

Inventarisasi dan Pemeringkatan Kerusakan Sistem Jaringan Air Bersih dan Kotor pada Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Gedung *Smart and Green Learning Center*, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta)

Vincentius Doni Erlangga Satriawan¹, Inggar Septhia Irawati^{1*}, Toriq Arif Ghuzdewan¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: inggar_septhia@ugm.ac.id

INTISARI

Sistem jaringan air bersih dan kotor di gedung bertingkat merupakan sistem yang kompleks karena memiliki banyak elemen dan jaringan sehingga lebih sulit terdeteksi bila terjadi kerusakan. Namun demikian, penelitian mengenai inventarisasi jenis dan pemeringkatan dampak kerusakan belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat inventarisasi jenis dan pemeringkatan dampak kerusakan sistem jaringan air bersih dan kotor di gedung bertingkat, dengan mengambil studi kasus pada Gedung *Smart Green and Learning Center* (SGLC), Fakultas Teknik, UGM. Unsur kebaruan penelitian ini terletak terutama pada sistem pemeringkatan dari berbagai jenis kerusakan. Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan kajian pustaka dan wawancara dengan manajer *engineering* pengelola bangunan pada gedung-gedung yang memiliki tingkat layanan yang tinggi, yaitu hotel dan rumah sakit. Berdasarkan hasil kajian pustaka dan wawancara tersebut, hierarki sistem jaringan air bersih dan kotor pada Gedung SGLC digambar dan dilakukan inventarisasi potensi kerusakan pada sistem jaringan tersebut. Selanjutnya, disusun pemeringkatan kerusakan berdasarkan besarnya dampak bagi pelayanan. Hasil inventarisasi dan pemeringkatan menunjukkan potensi terjadinya 9 jenis kerusakan pada tangki air FRP, 19 jenis kerusakan pada pompa air, 16 jenis kerusakan pada sistem perpipaan utama air bersih, 15 jenis kerusakan pada perpipaan utama air limbah, dan 25 jenis kerusakan pada saniter. Penelitian ini berkontribusi bagi para pengelola gedung, termasuk pengelola gedung SGLC, dalam menyediakan data kerusakan dan besarnya dampak kerusakan sehingga pemeliharaan sistem jaringan air bersih dan kotor serta penanganan kerusakan menjadi lebih efektif dan efisien.

Kata kunci: sistem, jaringan air bersih dan kotor, inventarisasi jenis, pemeringkatan dampak, kerusakan.

1 PENDAHULUAN

Pemeliharaan sistem jaringan air bersih dan kotor merupakan komponen vital dalam menjamin ketersediaan air bersih dan sanitasi yang optimal di berbagai jenis bangunan. Namun, di Indonesia, aspek ini seringkali belum mendapat perhatian yang memadai. Ketidaktahuan mengenai tekanan, laju aliran, kecepatan aliran, dan kerugian *head* pada pipa sehingga mempengaruhi tingkat keamanan jaringan adalah permasalahan umum yang sering muncul dalam sistem jaringan air bersih dan kotor di Indonesia (Mahardhika, 2018).

Di banyak gedung bertingkat, pemeliharaan yang tidak tepat masih menjadi permasalahan umum dan serius sehingga mengakibatkan kebocoran, penurunan kualitas air, hingga kerusakan struktural pada bangunan. Dampak berbahaya lainnya adalah terjadinya kontaminasi air sehingga menyebabkan kerugian finansial karena perbaikannya mahal (Suhardiyanto, 2016). Selain itu, efisiensi sistem dan kesehatan penghuni bangunan juga menjadi taruhan bila perencanaan dan sistem pemeliharaan jaringan air buruk (Rinka et al., 2014).

Secara umum, tantangan utama dalam pemeliharaan sistem jaringan air bersih dan kotor di Indonesia meliputi kurangnya kesadaran akan pentingnya pemeliharaan rutin, keterbatasan sumber daya manusia yang terampil, serta tidak konsistennya standar operasional yang diterapkan. Noerbambang & Morimura (2005) menyatakan bahwa perencanaan dan pemeliharaan sistem jaringan air bersih dan kotor memerlukan pendekatan yang komprehensif dan berkelanjutan untuk memastikan fungsionalitas dan keamanan sistem. Shoostharian et al. (2023) melakukan inventarisasi komprehensif kerusakan pada bangunan rumah tinggal di Australia. Dari penelitiannya, ditemukan bahwa frekuensi kerusakan pada sistem jaringan air bersih dan kotor menduduki urutan ketiga terbesar. Sistem yang rusak ini berdampak pada kegagalan kinerja bangunan. Sementara itu, Awasho & Alemu (2023) membuktikan bahwa banyaknya kerusakan pipa pada bangunan publik di Ethiopia dikarenakan praktik pemeliharaannya masih bersifat

korektif sehingga biaya pemeliharaan menjadi tinggi. Oleh karena itu, Marmo et al. (2019) menegaskan bahwa penerapan tindakan pemeliharaan yang tepat diperlukan untuk mencegah rusaknya elemen bangunan dan memperpanjang masa pakainya (Flores-Colen et al., 2010). Pemeliharaan yang tepat tersebut dimulai dengan membangun hierarki dan melakukan inventarisasi sistem jaringan air bersih dan kotor (Chew et al., 2008).

Gedung *Smart Green Learning Center* (SGLC) Fakultas Teknik UGM yang mulai beroperasi April 2022 mempunyai peran penting dalam menunjang kegiatan akademik di Fakultas Teknik. Namun demikian, sistem pemeliharaan jaringan air bersih dan kotor yang dilakukan masih bersifat aksidental dan korektif, salah satunya karena belum tergambarinya hierarki dan tersedianya inventarisasi jenis-jenis kerusakan sistem jaringan air bersih dan kotor. Padahal, beberapa kerusakan jaringan tersebut sering terjadi.

Mengingat minimnya penelitian yang fokus pada inventarisasi jenis dan pemeringkatan dampak kerusakan sistem jaringan air bersih dan kotor di Indonesia, maka observasi dalam rangka mengidentifikasi dan mengklasifikasi jenis-jenis kerusakan berdasarkan dampaknya sangat diperlukan. Langkah ini penting untuk menentukan prioritas penanganan dan mencapai pemeliharaan yang efektif. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi kekosongan tersebut dengan melakukan inventarisasi kerusakan dan memberikan peringkat berdasarkan tingkat keparahan serta dampaknya bagi pelayanan. Studi kasus dalam penelitian ini dilakukan pada Gedung SGLC, Fakultas Teknik, UGM.

Secara detail, penelitian ini bertujuan untuk menginventarisasi berbagai potensi kerusakan pada jaringan perpipaan air bersih dan kotor gedung SGLC, membuat sistem pemeringkatan berdasarkan dampaknya, dan menentukan tindakan yang diperlukan. Selanjutnya, dengan dibantu penggambaran sistem jaringan air bersih dan kotor bisa ditelusuri jaringan perpipaan yang rusak dengan lebih mudah. Hasil penelitian ini diharapkan sebagai dasar untuk mengembangkan manajemen pemeliharaan sistem jaringan air bersih dan kotor pada gedung bertingkat. Selain itu, penelitian ini juga dapat berfungsi sebagai pedoman bagi kontraktor, teknisi, manajer pemeliharaan dan *surveyor* bangunan untuk melakukan perawatan sistem jaringan, mitigasi kerusakan, dan identifikasi posisi kerusakan pipa pada sistem jaringan air bersih dan kotor dengan mempertimbangkan dampak kerusakan sistem jaringan air bersih dan kotor.

2 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian sebelumnya yang membahas dan menganalisis kerusakan tidak banyak. Gurmu & Mudiyansele (2023) mendata kerusakan-kerusakan pada sistem perpipaan dan peralatannya, bahkan disertakan teknik-teknik perbaikannya. Anomali, penyebab, metode diagnosis, dan strategi perawatan yang disajikan dalam penelitian ini dapat membantu pengelola gedung dalam mengidentifikasi dan memperbaiki masalah perpipaan pada bangunan. Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengambil langkah pencegahan guna meminimalkan terjadinya kerusakan dan memperpanjang umur sistem dan peralatan perpipaan mereka. Namun, penelitian ini tidak memberi pemeringkatan kondisi kerusakan sehingga menyulitkan dalam penanganan.

