

ANALISIS KINERJA SISTEM POMPA SENTRIFUGAL UNTUK WASTE WATER TREATMENT PLANT DI PT XYZ

Rahmat Hidayat¹, Komarudin²,

^{1,2}Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara

Corresponding author

E-mail: komarudin@undira.ac.id²



Diterima : 04-05-2025
Direvisi : 25-06-2025
Dipublikasi : 10-07-2025

Abstrak: Sistem pompa sentrifugal dengan konfigurasi prime tank suction lift merupakan salah satu solusi yang sering digunakan dalam instalasi pengolahan air limbah (Wastewater Treatment Plant atau WWTP) untuk mengatasi tantangan pengangkatan fluida dari level rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem pompa sentrifugal pada kondisi suction lift, dengan fokus pada stabilitas priming, head total, efisiensi pompa, serta kehilangan energi dalam sistem perpipaan. Pendekatan yang digunakan meliputi simulasi teoretis serta pengukuran lapangan pada sistem WWTP actual yang selanjutnya dilakukan perhitungan ulang secara manual dan numeric menggunakan perangkat lunak pipe flow expert. Hasil menunjukkan bahwa ketinggian suction lift yang melebihi rekomendasi desain pompa dapat menyebabkan penurunan efisiensi hingga 20% dan potensi terjadinya kavitasi. Faktor seperti diameter dan panjang pipa isap, kehilangan energi (major and minor losses), serta kondisi priming sangat memengaruhi kinerja pompa. Optimasi dilakukan dengan menyesuaikan posisi tangki primer (prime tank) dan meminimalkan jumlah fitting untuk mengurangi kehilangan head pada jalur hisap. Penelitian ini memberikan panduan teknis untuk memastikan sistem prime tank suction lift beroperasi secara andal dan efisien dalam mendukung proses pengolahan air limbah di WWTP. Rekomendasi praktis mencakup optimalisasi desain perpipaan dan pemilihan pompa yang sesuai untuk mengatasi kondisi suction lift.

Kata Kunci: pompa sentrifugal, WWTP, suction lift, prime tank, kehilangan tekanan, efisiensi pompa.

PENDAHULUAN

Centrifugal pump merupakan alat yang sangat krusial dalam banyak bidang industri, termasuk pengolahan air, minyak dan gas, serta sektor manufaktur. Dalam beberapa aplikasi, pompa ini biasanya berfungsi dalam keadaan suction lift, di mana permukaan cairan berada lebih rendah daripada pompa itu sendiri. Situasi ini menciptakan tantangan dalam operasi, terutama dalam memastikan cairan bisa terhisap dengan baik tanpa menimbulkan masalah seperti kavitasi atau infiltrasi udara ke dalam sistem.

Kavitasi dan masalah lain akibat suction lift tidak hanya memengaruhi efisiensi pompa tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan pada komponen internal pompa, seperti impeller. Untuk mengatasi masalah tersebut, penggunaan priming tank sering kali diterapkan. Priming tank dirancang untuk memastikan sisi isap pompa selalu penuh cairan sebelum pompa mulai beroperasi, sehingga mampu mengurangi risiko kavitasi, mempermudah proses priming, dan meningkatkan kinerja keseluruhan sistem.

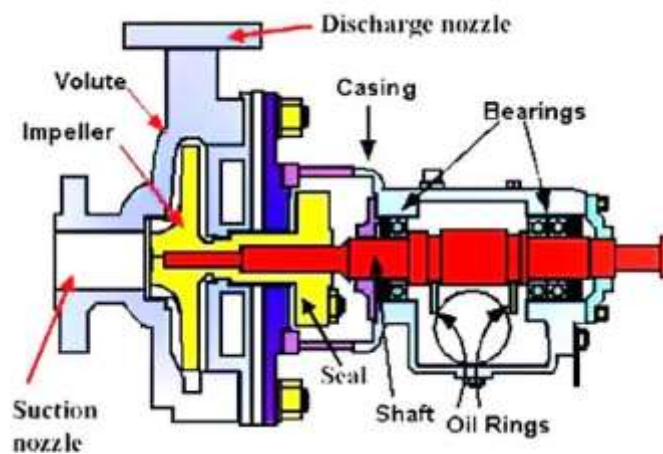
Meskipun penggunaan priming tank menawarkan solusi yang praktis, pengaruhnya terhadap parameter-parameter kinerja pompa seperti debit, tekanan, daya, dan efisiensi sistem secara keseluruhan masih perlu dikaji lebih dalam. Hal ini menjadi penting terutama dalam aplikasi industri di mana keandalan dan efisiensi sistem pompa menjadi faktor utama yang memengaruhi produktivitas dan biaya operasional.

