan memenuhi syarat.

Kapasitas IPA yang terpasang 480 liter/detik dan yang terpakai 350 liter/detik berdasarkan data total kapasitas.

Unit pengaduk cepat di unit koagulasi menggunakan sistem hidrolis (terjunan), dengan menggunakan bahan kimia (koagulan) Poly Aluminium Chlorite (PAC).

Unit filtrasi menggunakan jenis saringan pasir cepat (*Rapid Sand Filter*) dengan single media yaitu pasir silika. Hasil perhitungan parameter rancangan di unit filtrasi kecepatan penyaringan yang didapat 10 meter/jam maka hasil nilai tersebut telah memenuhi parameter kriteria desain.

Koagulan PAC dapat menurunkan kekeruhan air baku lebih rendah dibandingkan koagulan Alumunium Sulfat. Efisiensi penyisihan kekeruhan yang diizinkan pada *rapid sand filter* adalah >90%. Hasil perhitungan efisiensi penyisihan kekeruhan pada bulan desember didapatkan peningkatan dari 98,6% menjadi 99,1%.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian perlu penelitian lebih lanjut untuk mengukur parameter lain, seperti *Total Suspended Solid (TSS)*, warna dan pengaruhnya serta membandingkan penggunaan Koagulan di IPA Kedesih Citayam PT Tirta Asasta Depok (Perseroda) perlu penelitian lebih lanjut mengenai penurunan kekeruhan dengan proses koagulasi dan dengan penambahan parameter pH dan suhu untuk meningkatkan daya efisiensi maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Az-Zahra, S. (2017). Teori Koagulasi-Flokulasi, Sedimentasi, dan Filtrasi.
- Da Cruz Bernard, PUMPS: Maintenance,

- Design and Reliability Conference, IDC Technologies, 2009.
- Kneissl Johan, Energy Optimization of System by Using Variable Speed Driven Pumps, ITT 2010.
- Mayang Indah Puspitasari. Teknik Lingkungan. Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Qasim, Syed R, Edward M. Motley, dan Guang Zhu, Water Works Engineering: Planning, Design dan Operation, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458, 2000. Kajian Kinerja Unit Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kapasitas 200 Liter/Detik Cabang Bekasi Kota PDAM Tirta Bhagasasi Kabupaten Bekasi. 2020.
- Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A., Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, 2nd edition, PWS Publishing Company, Boston, 1996.
- Ridwan, Reri Afrianita, Rifka Indriani (2022). Potensi Uprating pada Unit Sedimentasi Metode Continuous Discharges Flow terhadap Penyisihan Kekeruhan Air Baku. Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Andalas.
- Sisnayati, Eddyanto Winoto, Yhopie, Selvia Aprilyanti (2021). Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC Terhadap Kekeruhan dan pH Air Baku PDAM Tirta Musi Palembang. Jurnal Redoks.
- Sudiman Sutoyo Silitonga, Puji Wahyuningsih, Yulida Amri (2019). Pengaruh Penambahan Koagulan Tawas Al₂(SO₄)₃ terhadap Tingkat Kekeruhan Sumber Air Baku di PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa Aceh. Program Studi Kimia Fakultas Teknik Universitas Samudra.
- Taufik Abdullah (2018). Studi Penurunan Kekeruhan Air Permukaan Dengan Proses Flokulasi Hydrocyclone Terbuka. Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tera Desy Harysanty. Studi Pemanfaatan Serbuk Besi Sebagai Koagulan Untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Air Baku PDAM Kota Pontianak, UII 2004.
- Verawati Indradjaja (2015). FILTRASI 12. Teknik Lingkungan. Program Studi. Nama Mata Kuliah. Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum.

Alamat : Jl. D.I Panjaitan Kav.12 Cawang Jakarta Timur 13340

Email : info@sttsaptataruna.ac.id

Website : www.sttsaptataruna.ac.id



ISSN : 2085 - 0263