

Desain Sistem Perpipaan Pengolahan Air Limbah Berbasis Biofilter Aerobik Pada *Plumbing* Gedung K Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Anastasya Nabila Surya Amandatari^{1*}, Ekky Nur Budiyanto², Ni'matut Tamimah³

Program Studi D4-Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2}

Program Studi D4-Teknologi Rekayasa Energi Berkelanjutan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: anabila@student.ppns.ac.id^{1*}; Ekky@ppns.ac.id²; nimatuttamimah@ppns.ac.id³;

Abstract - This research presents the design and analysis of an aerobic biofilter-based wastewater treatment piping system for Building K at the Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). The study aimed to produce a detailed technical design, determine precise pump specifications, and estimate implementation costs. Based on the needs of 390 daily users, the design wastewater flow rate was determined to be 877.5 liters/hour. Hydraulic analysis concluded that the system requires a 2-inch diameter pipe, a total system head of 1.349 meters, and a theoretical pump power of 0.003215 kW.

Manual calculations were validated using flow simulation software, which confirmed the design with a minimal 1,4% error rate, indicating excellent model accuracy. A Shimizu PS-130 BIT pump was pragmatically selected due to market availability, despite its capacity exceeding theoretical needs. The total estimated Bill of Quantities (RAB) for the project is Rp7.676.329,75, with the storage tanks accounting for the largest portion of the cost.

Keywords: Design, Plumbing, Wastewater, Aerobic Biofilter, Pump

Nomenclature

Q_d	Pemakaian air rata-rata
$Q_{d\ max}$	Kebutuhan air maks. per hari
Q_h	Pemakaian air rata-rata per jam
$Q_{h\ max}$	Pemakaian air pada jam puncak
q	Debit air buangan (limbah)
Q	Debit aliran fluida
A	Luas penampang pipa
v	Kecepatan aliran fluida
Re	Reynold's number
P	Massa jenis (densitas) fluida
\cdot	Viskositas dinamis fluida
F	Koefisien gesek
ε	Kekasaran absolut pipa
H	Head total pompa
Ha	Head statis total
Hl_{major}	<i>Headloss major</i> (gesekan)
Hl_{minor}	<i>Headloss minor</i> (fitting)
G	Percepatan gravitasi
P	Daya pompa

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di berbagai wilayah Pengelolaan air limbah yang efektif dan efisien merupakan tantangan fundamental dalam pembangunan infrastruktur modern. Kegagalan dalam mengelola air limbah secara memadai dapat menimbulkan dampak negatif yang signifikan, mulai dari pencemaran air tanah dan sumber air permukaan hingga penyebaran penyakit dan degradasi kualitas lingkungan. Seiring dengan meningkatnya kesadaran global terhadap isu keberlanjutan, pengembangan sistem pengolahan limbah yang tidak hanya optimal secara fungsional tetapi juga ramah lingkungan dan hemat energi menjadi sebuah keharusan.

Konteks ini menjadi relevan di lingkungan institusi pendidikan seperti Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), di mana aktivitas akademik menghasilkan volume air limbah yang terus meningkat. Gedung K, sebagai salah satu pusat kegiatan belajar-mengajar di PPNS, memerlukan sistem pengelolaan limbah yang andal untuk mencegah pencemaran di lingkungan kampus dan menjaga kesehatan serta kenyamanan seluruh sivitas akademika. Tanpa sistem perpipaan dan pengolahan yang terintegrasi, potensi dampak buruk terhadap lingkungan sekitar akan semakin besar.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem perpipaan pengolahan air limbah dengan teknologi *biofilter aerobik* di Gedung K PPNS. Pendekatan ini dipilih karena *biofilter aerobik* menawarkan solusi yang efektif dan sederhana untuk mengurangi kandungan bahan organik dalam air limbah. Tujuan utama dari penelitian ini dirumuskan dalam tiga aspek: mengembangkan desain teknis sistem perpipaan secara detail, menentukan spesifikasi pompa yang presisi melalui analisis hidraulik yang komprehensif dan menyusun estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai dasar implementasi proyek.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada perancangan jalur perpipaan untuk air limbah domestik yang berasal dari aktivitas toilet di Gedung K, dengan mengesampingkan air hujan. Material pipa yang digunakan adalah *Polyvinyl Chloride* (PVC) karena keunggulan ekonomis dan kemudahan instalasinya. Air hasil olahan dirancang untuk memenuhi baku mutu pembuangan yang aman bagi lingkungan, bukan untuk tujuan daur ulang. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menghasilkan solusi teknis untuk satu lokasi spesifik, tetapi juga menyajikan sebuah model metodologis yang praktis, terjangkau, dan dapat direplikasi untuk penerapan sistem pengolahan air limbah berkelanjutan di fasilitas institusional lainnya.