Dzulkifli et al. (2022) mengkategorisasikan dan menjelaskan berbagai penyebab kerusakan pada elemen arsitektural, elektrik, dan mekanikal pada asrama mahasiswa. Namun demikian, penelitian tersebut baru sebatas menjelaskan banyaknya frekuensi kerusakan yang terjadi serta belum memberikan penilaian pemeringkatan dampak kerusakan. Carretero-Ayuso et al. (2020) dalam penelitiannya menemukan bahwa jumlah kegagalan yang lebih tinggi berturut-turut terjadi pada pipa sanitasi tertutup (24,00%), pipa sanitasi terbuka (20,73%), dan pipa ledeng (9,72%).

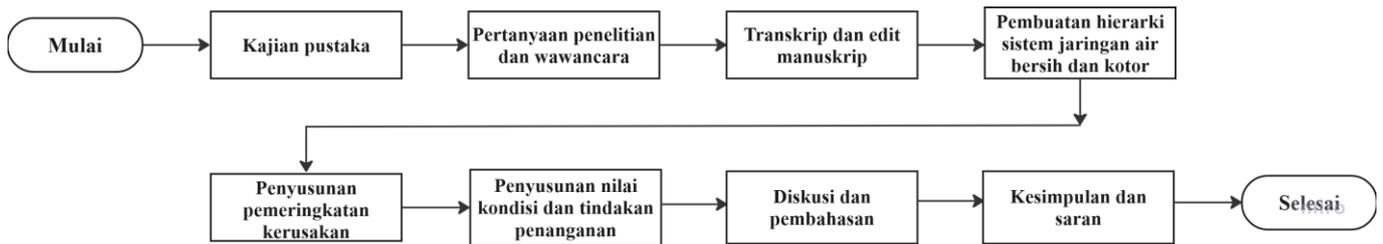
Jonsson & Gunnelin (2019) melakukan penelitian tentang kerusakan bangunan tempat tinggal di Swedia dan menunjukkan bahwa kualitas bangunan terganggu karena adanya kebocoran yang disebabkan oleh air hujan dan cacat pada pipa sanitasi, pemanas, dan sistem perpipaan. Oleh karena itu, para penulis tersebut menyarankan pentingnya ketersediaan data tentang jenis-jenis kerusakan pipa, penyebabnya, dan strategi untuk mengurangi masalah. Sementara itu, penelitian yang dilakukan Barton et al. (2019) hanya terpusat pada kerusakan beberapa jenis pipa jaringan air minum, yaitu besi, baja, semen asbes, *polyvinyl chloride* (PVC), dan *polyethylene* (PE).

Penelitian tentang kerusakan jaringan air limbah telah dilakukan Berglund et al. (2018). Penelitian tersebut fokus pada perawatan penggantian pipa air limbah dengan berbagai teknik agar tidak mencemari lingkungan. Vazdirvanidis et al. (2017) meneliti kerusakan pompa *stainless steel* akibat korosi yang dipengaruhi faktor lingkungan agresif. Penelitian tentang perpipaan yang cukup komprehensif telah dilakukan Chew et al. (2008) pada gedung-gedung hunian di Singapura. Hasilnya, teridentifikasi ada 113 kerusakan pada sepuluh komponen sistem perpipaan. Dari jumlah itu, 56 diantaranya dinilai berdampak sangat signifikan bagi aspek ekonomi, kinerja sistem, lingkungan, dan

kesehatan. Namun, lagi-lagi belum disertakan sistem pemeringkatan dari sejumlah kerusakan tersebut beserta standar pemeliharaannya sehingga menyulitkan dalam menentukan skala prioritas pemeliharaannya.

3 METODOLOGI

Bagan alir penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 1 menggabungkan metode kajian pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya dan metode wawancara dengan pertanyaan terbuka untuk pembuatan hierarki sistem jaringan air bersih dan kotor, memperoleh data kerusakan sistem jaringan air bersih dan kotor, dan penyusunan pemeringkatan dampak kerusakan. Wawancara dilakukan kepada lima responden yang berprofesi sebagai manajer *engineering* pengelola gedung hotel dan rumah sakit. Resume data kerusakan berdasarkan hasil kajian pustaka dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

Tabel 1. Referensi jurnal terkait kerusakan jaringan air bersih dan kotor

Pengarang	Tahun	Judul	Jenis kerusakan
Gurmu & Mudiyansele	2023	<i>Plumbing Defects in Residential Buildings: Analysis of Anomalies and Their Causes</i>	Pipa: <ul style="list-style-type: none"> bocor, kontaminasi dengan air kotor, lumut, pembuangan lambat, korosi Tangki: <ul style="list-style-type: none"> bocor pada badan tangki, tersumbat, luapan, aliran balik, terkontaminasi, korosi Pompa: <ul style="list-style-type: none"> korosi, rusak, panas berlebihan, getaran berlebih
Dzulkipli et al.	2022	<i>Analysis of Building Defects at Residential Colleges: A Case Study at Higher Education Facilities</i>	Kerusakan komponen: <ul style="list-style-type: none"> pembilasan, pancuran, tangki kloset tidak berfungsi Bocor dan rembesan pada: <ul style="list-style-type: none"> <i>washtafel</i>, pipa limbah, tangki toilet Tersumbat Masalah teknis: <ul style="list-style-type: none"> air tidak mengalir, tekanan air rendah
Carretero-Ayuso et al.	2020	<i>Occurrence of Faults in Water Installations of Residential Buildings: An analysis Based on User Complaints</i>	Kebocoran dan lembab Kurangnya pipa ventilasi/ pencemaran bau Sumbatan pada pipa Kesalahan instalasi kemiringan pipa
Barton et al.	2019	<i>Improving Pipe Failure Predictions: Factors Affecting Pipe Failure in Drinking Water Networks</i>	Pipa asbestos semen: <ul style="list-style-type: none"> <i>circumferential break</i> dan kegagalan sambungan atau <i>joint failure</i> (kebocoran, fraktur, putus, kegagalan <i>gasket</i>) Pipa polivinil klorida: <ul style="list-style-type: none"> longitudinal <i>split</i>

Tabel 1. Referensi jurnal terkait kerusakan jaringan air bersih dan kotor (lanjutan)

Pengarang	Tahun	Judul	Jenis kerusakan
Chew et al.	2008	<i>Grading Maintainability Parameters for Sanitary-Plumbing System for High-Rise Residential Buildings</i>	Pipa besi: <ul style="list-style-type: none"> • <i>corrosion pin hole</i> dan grafitasi yang percepatannya terkait dengan efek gabungan sejumlah parameter tanah Pipa: <ul style="list-style-type: none"> • korosi, bocor, kontaminasi jamur, meluap, tersumbat, pembuangan lambat Tangki: <ul style="list-style-type: none"> • korosi, bocor, tersumbat, kontaminasi, meluap Pompa: <ul style="list-style-type: none"> • korosi, <i>refluks</i>, terlalu panas, getaran berlebihan

Tabel 2 memberi gambaran tentang data responden, pendidikan, pengalaman kerja, jenis dan lokasi gedung gedung yang dikelola. Daftar pertanyaan yang ditunjukkan kepada responden dapat dilihat pada Tabel 3. Manajer aset yang dipilih untuk menjadi responden dalam penelitian ini adalah mereka yang mengelola hotel minimal bintang tiga dan rumah sakit kelas B. Hotel dan rumah sakit dipilih karena faktor pertimbangan tingkat layanan dan operasional yang berstandar tinggi sehingga ketika diterapkan untuk pengelolaan di gedung universitas akan mendapatkan standar pelayanan yang berkualitas tinggi pula. Adapun jumlah hotel dan rumah sakit yang dilibatkan dalam penelitian ini sebanyak lima sehingga cukup untuk mendapatkan gambaran sistem pengelolaan jaringan air bersih dan kotor berdasarkan kerusakan yang terjadi. Dengan demikian gambaran pengelolaan sistem jaringan air bersih dan kotor yang kompleks dapat dipetakan untuk kemudian digunakan sebagai acuan dalam proses inventarisasi dan pemeringkatan kerusakan sistem jaringan air bersih dan kotor di Gedung SGLC, Fakultas Teknik, UGM.