Penelitian ini memiliki tujuan, yaitu menganalisis seberapa pengaruh priming tank terhadap kinerja pompa sentrifugal yang beroperasi dalam kondisi suction lift, mengevaluasi efektivitas priming tank dalam mengurangi risiko kavitasi dan menjaga kestabilan aliran pada sisi isap pompa, mengukur perubahan parameter kinerja, seperti debit, head, daya, dan efisiensi pompa sentrifugal, dengan dan tanpa priming tank, mengidentifikasi faktor-faktor operasional yang memengaruhi performa pompa sentrifugal dalam kondisi suction lift menggunakan bantuan priming tank, perhitungan dilakukan secara manual dan hasilnya dibandingkan dengan perhitungan melalui perangkat lunak Pipe Flow Expert, memberikan rekomendasi terkait desain dan operasional priming tank untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pompa sentrifugal

KAJIAN PUSTAKA

Pengertian Pompa Sentrifugal

Pengertian Pompa Sentrifugal dan Prinsip Kerjanya – Pompa sentrifugal adalah tipe pompa yang paling umum digunakan. Dalam industri kontraktor mekanikal dan elektrik, pompa ini memiliki peranan yang vital. Keuntungan dari pompa ini antara lain adalah cara pengoperasiannya yang sederhana, biaya pemeliharaan yang terjangkau, tingkat kebisingan yang rendah, dan sebagainya. Berikut detail gambar komponen pompa sentrifugal pada gambar 1.



Gambar 1. detail centrifugal pump single stage

Komponen inti dari pompa sentrifugal terdiri dari motor penggerak dan sudu impeller yang berputar dengan kecepatan tinggi. Prinsip dasarnya adalah mentransformasikan energi dari mekanisme penggerak ke dalam energi kinetik fluida (kecepatan), kemudian fluida tersebut dipindahkan ke saluran pembuangan melalui tekanan (energi kinetik fluida diubah menjadi energi tekanan) dengan memanfaatkan impeler yang terpasang dalam casing yang terhubung dengan poros pompa. Casing ini terhubung dengan saluran hisap dan pembuangan, sehingga saluran hisap harus selalu terendam dalam cairan dan katup kaki perlu dipasang untuk menutup casing.

Waste Water Treatment Plant

Pengolahan air limbah merupakan salah satu aspek penting dalam menjaga kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Waste Water Treatment Plant (WWTP) adalah suatu sistem fasilitas yang dirancang untuk mengolah air limbah sehingga memenuhi standar kualitas tertentu sebelum dibuang ke lingkungan. Berdasarkan informasi dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, sekitar delapan puluh persen dari keseluruhan air limbah yang dihasilkan di area perkotaan tidak dikelola dengan baik, sehingga berpotensi mencemari sumber air bersih (KLHK, 2020). Oleh karena itu, keberadaan WWTP menjadi sangat vital dalam pengelolaan sumber daya air. lihat gambar 2.



Gambar 2. Wwtp.

Alur proses pengolahan air limbah di WWTP umumnya terbagi menjadi beberapa tahap, mulai dari pra-pengolahan, pengolahan primer, sekunder, hingga pengolahan tersier. Pada tahap pra-pengolahan, air limbah akan disaring untuk menghilangkan material padat besar yang dapat mengganggu proses selanjutnya. Pada pengolahan primer, air limbah akan mengalami proses sedimentasi untuk memisahkan padatan dari air. Proses sekunder melibatkan pengolahan biologis, di mana mikroorganisme digunakan untuk menguraikan zat organik dalam air limbah. Terakhir, pengolahan tersier bertujuan untuk meningkatkan kualitas air lebih lanjut melalui proses filtrasi dan disinfeksi (Metcalf & Eddy, 2014).

Dalam konteks ini, penting untuk memahami bahwa keberhasilan WWTP sangat bergantung pada efisiensi dan efektivitas sistem yang digunakan, termasuk pompa sentrifugal. Pompa ini berfungsi untuk memindahkan air limbah melalui berbagai tahap pengolahan. Dengan meningkatnya volume air limbah yang harus diolah, kebutuhan akan pompa yang berkinerja tinggi semakin mendesak. Data dari International Water Association menunjukkan bahwa sekitar 30-40% dari biaya operasional WWTP digunakan untuk energi pompa, sehingga kinerja pompa menjadi faktor krusial dalam pengelolaan biaya (IWA, 2018).