2. METODOLOGI

2.1 Kerangka Perancangan dan Kuantifikasi Beban Aliran Limbah

Tahap awal dalam perancangan adalah menentukan parameter beban yang akan ditangani oleh sistem. Proses ini dimulai dengan pengumpulan data primer mengenai tingkat hunian gedung.

Perhitungan pemakaian air bersih berdasarkan kepadatan penghuni dianggap sesuai, maka menurut Noerbambang & Morimura (1999), dilakukan dengan cara berikut:

$$Q_d = \text{jumlah penghuni} \times \text{pemakaian air} \quad (1)$$

Untuk mengantisipasi fluktuasi penggunaan dan potensi kehilangan air, ditambahkan faktor keamanan sebesar 20% untuk mendapatkan kebutuhan air maksimum harian ($Q_{d \text{ max}}$), dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_{d \text{ max}} = Q_d + (20\%Q_d) \quad (2)$$

Dari nilai $Q_{d \text{ max}}$, debit rata-rata per jam (Q_h) dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$Q_h = \frac{Q_{d \text{ max}}}{t} \quad (3)$$

Berdasarkan nilai Q_h , langkah selanjutnya adalah menghitung debit air maksimum per jam yang mengalir dalam sistem dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q_{h \text{ maks}} = C_1 \times Q_h \quad (4)$$

Akhirnya, debit air limbah rancangan (q) dengan penambahan kapasitas cadangan 50% untuk mengakomodasi beban puncak tak terduga, sesuai dengan Persamaan (5). Nilai ini menjadi parameter kritis untuk seluruh perhitungan selanjutnya.

$$q = \left(\frac{Q_h}{t} \right) + \left(\frac{Q_h}{t} \times 50\% \right) \quad (5)$$

2.2 Perhitungan Head Pompa dan Daya Pompa

Setelah debit rancangan ditetapkan, langkah selanjutnya adalah analisis hidraulik untuk menentukan dimensi fisik sistem perpipaan dan menganalisis perilaku aliran. Diameter dalam pipa (D) ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini, yang diatur untuk kecepatan aliran (v) yang dijaga pada level rendah (0.45 m/s) untuk meminimalkan erosi dan kebisingan.

$$Q = A \times v \quad (6)$$

Kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa (*headloss mayor*) dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach seperti yang tertera pada Persamaan (7) berikut:

$$Hl_{\text{mayor}} = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

Selain kerugian gesekan di sepanjang pipa lurus, *headloss* juga terjadi pada komponen *fitting* seperti *elbow* dan *reducer*. Kerugian ini dihitung menggunakan Persamaan (8), di mana nilai koefisien kerugian (K) untuk setiap *fitting* diperoleh dari data standar rekayasa perpipaan.

$$Hl_{\text{minor}} = K \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

2.3 Penentuan Spesifikasi Pompa dan Validasi Model

Tahap akhir metodologi adalah mensintesis semua hasil perhitungan hidraulik untuk menentukan spesifikasi komponen aktif sistem, yaitu pompa, dan memvalidasi keakuratan seluruh model rancangan. *Head total* (H) yang harus disediakan oleh pompa dihitung dengan menjumlahkan *head statis* (H_a), yaitu perbedaan elevasi, dengan total *headloss mayor* dan *minor* yang telah dihitung, seperti ditunjukkan pada Persamaan (9).

$$H = H_a + Hl_{\text{mayor}} + Hl_{\text{minor}} \quad (9)$$

Daya pompa (P) yang dibutuhkan untuk mengatasi *head total* pada debit rancangan dihitung menggunakan Persamaan (10). Nilai ini menjadi dasar teoretis untuk pemilihan pompa komersial.

$$P = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{1000} \quad (10)$$

Untuk memastikan reliabilitas desain, seluruh perhitungan manual divalidasi menggunakan *software* analisis aliran fluida. Model digital dari sistem perpipaan, lengkap dengan semua komponennya, dibangun berdasarkan gambar isometrik. Hasil simulasi *software* dibandingkan dengan hasil perhitungan manual yang dievaluasi menggunakan metrik *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

Langkah metodologis terakhir adalah penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan mengidentifikasi seluruh material dan peralatan dari daftar kuantitas desain dan mengacu pada harga pasar terkini. Pemilihan pompa akhir didasarkan pada spesifikasi daya dan *head* hasil perhitungan, dengan mempertimbangkan ketersediaan produk di pasar untuk memastikan implementasi yang praktis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Penelitian

Berdasarkan data operasional, Gedung K memiliki kapasitas populasi total sebanyak 3.120 mahasiswa. Namun, untuk perancangan yang realistik, beban pengguna harian diasumsikan sebesar 12,5% dari total kapasitas, atau setara dengan 390 orang.