Tabel 2. Data responden pengelola bangunan

No.	Jabatan	Pendidikan	Pengalaman kerja	Gedung	Lokasi
1.	Manajer <i>Engineering</i>	S1 Elektro	14 tahun	Hotel A	Yogyakarta
2.	Manajer <i>Engineering</i>	D3 Elektro	11 tahun	Hotel B	Malang
3.	Manajer <i>Engineering</i>	S1 Mesin	30 tahun	Hotel C	Jakarta, Yogyakarta
4.	Manajer <i>Engineering</i>	S1 Sipil	15 tahun	RS A	Yogyakarta
5.	Manajer <i>Engineering</i>	S1 Sipil	14 tahun	RS B	Yogyakarta

Tabel 3. Daftar pertanyaan

No.	Daftar pertanyaan
1.	Bagaimana hierarki sistem jaringan air bersih dan kotor air bersih dan kotor?
2.	Apa kriteria yang diprioritaskan dalam pemeliharaan jaringan air bersih dan kotor?
3.	Apa jenis-jenis kerusakan yang mungkin terjadi pada sistem jaringan air bersih dan kotor?
4.	Bagaimana kerusakan diurutkan dari skala ringan sampai terparah bila merujuk pada dampak pelayanannya?

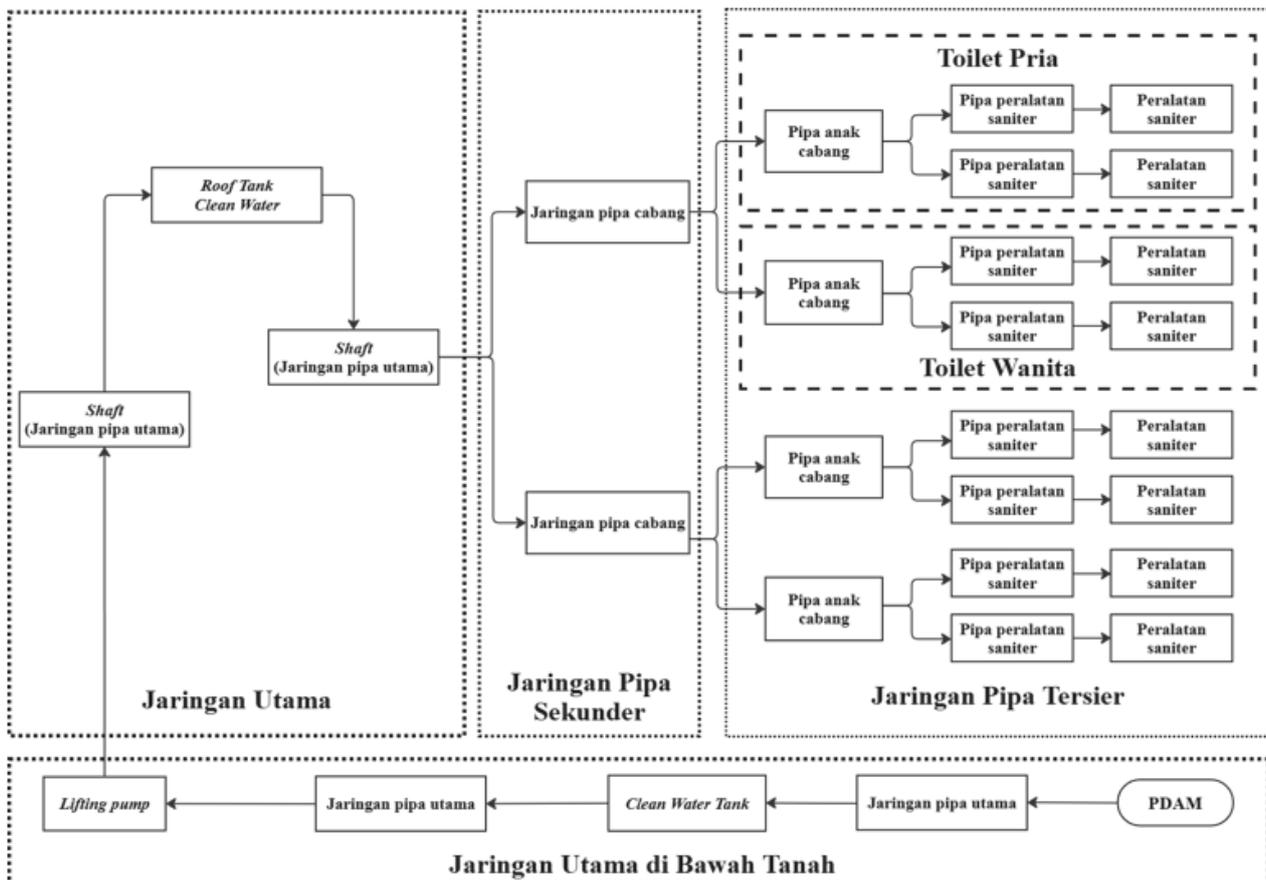
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Jaringan Air Bersih Gedung SGLC, Fakultas Teknik, UGM

Dalam wawancara dengan lima responden mengenai sistem jaringan air bersih, peneliti mendapat penjelasan bahwa sistem jaringan air bersih pada sebuah gedung perlu dibangun secara runtut dan jelas dari *inlet* sampai dengan *outlet* agar dengan pengklasifikasian tersebut tiap elemen dalam jaringan bisa dipelihara dengan mudah. Sistem tersebut dimulai dari PDAM atau sumur dalam, kemudian air dialirkan menuju *Raw Water Tank* (RWT), selanjutnya melewati *filter pump*, dan akhirnya sampai di *Clean Water Tank* (CWT).

Pada Gedung SGLC, gambaran sistem jaringan air bersih dapat dilihat pada Gambar 2. Air bersih hanya bersumber dari PDAM yang akan langsung ditampung ke dalam CWT. Dari CWT, air dialirkan naik ke atap melalui *lifting pump*, kemudian melewati pipa *riser*/tegak di dalam *shaft* menuju *Roof Water Tank (RWT)*. Dari RWT, air bersih disalurkan ke tiap lantai melalui pipa *header* yang akan membagi-bagi ke beberapa jaringan pipa utama dalam berbagai diameter di *shaft*. Semua sistem jaringan tersebut digolongkan sebagai jaringan utama (*main line*). Kemudian, jaringan pipa utama dalam *shaft* ini akan mendistribusikan air ke tiap lantai melalui jaringan pipa cabang atau jaringan pipa sekunder (*secondary line*).

Setelah melewati jaringan pipa cabang di tiap lantai, air akan dialirkan masuk ke dalam jaringan pipa anak cabang di toilet pria dan wanita. Dari masing-masing pipa anak cabang tersebut, air akan dialirkan melalui pipa peralatan saniter. Akhirnya, setelah melewati pipa peralatan saniter, air bersih akan bermuara di peralatan saniter. Jaringan pipa anak cabang sampai dengan peralatan saniter tersebut digolongkan ke dalam jaringan pipa tersier (*tertiary line*). Selain mengilustrasikan sistem jaringan air bersih, Gambar 2 juga menggambarkan klasifikasi sistem jaringan air bersih pada Gedung SGLC.