Head Pompa

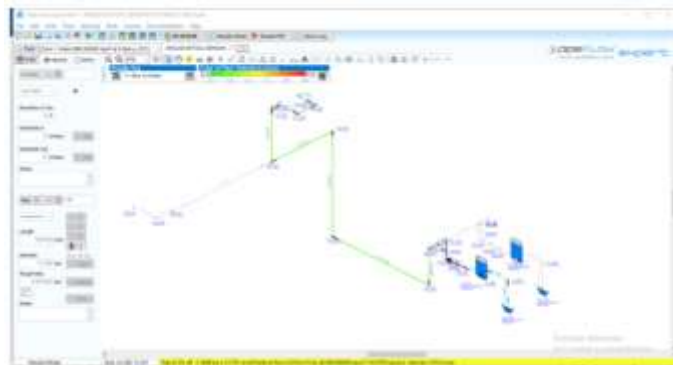
Head pompa merujuk pada energi per unit berat dari cairan yang dihasilkan oleh pompa, memungkinkan cairan itu berpindah dari sisi masuk menuju sisi keluar. Terdapat dua komponen dalam head pompa, yakni head statis dan head dinamis. Head statis mencakup pressure head dan elevation head. Pressure head adalah energi yang dimiliki cairan karena perbedaan tekanan antara tangki masuk dan tangki keluar. Sementara itu, elevation head merupakan head yang timbul dari perbedaan ketinggian antara permukaan cairan di tangki masuk dan di tangki keluar, dengan sumbu pompa sebagai titik acuan. Maka dari itu, ada dua konfigurasi instalasi, yaitu: suction head dan suction lift.

Software Pipe Flow Expert

Software Pipe Flow Expert merupakan sebuah program simulasi yang dirancang untuk membantu para profesional saat ini dalam mengevaluasi dan mengatasi berbagai masalah yang berkaitan dengan aliran serta kehilangan tekanan dalam sistem pipa. Aplikasi Pipe Flow Expert memberi kesempatan kepada pengguna untuk merancang sistem pipa yang rumit dan menilai karakteristik sistem saat aliran aktif. Program ini juga dapat menghitung aliran seimbang dan kondisi tekanan di dalam sistem, sehingga memungkinkan analisis alternatif sistem dalam berbagai situasi operasional.

Hasil dari informasi yang dimasukkan dan tampilan data dalam sistem pada Software Pipe Flow Expert serta tabel hasilnya bisa ditampilkan dalam satuan metrik atau imperial sesuai

pilihan. Selain itu, unit tertentu untuk setiap item seperti laju aliran juga dapat disesuaikan dan diatur sendiri sesuai keperluan. Software Pipe Flow Expert dibuat khusus untuk profesional yang membutuhkan program berkualitas tinggi, dengan antarmuka yang mudah digunakan sehingga membantu dalam merancang dan menganalisis sistem perpipaan. Contoh tampilan dalam software Pipe Flow Expert ada pada gambar 3.



Gambar 3. Pipe Flow Expert Versi V8.16

METODE PENELITIAN

Aktifitas penelitian yang sudah ditetapkan dan dilaksanakan sesuai dengan diagram alir yang di tujukan pada gambar 4 di bawah ini :



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Prosedur Pengambilan Data

Langkah-langkah dalam proses penelitian

Preparation :

Sebelum memulai penelitian, sangat penting untuk menyiapkan segala sesuatunya dengan baik.

Proses persiapan yang perlu dilakukan terdiri dari:

1. Melaksanakan penelitian pendahuluan dan mengkaji literatur untuk menentukan fokus riset.
2. Mempersiapkan alat ukur, bahan, dan peralatan yang diperlukan dengan melakukan pengecekan terhadap sumber daya yang dibutuhkan di lapangan.

Prosedur dalam proses pengujian

Dalam tahap pengujian, langkah awal mencakup pengaturan alat serta proses kalibrasi dan pengumpulan data. Rincian langkah-langkah dalam pelaksanaan pengujian dapat dijabarkan dalam poin-poin berikut:

- a. Pengujian.
 1. Mengatur semua peralatan untuk pengujian pompa sentrifugal.
 2. Memasang alat vakum gauge, pressure gauge, dan flow meter pada sistem.
 3. Mengisi tangki dengan air hingga mencapai volume setidaknya 80 persen.
 4. Menjalankan pompa sentrifugal pada kecepatan maksimal hingga aliran fluida mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap dalam saluran pipa.
 5. Menyesuaikan katup masuk dan mencatat hasil pengukuran:
 - a. Mencatat angka putaran poros pompa menggunakan tachometer dengan cara menempelkan ujung alat ke poros pompa saat pompa dijalankan.
 - b. Mencatat kapasitas aliran (Q) yang diperoleh dari flowmeter.