3.2 Perhitungan Kapasitas Air

3.2.1 Perhitungan Pemakaian Air Bersih

- Kebutuhan air bersih sebesar 80 liter/siswa/hari, mengacu pada standar SMK. Pemilihan data SMK dianggap sesuai karena karakteristik aktivitas siswa SMK dinilai mendekati aktivitas mahasiswa.
- Kebutuhan air rata-rata harian (Q_d)

Menggunakan Persamaan (1), kebutuhan air rata-rata harian dihitung berdasarkan 390 pengguna harian dan 80 liter/siswa/hari, menghasilkan 31.200 liter/hari.

- Kebutuhan maksimal air harian ($Q_{d \max}$)

Untuk memperhitungkan fluktuasi penggunaan dan potensi kehilangan air, Q_d \max ditetapkan dengan penambahan faktor keamanan 20%. Mengaplikasikan Persamaan (2), perhitungan ini menghasilkan 37.400 liter/hari

- Pemakaian air tiap jam (Q_h)

Dengan asumsi 8 jam aktif penggunaan air, pemakaian air rata-rata per jam (Q_h) dihitung menggunakan Persamaan (3), dan didapatkan hasil 4.680 liter/jam.

- Pemakaian air jam puncak ($Q_{h \max}$)
- Pemakaian air pada jam puncak ($Q_{h \max}$) ditentukan dengan mengalikan pemakaian air rata-rata per jam dengan faktor 1,75. Dengan mengacu pada Persamaan (4), hasilnya adalah 8.190 liter/jam.

3.2.2 Perhitungan Kapasitas Air Limbah

Menggunakan Persamaan (5), debit air limbah (q) diperkirakan dengan memperhitungkan pemakaian air per jam dan penambahan kapasitas cadangan 50%, menghasilkan 877,5 liter/jam. Nilai ini merupakan parameter krusial untuk seluruh perhitungan selanjutnya dalam desain sistem perpipaan air limbah.

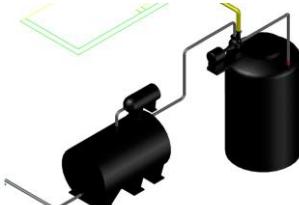
3.3 Desain Sistem Perpipaan

3.3.1 Penentuan Diameter Pipa Air Bersih

Diameter pipa dihitung menggunakan Persamaan (6) menghasilkan 0,0261 m dan disesuaikan dengan yang berada di pasaran, maka digunakan pipa berukuran $1\frac{1}{4}$ ". Akan tetapi sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh SNI 8253:2015 maka digunakan pipa berdiameter 2".

3.3.2 Desain Sistem Perpipaan

- *Layout Drawing* (3D): Gambar 1 menunjukkan sistem perpipaan pengolahan air limbah keluaran dari toilet Gedung K



Gambar 1. Design Pengolahan Air Limbah

Sistem pengolahan air limbah di mana air limbah dari *toilet* Gedung K terlebih dahulu ditampung dalam tandon bawah tanah, untuk menyeimbangkan debit air limbah sebelum diproses lebih lanjut.

Selanjutnya, air limbah akan didorong oleh pompa menuju tangki filter. Di dalam tangki filter, air limbah menjalani proses penyaringan biologis yang memanfaatkan mikroorganisme aerobik. Mikroorganisme berfungsi menguraikan senyawa organik yang kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, serta membantu mengendalikan bau yang tidak sedap.

Setelah melalui proses filtrasi, air limbah yang kualitasnya telah meningkat dialirkan ke saluran pembuangan akhir. Jalur pipa horizontal dari filter ke saluran pembuangan memiliki kemiringan 2% untuk memastikan aliran air limbah lancar secara gravitasi dan meminimalkan endapan.

3.4 Perhitungan Pompa Air

Pompa yang digunakan adalah jenis *centrifugal* untuk distribusi dari tandon penampung air *toilet* ke filter.

3.4.1 Perhitungan Head Total

- **Head Loss Major:** merepresentasikan kehilangan energi akibat gesekan fluida pada pipa. Menggunakan Persamaan (7), perhitungan ini menghasilkan 0,001384 m.
- **Head Loss Minor:** Head loss Minor, yang terjadi akibat komponen fitting dihitung menggunakan Persamaan (8) dan menghasilkan total 0,008152 m.
- **Head Statis:**
Head Statis menghasilkan nilai 1,339 m.
- **Head Total:** Mengaplikasikan Persamaan (9), Head Total (H) menghasilkan 1,349 m.