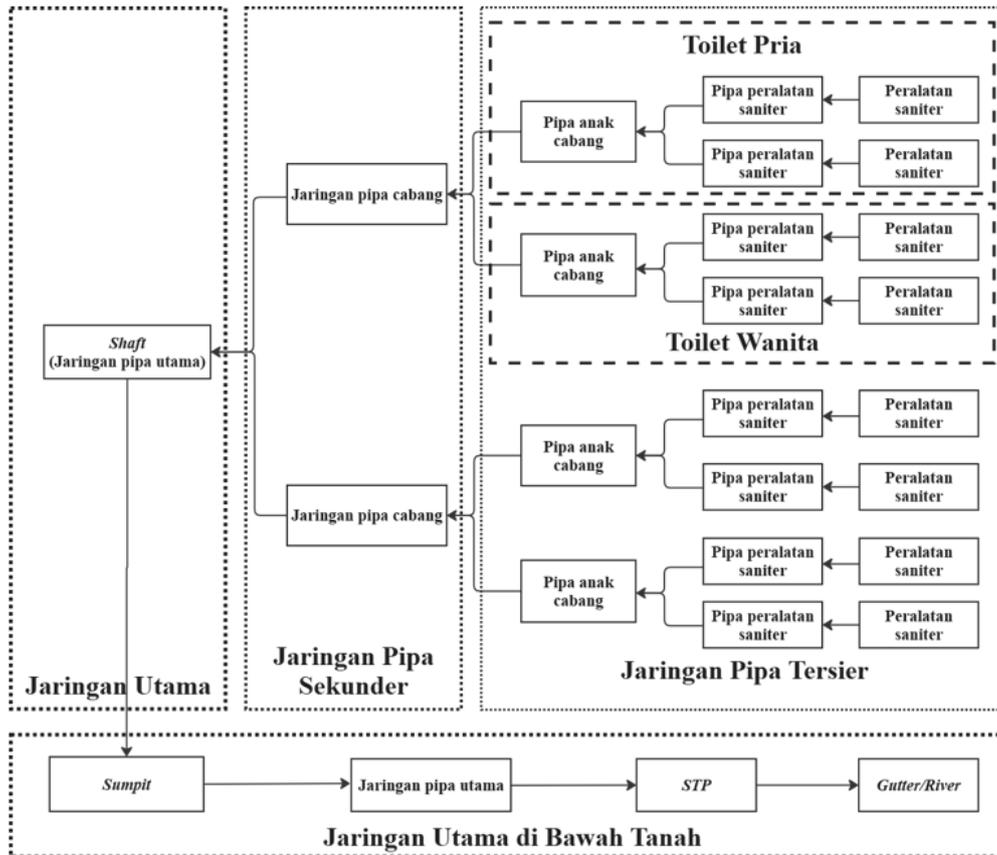


Gambar 2. Sistem jaringan air bersih gedung SGLG, UGM.

4.2 Sistem Jaringan Air Kotor Gedung SGLC, Fakultas Teknik, UGM

Menurut para responden, seperti halnya sistem jaringan air bersih, sistem jaringan air kotor pun perlu dikonstruksi dari *inlet* sampai dengan *outlet* supaya memudahkan pemeliharaan. Namun, sistem jaringan ini justru dimulai dari peralatan saniter, yaitu *urinoir* dan kloset, karena dari sana air limbah berasal. Selanjutnya, air limbah itu akan dialirkan masuk ke dalam jaringan pipa peralatan saniter yang ada di toilet pria dan wanita. Setelah masuk ke dalam jaringan pipa peralatan saniter, air limbah akan disalurkan ke dalam jaringan pipa anak cabang. Peralatan saniter sampai dengan jaringan pipa anak cabang digolongkan ke dalam jaringan pipa tersier (*tertiary line*).

Dari jaringan pipa anak cabang yang berada di toilet pria atau wanita, air limbah disatukan ke dalam jaringan pipa cabang atau jaringan pipa sekunder (*secondary line*). Kemudian, air limbah akan dialirkan masuk ke jaringan pipa utama dalam *shaft* yang akan membawanya turun ke *sumpit* untuk menjalani proses pengendapan sementara. Selanjutnya, air limbah akan dialirkan ke *Sewage Treatment Plant* (STP) atau Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Di dalam STP, air limbah dicampur dan diolah dengan berbagai bahan kimia penetralisir sehingga layak dibuang ke saluran air limbah kota. Jika ada air limbah yang tidak bisa terolah, maka akan dipompa untuk dipindahkan ke kendaraan pembawa air limbah yang akan membawanya ke IPAL kota. Sistem jaringan pipa utama dalam *shaft* sampai STP digolongkan ke dalam jaringan utama (*main line*). Pada Gedung SGLC, alur dan klasifikasi sistem jaringan air kotor dapat dilihat pada Gambar 3. Air limbah pada gedung SGLC tidak diolah dalam IPAL, namun diolah dalam STP berkapasitas 50 m³ per hari.



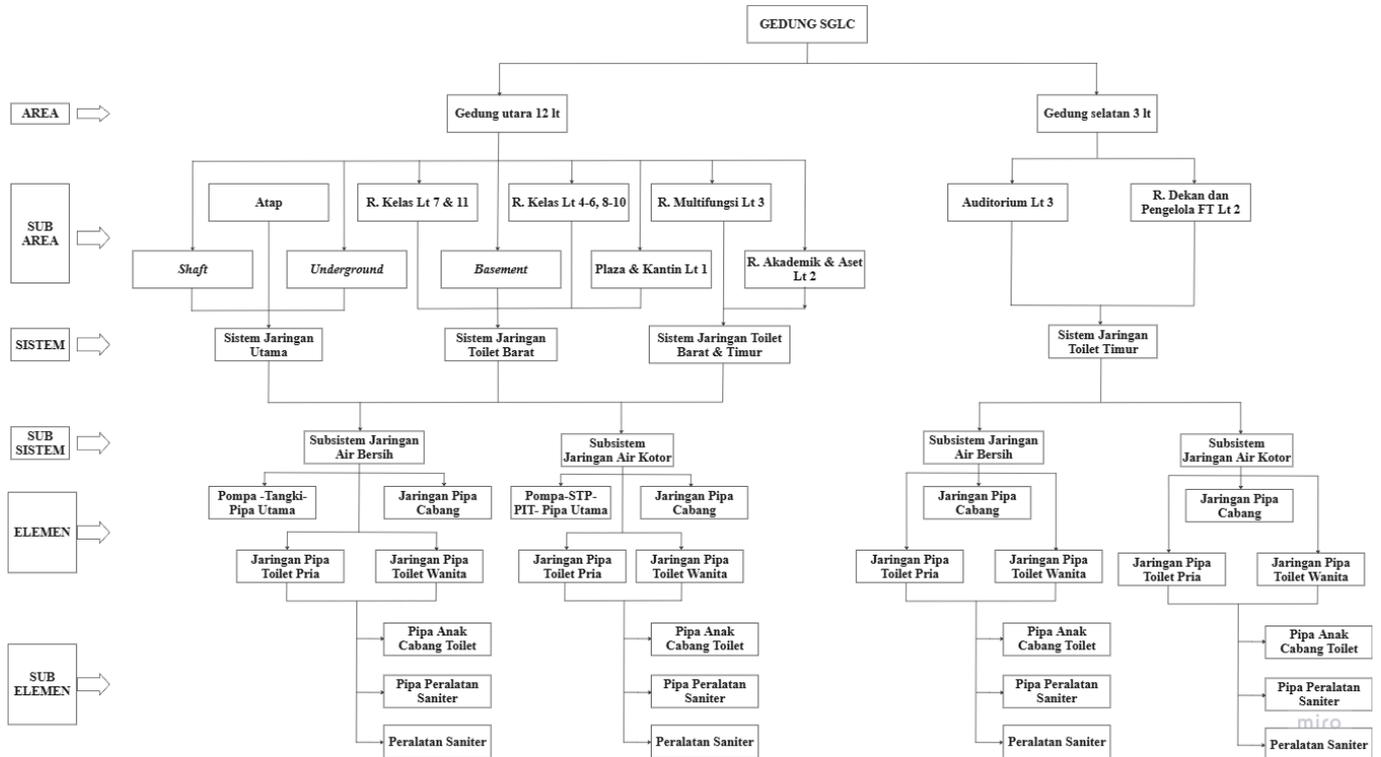
Gambar 3. Sistem jaringan air kotor gedung SGLG, UGM.