- c. Mencatat tekanan hisap (P_s) dari vakum gauge dengan cara mengamati pergerakan jarum pada alat tersebut saat pompa diaktifkan.
 - d. Mencatat tekanan buang (P_d) dari pressure gauge dengan cara melihat pergerakan jarum pada alat tersebut saat pompa dijalankan.
6. Mencatat semua hasil pengujian pompa berdasarkan bukaan katup (valve) terhadap head pompa.
 7. Setelah menyelesaikan pengujian pertama dengan bukaan katup (valve), lakukan pengujian lagi dengan bukaan katup (valve) yang berbeda untuk mendapatkan variasi head pompa dengan metode yang sama.
 8. Setelah seluruh pengujian selesai, bersihkan dan susun semua peralatan yang telah digunakan.
- b. Tindakan yang dilakukan.

Indikasi yang dilakukan dalam pengujian ini dapat diamati melalui alat ukur yang ada. Misalnya, alat pengukur tekanan untuk memantau tekanan cairan, tachometer untuk mengevaluasi kecepatan putaran poros pada motor listrik, dan flow meter untuk mengukur kapasitas pompa sentrifugal, serta memperhatikan nilai amphere 32able32 pompa beroperasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini di jelaskan tahap kalkulasi instalasi perpipaan serta analisis kinerja system pompa sentrifugal untuk waste water treatment plant pada pabrik rokok terkemuka di Indonesia yang bertempat di Karawang PT. Handjaya Mandala Sampoerna Tbk. Dimana Sistem pemompaan ini untuk sistem primer yaitu memindahkan dari bak penampungan awal (setelah dari pengolahan limbah pabrik) menuju ke bak equalisasi dan sebelum masuk dari bak penampungan pertama di saring terlebih dahulu menggunakan alat automatic bar screen yaitu agar limbah padatan dapat tersaring dan tidak masuk kedalam instalasi perpipaan. Berikut table 1 dan table 2 sebagai acuan melihat rekomendasi aliran di dalam pipa.

Tabel 1. Rekomended Velocities of Fluid in Pipeline

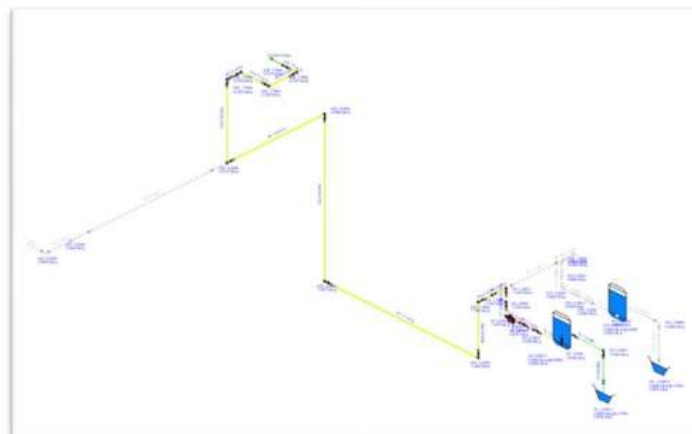
Pump Type	Application	Range	
		Low (m/sec)	High (m/sec)
Centrifugal Pump	Suction Line	1,2	3,0
	Discharge Line	1,5	3,7

Tabel 2. Rekomended Velocities of Fluid in Pipeline

Pump Type	Application	Range	
		Low (m/sec)	High (m/sec)
Centrifugal Pump	Suction Line	1,2	3,0
	Discharge Line	1,5	3,7

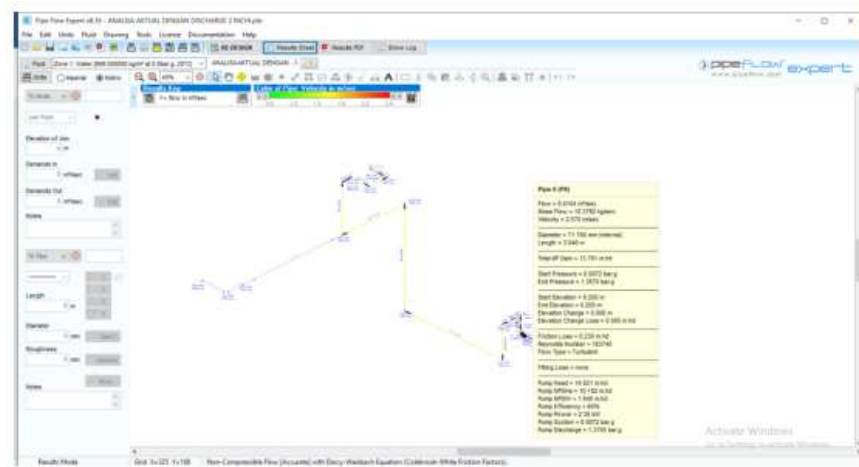
Perhitungan Menggunakan Pemodelan Numerik