3.4.2 Perhitungan Daya Pompa

Daya pompa (P) yang diperlukan untuk mengatasi head total pada debit rancangan dihitung menggunakan Persamaan (10). Perhitungan ini menghasilkan 0,003215 kW.

3.4.3 Perhitungan dengan Software

Hasil simulasi pada software menunjukkan head pompa sebesar 1,367 m. Perbandingan dengan perhitungan manual menghasilkan error 1,4% menunjukkan akurasi yang sangat baik.

Tabel 1: Perbandingan Hasil Perhitungan

Deskripsi	Nilai	Satuan
Perhitungan Head Pompa Manual	1,349	m
Perhitungan Head Pompa Software	1,367	m
%Error	1,4	%

3.5 Penentuan Spesifikasi Pompa

Pompa Shimizu PS-130 BIT dipilih dengan daya 0,125 kW, kapasitas maksimal 18 L/menit, dan head maksimal 20 m. Spesifikasi ini mencukupi kebutuhan sistem.

3.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Penyusunan RAB dilakukan dengan mengidentifikasi seluruh kebutuhan material dan peralatan berdasarkan spesifikasi desain akhir. Berdasarkan analisis tersebut, total estimasi biaya yang dibutuhkan untuk implementasi sistem ini adalah sebesar Rp7.676.329,75.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan sebuah rancangan sistem pengolahan air limbah berbasis biofilter aerobik pada sistem plambing Gedung K PPNS. Desain ini mengedepankan pendekatan praktis, di mana semua komponen yang dipilih merupakan produk komersial yang telah tersedia di pasaran. Secara teknis, ukuran pipa telah ditetapkan secara optimal, sementara pemilihan pompa dan penggunaan filter aerobik didasarkan pada produk yang sudah tersedia di pasaran. Sejalan dengan itu, RAB disusun berdasarkan survei harga langsung dari beberapa katalog yang tersedia di pasaran. Secara keseluruhan, penelitian ini menghasilkan sebuah sistem yang mumpuni jika akan diimplementasikan.

5. PUSTAKA

- [1] Noerbambang, S. M., & Morimura, T. (2005). *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing* (9th ed., Vol. 1). Pradnya Paramita.
- [2] BSN. (2015). *Sistem plambing pada bangunan gedung* (SNI 8153:2015). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. www.bsn.go.id
- [3] Sularso, & Tahara, H. (2006). *Pompa & Kompresor: Pemilihan, pemakaian, dan pemeliharaan* (9th ed.). Pradnya Paramita.
- [4] Darwin. (2015). *Plambing dan Sanitasi Bangunan Gedung* (Zainuddin & H. Sitompul, Eds.; 1st ed.). Unimed Pres.
- [5] Azman Maricar, M. (2019). Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Averagze dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ. *Jurnal Sistem dan Informatika*, Vol. 13, No. 2, Universitas Udayana, Bali.
- [6] Liu, H. (2003). *Pipeline Engineering* (1st ed.). Lewis Publishers.
- [7] 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*, 1–6.
- [8] Shaughnessy Jr, E. J., Katz, I. M., & Schaffer, J. P. (2005). *Introduction to Fluid Mechanics*. Oxford University Press, Inc., New York.
- [9] Suhardiyanto. (2016). Perancangan Sistem Plambing Instalasi Air Bersih dan Air Buangan Pada Pembangunan Gedung Perkantoran Bertingkat Tujuh Lantai. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 05, No. 3, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- [10] Hasan, Arfan. (2014). Pola Konsumsi Air Bersih pada Kampus Politeknik Negeri Sriwijaya. *PILAR: Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 10, No. 1, POLSRI, Palembang.
- [11] Menon, E. S. (2005). *Piping Calculations Manual* (1st ed.). McGraw-Hill.
- [12] Komala, P. S., Abuzar, S. S., & Zikra. (2016). Perancangan Sistem Plambing Air Bersih Gedung Fave Hotel Padang. *Jurnal Dampak*, Vol. 13, No. 2, pp.89.
- [13] Association, P.-H.-C. C. (2009). *National Standard Plumbing Code (3rd ed.)*. Plumbing-Heating-Cooling Contractors—National Association, Washington.
- [14] BSN. (2005). *Tata cara perencanaan sistem plambing* (SNI 03-7065-2005). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [15] Avallone, E. A., & Baumeister, T. (Eds.). (1996). *Marks' standard handbook for mechanical engineers* (10th ed.). McGraw-Hill.