4.3 Hierarki Sistem Jaringan Air Bersih dan Air Kotor Gedung SGLC, Fakultas Teknik, UGM

Berdasarkan penggambaran alur dan klasifikasi di atas serta dari wawancara dengan lima responden supaya mendapatkan hasil lebih optimal dan efektif dalam menentukan prioritas pemeliharaan, maka digambarkan sebuah hierarki sistem pemeliharaan jaringan air bersih dan air kotor pada Gedung SGLC. Hierarki ini akan membagi sistem jaringan tersebut mulai dari yang bersifat global sampai ke yang bersifat lokal. Oleh karena itu, didapatkan hierarki jaringan air bersih dan kotor berturut-turut, yaitu area, subarea, sistem, subsistem, elemen, dan subelemen.

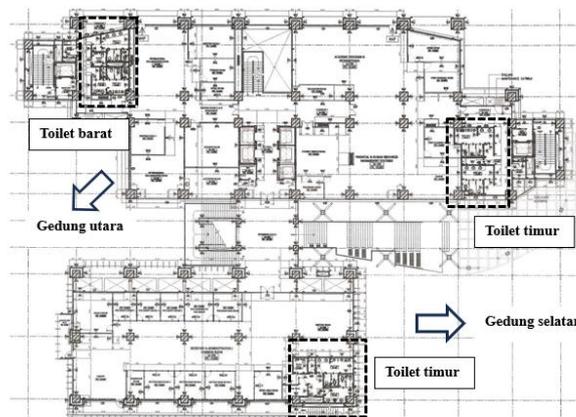
Hierarki sistem jaringan air bersih dan kotor gedung SGLC dapat dilihat pada Gambar 4. Pada level pertama, kategori area akan membagi bangunan menjadi dua lokasi, yaitu gedung utara dan gedung selatan. Di level kedua, kategori subarea akan membagi-bagi area gedung tadi menjadi subarea pelayanan berupa masing-masing lantai atau level. Berikutnya di level ketiga, kategori sistem akan mengelompokkan subarea pelayanan ke dalam tiga macam sistem jaringan, yaitu jaringan utama, jaringan toilet barat, dan jaringan toilet timur. Selanjutnya, di level keempat, kategori subsistem akan mengelompokkan sistem jaringan ke dalam jaringan air bersih dan air kotor. Pada level kelima, kategori elemen akan menguraikan subsistem jaringan air bersih ke dalam elemen-elemen perpipaan, yaitu pompa,

tangki, pipa utama, pipa cabang, dan pipa toilet. Sedangkan subsistem jaringan air kotor akan diuraikan ke dalam elemen-elemen, yaitu pompa, STP, *sumpit*, pipa utama, pipa cabang, dan pipa toilet. Pada level keenam, kategori subelemen akan menguraikan elemen-elemen menjadi pipa anak cabang, pipa peralatan saniter, dan peralatan saniter.



Gambar 4. Hierarki sistem jaringan air bersih dan kotor Gedung SGLG, UGM.

Untuk memperjelas hierarki di atas, Gambar 5 membantu untuk menunjukkan area gedung utara, gedung selatan, toilet barat, dan toilet timur pada Gedung SGLC.



Gambar 5. Denah area gedung utara, selatan, toilet barat, dan timur Gedung SGLG, UGM.

4.4 Inventarisasi Jenis dan Pemeringkatan Dampak Kerusakan Jaringan Air Bersih dan Air Kotor

Jenis kerusakan dan pemeringkatan dampak kerusakan jaringan air bersih dan kotor gedung SGLC dapat dilihat pada Tabel 6 sampai Tabel 7. Jenis-jenis kerusakan yang mungkin terjadi pada jaringan air bersih dan kotor disusun berdasarkan pengamatan di Gedung SGLC dan hasil wawancara dengan lima responden manajer *engineering* pengelola bangunan. Skala kerusakan jaringan air bersih dan kotor pada Gedung SGLC pada Tabel 6 dan Tabel 7

dibuat dengan mengacu skala penilaian kerusakan dari Das & Chew (2011), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Tabel 4 tersebut merupakan skala penilaian kegagalan berdasarkan besarnya dampak bagi pelayanan.

Tabel 4. Skala penilaian kerusakan (Das & Chew, 2011)

Nilai	Penjelasan
10-30	Pengguna kemungkinan tidak mendeteksi kegagalan (karena hanya kerusakan minor)
40-50	Sedikit mengganggu pengguna, minor kerusakan/cacat pada performa bagian tertentu sistem komponen
60-70	Pengguna kecewa dan terganggu, sebagian performa sistem atau komponen terganggu atau terkendala
80-90	Makin banyak pengguna kecewa dan sistem tidak berfungsi
100	Sejumlah besar pengguna kecewa, sistem mati beroperasi

Skala kondisi kerusakan jaringan air bersih dan kotor pada Gedung SGLC pada Tabel 6 dan Tabel 7 dibuat dengan mengacu skala indeks kondisi hasil penelitian dari Cheng et al. (2020), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan berbagai nilai kondisi, yaitu nilai kondisi 0-30 dikategorikan kritis sehingga perlu tindakan penggantian. Nilai 40-50 dikategorikan sangat buruk dan 60-70 dikategorikan sangat buruk sehingga diperlukan perbaikan ekstensif dan pemulihan. Nilai 80 dikategorikan kurang baik dan 90 dikategorikan lumayan baik sehingga diperlukan perbaikan atau perawatan rutin saja. Nilai kondisi 100 disebut baik sehingga hanya memerlukan inspeksi rutin bulanan.

Tabel 5. Skala indeks kondisi (Cheng et al., 2020)

Indeks kondisi	Skala	Uraian	Tindakan
100	Baik	<ul style="list-style-type: none"> Tidak ada cacat 	<ul style="list-style-type: none"> Inspeksi rutin bulanan
90	Lumayan baik	<ul style="list-style-type: none"> Cacat minor Keausan permukaan, kerusakan pada tingkat <i>finishing</i> (tanpa dampak fungsional) 	<ul style="list-style-type: none"> Diperlukan sedikit perbaikan Hanya perlu pemeliharaan rutin
80	Kurang baik	<ul style="list-style-type: none"> Cacat minor ke arah sedang Kerusakan pada tingkat sedikit memengaruhi operasional 	<ul style="list-style-type: none"> Perlu perbaikan rutin segera
60-70	Buruk	<ul style="list-style-type: none"> Terdapat cacat yang signifikan Komponen aus memerlukan perawatan Layanan berfungsi, tetapi memerlukan perhatian 	<ul style="list-style-type: none"> Perlu perbaikan Pemeliharaan signifikan untuk pemulihan
40-50	Sangat buruk	<ul style="list-style-type: none"> Sangat rusak Potensi masalah struktural Penampilan buruk Cacat besar Komponen sering rusak 	<ul style="list-style-type: none"> Perlu perbaikan ekstensif
0-30	Kritis	<ul style="list-style-type: none"> Tidak dapat dioperasikan Tidak layak pakai Terdapat masalah lingkungan/kontaminasi/polusi 	<ul style="list-style-type: none"> Perlu peninjauan terperinci dan penggantian

Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa kerusakan pada sistem jaringan air bersih dan kotor di Gedung SGLC dapat terjadi pada tangki air, pompa, STP, pipa utama, pipa cabang, pipa anak cabang, dan peralatan saniter. Kerusakan tersebut dapat muncul dalam berbagai cara, tergantung pada penyebabnya. Kerusakan tersebut, jika dibiarkan akan berdampak signifikan pada gangguan fungsi bangunan, membahayakan kesehatan, dan keselamatan penghuninya. Oleh karena itu, kerusakan ini harus diperbaiki untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Tabel 6. Pemingkatan jenis kerusakan pada tangki, STP, dan pompa