Berikut adalah gambar dari sebuah instalasi menggunakan Software Pipe Flow Expert tampilan bisa di lihat pada gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Instalasi pemipaan equalisasi pump TP-01

Dengan mengaplikasikan perangkat lunak Pipe Flow Expert, lalu bisa membandingkan dengan hasil perhitungan secara manual dan juga secara numeric dari pemrograman. Setelah mendesign semua jalur perpipaian dan memasukan segala jenis aksesoris, maka, dengan menekan calculate, akan menghasilkan seperti gambar 6.



Gambar 6. Tampilan pipe flow expert.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melalui rangkaian di dalam proses perhitungan. Jadi, Berdasarkan hasil dari perhitungan pada instalasi pipa transfer equalisasi untuk wwtp ialah :

1. Jumlah fluida yang di pompakan menggunakan pompa sentrifugal single stage equalisasi pump ialah 37,5 m³/h guna memenuhi proses dalam discharge tangki inlet.
2. Kecepatan yang dapat diterima serta diameter pipa hisap yang tepat serta diameter pipa pembuangan yaitu menggunakan pipa HDPE tipe SDR 11 dengan dimensi 4 inci untuk hisap dan 4 inci untuk pembuangan.
3. Perhitungan manual menghasilkan head pompa efektif (Heff) berukuran 13.981 meter, sedangkan perangkat lunak Pipe Flow Expert menghasilkan nilai 14.021 meter, data tersebut yakni menghasilkan varians 0,028 %
4. Nilai 2.413 meter adalah hasil dari perhitungan manual NPSHa.
5. Daya 2.620 KW adalah hasil perhitungan manual untuk daya penggerak pompa.
6. Efisiensi pompa pada perhitungan manual adalah 54,5 % sedangkan hasil dari Software adalah 59,7 %
7. Di pilih sentrifugal single stage merek Grundfos, nomor model NKG_8050200210.

Saran

Maka dari itu saran untuk sistem instalasi transfer equalisasi pump pada kasus ini yaitu:

1. diperlukan adanya Standard Operational Prosedure (SOP)
2. diperlukan adanya Maintenance Manual untuk menjaga keandalan pompa
3. Sebelum pemasangan pompa perlu di lakukan Alighment ulang agar memastikan bahwa poros pompa dari motor ke impeller benar-benar sudah sesuai prosedur pemasangan pompa
4. Aksesories pada discharge pompa perlu di ganti dengan dimensi 4 inch agar velocity sesuai dengan standard yang di terapkan
5. Memilih pompa harus di kalikan dengan safety faktor supaya dalam jangka panjang masih mampu bekerja dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Garay,Paul N., Pump Aplication Desk Book,Indian Trail, The Fairmont Press,Inc.,1990
- Healdd, C.C., Cameron Hydraulic Data, 18th Ed., New Jersey, Ingersoll-Dresser Pumps,1995
- Hicks, Tyler G., and Edwardd,T.W., Pump Aplication Engineering, New York, McGraw-Hill Book Company,1971
- Suharto, Indarto., Pompa sentrifugal, Jakarta ray press, 2016
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). *Pumps and Pumping Systems*.
- Liu, X., et al. (2021). "Impact of Solid Handling on Centrifugal Pump Performance." *Journal of Hydraulic Engineering*.
- Sularso , Tahara Haruo. 2006. Pompa dan Kompresor. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Utomo, R. (2018). "Efisiensi Energi pada Sistem Perpipaan." Bandung: ITB Press.
- Siregar, M. (2022). "Optimasi Sistem Perpipaan untuk Mengurangi Daya Pompa." Jurnal Energi, 10(1), 23-29.
- Kumar, A., & Singh, R. (2019). "Impact of Pump Placement on System Efficiency." *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*.
- www. PipeFlow.Co.Uk. Pipe Flow Expert.Software.2016