Elemen	Subelemen	Pemeringkatan jenis kerusakan (*)	Skala kerusakan	Skala kondisi	Penanganan
Tangki air bersih FRP	-	1. Penumpukan endapan/kotoran/alga	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesoris	-	-	-
		3. Degradasi material	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		4. Meluap	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Katup penguras air rusak	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		6. Katup suplai air rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. Retakan di badan tangki	70	70	Diperbaiki&dipulihkan
		8. Terkontaminasi dengan limbah/bakteri	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		9. Bocor di badan tangki	90	10	Diganti/dipulihkan
			-	-	-
			100	0	Diganti
Tangki air bersih terpendam	-	1. Penumpukan endapan/kotoran	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesoris	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Meluap	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		4. Pipa buangan macet/tersumbat	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Katup suplai air rusak	-	-	-
		6. Retak pada dinding	70	70	Diperbaiki&dipulihkan
		7. Terkontaminasi dengan limbah atau bakteri	90	10	Dipulihkan
		8. Bocor	100	0	Dipulihkan
			-	-	-
			100	0	Diganti/dipulihkan
STP air kotor (limbah)	-	1. Penumpukan endapan/kotoran	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesoris	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Degradasi material	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		4. Pipa buangan macet/tersumbat	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Meluap	-	-	-
		6. Retak pada dinding	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		7. Bocor	90	10	Dipulihkan
			100	0	Dipulihkan
Pompa penyedia air (<i>Lifting pump, booster, transfer pump</i>)	-	1. Korosi pada rotor, rumah pompa, poros utama	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi pada badan pompa	-	-	-
		3. Minyak pelumas hitam atau encer	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		4. Pelumas gemuk bocor	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		5. Poros kompling longgar	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		6. Karet kopling aus/longgar	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. Poros dan bantalan longgar	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		8. Rotor dan cincin luar longgar/aus	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		9. Sekat pada selubung poros aus	-	-	-
		10. Sekat mekanik bocor	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		11. <i>Gasket</i> rusak	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		12. <i>Seal</i> rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		13. Bantalan peluru bergetar	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		14. Tidak otomatis beroperasi ataupun <i>standby</i> setelah putaran operasi	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		15. Pompa bergetar	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		16. Tersumbat	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		17. Katup peredam rusak	80	40	Diperbaiki&dipulihkan

Tabel 6. Pemeringkatan jenis kerusakan pada tangki, STP, dan pompa (lanjutan)

Elemen	Subelemen	Pemeringkatan jenis kerusakan (*)	Skala kerusakan	Skala kondisi	Penanganan	
Pompa air kotor (<i>drain pump, sewage pump</i>)	-	18. Pompa rusak (tidak berfungsi, tidak dapat mengangkat air, terendam)	90	10	Diganti/dipulihkan	
		19. Pompa panas dan terbakar, korsleting	-	-	-	
	-	1	Korosi pada rotor, rumah pompa, poros utama	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		2	Korosi pada badan pompa	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3	Minyak pelumas hitam atau encer	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		4	Pelumas gemuk bocor	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		5	Poros kompling longgar	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		6	Karet kopling aus/longgar	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		7	Poros dan bantalan longgar	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		8	Rotor dan cincin luar longgar/aus	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		9	Sekat pada selubung poros aus	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		10	Sekat mekanik bocor	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		11	<i>Gasket</i> rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		12	<i>Seal</i> rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		13	Bantalan peluru bergetar	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		14	Tidak otomatis beroperasi ataupun <i>standby</i> setelah putaran operasi	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		15	Pompa bergetar	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		16	Tersumbat	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		17	Katup peredam rusak	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
18	Pompa rusak (tidak berfungsi, tidak dapat mengangkat air)	90	10	Diganti/dipulihkan		
19	Pompa panas dan terbakar, korsleting	100	0	Diganti		

Keterangan:

*Semakin tinggi peringkatnya, semakin besar skala kerusakannya, maka semakin luas dampaknya bagi pengguna.

Peringkat satu sampai lima pada Tabel 6, yaitu penumpukan endapan atau kotoran, korosi pada aksesoris, degradasi material, meluap, dan pipa buangan tersumbat, merupakan kerusakan umum yang diperkirakan akan sering terjadi pada tangki. Kasus terkontaminasinya tangki dengan limbah atau bakteri, retak, dan bocor berada di peringkat lebih besar menandakan kerusakan yang lebih parah. Pada pompa, peringkat satu sampai duabelas didominasi oleh kerusakan umum skala kecil sampai menengah yang diperkirakan sering terjadi, yaitu masalah korosi pada rotor dan badan pompa, sekat yang aus dan bocor, dan *gasket* atau *seal* yang rusak. Bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi peringkat kerusakannya, maka semakin membutuhkan perbaikan yang serius.

Tabel 7. Pemeringkatan jenis kerusakan pada pipa dan peralatan saniter

Elemen	Subelemen	Pemeringkatan jenis kerusakan(*)	Skala kerusakan	Skala kondisi	Penanganan
Pipa utama dan cabang air bersih	-	1. Penumpukan endapan/kotoran/alga	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesoris	-	-	-
		3. Kebisingan aliran	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		4. Degradasi material	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Retak kecil	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		6. Stop kran aus (dol)	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. <i>Seal</i> /segel yang rusak	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		8. Penggantung/penumpu/klem pipa rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		9. Suplai air tidak lancar	-	-	-

Tabel 7. Pemingkatan jenis kerusakan pada pipa dan peralatan saniter (lanjutan)

Elemen	Subelemen	Pemingkatan jenis kerusakan(*)	Skala kerusakan	Skala kondisi	Penanganan
	-	10. <i>Fitting</i> /sambungan rusak	60	60	Diperbaiki&dipulihkan
		11. Meluap	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		12. Terkontaminasi dengan limbah atau bakteri	70	40	Diperbaiki&dipulihkan
		13. Macet/tersumbat	-	-	-
		14. Retak besar	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		15. Bocor	90	30	Diganti
		16. Pecah/patah tiba-tiba	90	10	Diganti
		16. Pecah/patah tiba-tiba	100	0	Diganti
Pipa utama dan cabang air kotor (limbah)	-	1. Penumpukan endapan/kotoran/alga	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesori	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Kebisingan aliran	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		4. Degradasi material	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Retak kecil	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		6. Stop kran aus (dol)	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. <i>Seal</i> /segel yang rusak	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		8. Penggantung/penumpu/klem pipa rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		9. Pembuangan lambat	-	-	-
		10. <i>Fitting</i> /sambungan rusak	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		11. Meluap	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		12. Macet/tersumbat	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		13. Retak besar	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		14. Bocor	90	10	Diganti
		15. Pecah/patah tiba-tiba	90	10	Diganti
		15. Pecah/patah tiba-tiba	100	0	Diganti
Pipa anak cabang dan pipa peralatan saniter air bersih	-	1. Penumpukan endapan/kotoran/alga	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesori	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Kebisingan aliran	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		4. Degradasi material	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Retak kecil	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		6. <i>Seal</i> /segel yang rusak	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. Penggantung/penumpu/klem pipa rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		8. Suplai air tidak lancar	-	-	-
		9. <i>Fitting</i> /sambungan rusak	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		10. Meluap	60	60	Diperbaiki&dipulihkan
		11. Terkontaminasi dengan limbah atau bakteri	70	50	Diperbaiki&dipulihkan
		12. Macet/tersumbat	70	40	Diperbaiki&dipulihkan
		13. Retak besar	-	-	-
		14. Bocor	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		15. Pecah/patah tiba-tiba	90	30	Diganti
		15. Pecah/patah tiba-tiba	90	10	Diganti
		15. Pecah/patah tiba-tiba	100	0	Diganti
Pipa anak cabang dan pipa peralatan saniter air kotor (limbah)	-	1. Penumpukan endapan/kotoran/alga	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi/kerak pada aksesori	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Kebisingan aliran	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		4. Degradasi material	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Retak kecil	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		6. <i>Seal</i> /segel yang rusak	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. Penggantung/penumpu/klem pipa rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		8. Pembuangan lambat	-	-	-
		9. <i>Fitting</i> /sambungan rusak	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		10. Meluap	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		10. Meluap	70	50	Diperbaiki&dipulihkan

Tabel 7. Pemeringkatan jenis kerusakan pada pipa dan peralatan saniter (lanjutan)

Elemen	Subelemen	Pemeringkatan jenis kerusakan(*)	Skala kerusakan	Skala kondisi	Penanganan
	-	11. Macet/tersumbat	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		12. Retak besar	90	10	Diganti
		13. Bocor	90	10	Diganti
		14. Pecah/patah tiba-tiba	100	0	Diganti
Peralatan Saniter	Umum	1. Baut saniter kendur	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Korosi baut	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Permukaan saniter berkerak	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		4. Kebisingan aliran karena penyumbatan	20	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. <i>Seal</i> copot/lepas/rusak	-	-	-
		6. Aksesori rusak	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		7. Saniter (kloset, <i>urinoir</i> , <i>washtafel</i>) retak	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		8. Saniter rusak (Tidak berfungsi)	-	-	-
		8. Saniter rusak (Tidak berfungsi)	90	10	Diganti
	Keran/ <i>Jet washer</i>	1. Saringan pada keran air bersih penuh kotoran	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Sumbatan di keran, <i>jet washer</i> (air menetes)	-	-	-
		2. Sumbatan di keran, <i>jet washer</i> (air menetes)	40	80	Diperbaiki/Dirawat
		3. Keran macet (air tidak mengalir)	-	-	-
		3. Keran macet (air tidak mengalir)	60	70	Diperbaiki&dipulihkan
		4. Keran patah	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		5. Gagang <i>jet washer</i> lepas	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
	<i>Washtafel</i>	1. Perangkap pipa pada <i>washtafel</i> tersumbat	10	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. <i>Washtafel</i> goyang	-	-	-
		2. <i>Washtafel</i> goyang	50	80	Diperbaiki/Dirawat
	<i>Urinoir</i>	1. Katup siram rusak	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
	Kloset	1. Bocor antara sistem air dan udara pada sambungan pipa <i>flush</i> dengan kloset	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		2. Genangan di sekitar kloset	-	-	-
		2. Genangan di sekitar kloset	20	90	Diperbaiki/Dirawat
		3. Kloset goyang	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		4. Pelampung tangki kloset rusak (air terus mengalir)	50	80	Diperbaiki/Dirawat
		5. Pelepas vakum/katup gelontor rusak	-	-	-
		5. Pelepas vakum/katup gelontor rusak	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		6. Sumbatan di kloset	80	40	Diperbaiki&dipulihkan
		7. Pipa pembuangan terputus	100	0	Diganti
	Bak cuci piring	1. Perangkap silinder pada bak cuci piring penuh kotoran	30	80	Diperbaiki/Dirawat
		2. Penangkap lemak atau minyak penuh endapan	-	-	-
		2. Penangkap lemak atau minyak penuh endapan	30	80	Diperbaiki/Dirawat

Keterangan:

*Semakin tinggi peringkatnya, semakin besar skala kerusakannya, maka semakin luas dampaknya bagi pengguna.

Tabel 7 menunjukkan bahwa peringkat satu sampai delapan pada pipa adalah kerusakan umum yang diperkirakan akan sering terjadi, berupa penumpukan endapan, korosi, kebisingan aliran, degradasi material, retak kecil, stop kran aus, segel rusak, dan klem pipa rusak. Kerusakan berupa pipa retak, pipa bocor, dan pecah berada dalam peringkat besar yang membutuhkan penggantian material. Kerusakan berupa keretakan pipa serta kontaminasi jamur dan bakteri sehingga menyebabkan masuk dan berkembangbiaknya nyamuk yang ada dalam sistem perpipaan juga dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius. Oleh karena itu, kerusakan tersebut juga membutuhkan penanganan

yang serius. Kerusakan pada peralatan saniter seperti saringan pada keran air bersih penuh kotoran, sumbatan di keran, *jet washer* (air menetes), keran macet (air tidak mengalir), keran patah, dan saniter goyang adalah hal umum yang sering dijumpai. Pada tahap berikutnya, peringkat nilai kerusakan dan kondisi sistem di atas akan digunakan sebagai dasar tim aset gedung untuk menilai kondisi dan mengembangkan manajemen pemeliharaan sistem jaringan air bersih dan kotor di Gedung SGLC.

5 DISKUSI

Secara keseluruhan, hasil penelitian telah menginventarisasi berbagai jenis kerusakan pada sistem jaringan air bersih dan kotor yang mungkin terjadi di Gedung SGLC. Hasil inventarisasi tersebut menunjukkan potensi terjadinya 9 jenis kerusakan pada tangki air FRP, 8 jenis kerusakan pada tangki terpendam, 7 jenis kerusakan pada STP, 19 jenis kerusakan pada pompa air bersih, 19 jenis kerusakan pada pompa air kotor, 16 jenis kerusakan pada sistem perpipaan utama air bersih, 15 jenis kerusakan pada perpipaan utama air limbah, 15 jenis kerusakan pada sistem perpipaan cabang dan anak cabang air bersih, 14 jenis kerusakan pada perpipaan cabang dan anak cabang air limbah, dan 25 jenis kerusakan pada saniter.

Dengan ditemukannya potensi jenis-jenis kerusakan tersebut, maka mengidentifikasi adanya kelainan sebelum terjadi kerusakan dan sumber kerusakan sangat penting. Untuk menemukan kelainan sebelum kerusakan terjadi, berbagai teknik diagnosis dapat digunakan. Namun demikian, ada banyak metode diagnosis yang bisa digunakan bergantung pada biaya yang tersedia, cara kerja, waktu yang dihabiskan, peralatan yang dibutuhkan, dan hasil yang diharapkan. Dari sekian banyak metode, metode diagnosis utama dan mendasar adalah inspeksi visual pada area yang terkena dampak seperti yang sudah dilakukan oleh tim pengelola Gedung SGLC. Pemeriksaan visual tersebut meliputi pencarian kebocoran air, perubahan warna akibat korosi, pertumbuhan jamur, dan retakan (Bortolini & Forcada, 2018). Hasil diagnostik berdasarkan inspeksi visual dapat bervariasi berdasarkan pengetahuan dan keahlian individu.

Metode lanjut yang disarankan adalah termografi untuk mendeteksi kebocoran pipa yang sulit dideteksi secara visual. Kemungkinan lain untuk mendeteksi kebocoran pada sistem perpipaan adalah melalui uji tekanan hidrostatik, yaitu dengan mengevaluasi konsistensi strukturalnya. Selain itu, pendeteksian dapat dilakukan dengan kamera pipa berteknologi tinggi, terutama di lokasi yang sulit diakses, seperti pipa yang terkubur, pipa yang berada di antara dinding, atau di dalam beton atau plafon. Pada metode ini, kamera dipasang di ventilasi atap dan saluran pembuangan toilet untuk melihat apakah pipa tersumbat, rusak, atau bocor. Di area yang sulit dijangkau seperti pipa bawah tanah dan pelat, jenis kebocoran dideteksi melalui kamera inframerah dan perangkat pendengaran elektronik seperti detektor kebocoran dan korelator kebisingan kebocoran (Gurmu & Mudiyansele, 2023).

Langkah selanjutnya dari pendeteksian tersebut adalah memelihara, memperbaiki, memulihkan, atau mengganti. Adapun jenis-jenis pemeliharaan meliputi (Sullivan et al., 2010):

- a. Pemeliharaan reaktif (Perawatan Kerusakan atau Perawatan *Run-to-Failure*)
Perawatan reaktif sama dengan mode perawatan "jalankan hingga rusak", tetapi tidak ada upaya yang dilakukan untuk merawat peralatan seperti yang dimaksudkan oleh perancang untuk menjaga masa pakai desain.
- b. Pemeliharaan preventif (Pemeliharaan Berbasis Waktu)
Pemeliharaan preventif adalah tindakan yang dilakukan pada jadwal waktu atau mesin yang berguna mendeteksi, mencegah, atau mengurangi kerusakan komponen atau sistem dengan tujuan mempertahankan atau memperpanjang masa manfaatnya melalui pengendalian kerusakan ke tingkat yang dapat diterima
- c. Pemeliharaan prediktif (Pemeliharaan Berbasis Kondisi)
Pemeliharaan prediktif dapat didefinisikan sebagai pengukuran yang mendeteksi timbulnya degradasi sistem (kondisi fungsional yang lebih rendah), sehingga memungkinkan stresor kausal dihilangkan atau dikendalikan sebelum terjadi penurunan signifikan pada kondisi fisik komponen.

Dari tiga jenis pemeliharaan di atas, strategi pemeliharaan yang paling umum dan yang sudah dilakukan di Gedung SGLC adalah perawatan reaktif dan preventif sekalipun sedang dalam tahap awal. Pemeliharaan reaktif sendiri memiliki kerugian, yaitu adanya potensi penghentian peralatan yang tidak direncanakan, biaya yang meningkat karena lembur, dan kemungkinan kerusakan peralatan atau terjadinya proses sekunder akibat kegagalan peralatan. Sedangkan pada pemeliharaan preventif, kegagalan besar masih mungkin terjadi, termasuk pelaksanaan pemeliharaan yang tidak diperlukan, dan masih adanya potensi kerusakan insidental pada komponen saat melakukan pemeliharaan yang tidak diperlukan. Oleh karena itu, pemeliharaan prediktif pasti akan lebih bermanfaat sebab

dengan sistem manajemen pemeliharaan berbasis komputer dan pemodelan informasi bangunan atau *Building Information Modelling* (BIM) dapat dikembangkan metode pengumpulan data kondisi elemen dari sensor atau pencatat data.

Untuk keperluan di masa mendatang, melalui inventarisasi dan pemeringkatan skala kerusakan serta kondisi, tim pengelola Gedung SGLC akan mengembangkan sistem pemeliharaan jaringan air bersih dan kotor dengan BIM. Dengan BIM, tim pengelola akan lebih cepat menemukan lokasi kerusakan, memprioritaskan pemeliharaan, serta mempercepat penanganan kerusakan. Hasil yang diharapkan tentunya dapat meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan Gedung SGLC, sedangkan bagi pengguna adalah mendapatkan keamanan, kesehatan, dan kenyamanan.

6 KESIMPULAN

Sistem perpipaan merupakan bagian penting dari bangunan. Namun demikian, kerusakan pada sistem perpipaan sering kali diabaikan sehingga dapat menyebabkan kerusakan serius pada bangunan. Penelitian ini melakukan inventarisasi jenis-jenis kerusakan pada sistem perpipaan secara umum dan yang terjadi di gedung SGLC, melakukan pemeringkatan, serta menyarankan tindakan pemeliharaan dan perbaikan.

Hasil inventarisasi dari penelitian mendapatkan berbagai potensi kerusakan, yaitu 9 jenis kerusakan pada tangki air FRP, 8 jenis kerusakan pada tangki terpendam, 7 jenis kerusakan pada STP, 19 jenis kerusakan pada pompa air bersih, 19 jenis kerusakan pada pompa air kotor, 16 jenis kerusakan pada sistem perpipaan utama air bersih, 15 jenis kerusakan pada perpipaan utama air limbah, 15 jenis kerusakan pada sistem perpipaan cabang dan anak cabang air bersih, 14 jenis kerusakan pada perpipaan cabang dan anak cabang air limbah, dan 25 jenis kerusakan pada saniter. Dengan adanya pemeringkatan berdasarkan dampak pada penggunaannya, di masa mendatang tim pengelola aset Gedung SGLC dapat melakukan prioritas perbaikan.

Berdasarkan inventarisasi tersebut, korosi, kebocoran air, dan penyumbatan merupakan kerusakan umum yang berpotensi bisa terjadi pada sistem jaringan perpipaan air bersih dan kotor. Selain inspeksi visual yang sudah dilakukan tim pengelola Gedung SGLC, uji tekanan hidrostatis, kamera pipa berteknologi tinggi dikombinasikan dengan detektor kebisingan kebocoran disarankan dilakukan secara bersama-sama supaya dapat mendiagnosis kelainan dalam sistem perpipaan dengan lebih akurat. Pemeringkatan kerusakan yang detail dan strategi perawatan yang disajikan dalam penelitian ini dapat membantu teknisi perawatan dan manajer pemeliharaan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki masalah perpipaan tidak hanya di Gedung SGLC, tetapi juga di gedung bertingkat pada umumnya.

REFERENSI

- Awasho, T. T., & Alemu, S. K. (2023). Assessment of public building defects and maintenance practices: Cases in Mettu town, Ethiopia. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15052>.
- Barton, N. A., Farewell, T. S., Hallett, S. H., & Acland, T. F. (2019). Improving pipe failure predictions: Factors effecting pipe failure in drinking water networks. In *Water Research* (Vol. 164). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114926>.
- Berglund, D., Kharazmi, P., Miliutenko, S., Björk, F., & Malmqvist, T. (2018). Comparative life-cycle assessment for renovation methods of waste water sewerage systems for apartment buildings. *Journal of Building Engineering*, 19, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.04.019>.
- Bortolini, R., & Forcada, N. (2018). Building Inspection System for Evaluating the Technical Performance of Existing Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001220](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001220).
- Carretero-Ayuso, M. J., Moreno-Cansado, A., & García-Sanz-Calcedo, J. (2020). Occurrence of faults in water installations of residential buildings: An analysis based on user complaints. *Journal of Building Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100958>.

- Cheng, J. C. P., Chen, W., Chen, K., & Wang, Q. (2020). Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, *112*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>.
- Chew, M., Das, S., De Silva, N., & Fong Yee, F. (2008). Grading maintainability parameters for sanitary-plumbing system for high-rise residential buildings.
- Das, S., & Chew, M. Y. L. (2011). Generic Method of Grading Building Defects Using FMECA to Improve Maintainability Decisions. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, *25*(6), 522–533. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000206](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000206).
- Dzulkifli, N., Sarbini, N. N., Abidin, N. I. A., & Ibrahim, I. S. (2022). Analysis of building defects at residential colleges: a case study at higher education facilities. *ASEAN Engineering Journal*, *12*(4), 31–39. <https://doi.org/10.11113/aej.V12.18142>.
- Flores-Colen, I., De Brito, ; J, & Freitas, V. (2010). Discussion of Criteria for Prioritization of Predictive Maintenance of Building Façades: Survey of 30 Experts. *Performance Construction Facility*, *24*, 337–344. <https://doi.org/10.1061/ASCECF.1943-5509.0000104>.
- Gurmu, A., & Mudiyansele, P. W. (2023). Plumbing defects in residential buildings: analysis of anomalies and their causes. *Facilities*, *41*(13–14), 927–956. <https://doi.org/10.1108/F-10-2022-0130>.
- Jonsson, Z. A., & Gunnelin, H. R. (2019). Defects in newly constructed residential buildings: owners' perspective. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, *37*(2), 163–185. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2018-0077>.
- Mahardhika, P. (2018). Evaluasi instalasi plumbing air bersih rumah tipe 42 menggunakan pipe flow expert berdasarkan SNI 03-7065-2005 dan BS 6700. *Jurnal Teknologi Terapan*, *4*(1).
- Marmo, R., Nicoletta, M., Polverino, F., & Tibaut, A. (2019). A methodology for a performance information model to support facility management. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(24). <https://doi.org/10.3390/su11247007>.
- Noerbambang, M. S., & Morimura, T. (2005). *Perancangan Dan Pemeliharaan Sistem Plambing* (Kesembilan, Vol. 1). PT. Pradnya Paramita.
- Rinka, Y. , D., Sururi, M. , R., & Wardhani, E. (2014). Perencanaan sistem plambing air limbah dengan penerapan konsep green building pada gedung Panghegar Resort Dago Golf-Hotel dan Spa. In *Reka Lingkungan, Teknik Lingkungan Itenas*, Vol. 2, Issue 2.
- Shooshtarian, S., Gurmu, A. T., & Sadick, A. M. (2023). Application of natural language processing in residential building defects analysis: Australian stakeholders' perceptions, causes and types. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *126*. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107178>.
- Suhardiyanto. (2016). Perancangan sistem plambing instalasi air bersih dan air buangan pada pembangunan gedung perkantoran bertingkat tujuh lantai. In *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, Vol. 05, Issue 3.
- Sullivan, G. P., Melendez, A. P., Pugh, R., & Hunt, W. D. (2010). *Operations & Maintenance Best Practices-A Guide to Achieving Operational Efficiency (Release 3.0)*. <http://www.ntis.gov/ordering.htm>.
- Vazdirvanidis, A., Pantazopoulos, G., & Rikos, A. (2017). Corrosion investigation of stainless steel water pump components. *Engineering Failure Analysis*, *82*, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.09.009>.