

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang paling banyak digunakan dalam proses pemindahan fluida pada industri pengolahan air, industri kimia, pembangkit listrik, hingga sistem distribusi air bersih. Keunggulan pompa sentrifugal, seperti efisiensi aliran yang tinggi, kemudahan perawatan, serta kemampuan bekerja dalam berbagai kondisi operasi, menjadikannya komponen vital dalam sistem perpipaan. Namun, keberlangsungan fungsi pompa sentrifugal sangat dipengaruhi oleh kondisi fluida yang dialirkan, terutama dari sisi sifat kimianya seperti pH. Nilai pH air dapat memengaruhi fenomena korosi yang terjadi pada komponen internal pompa, salah satunya poros (shaft) yang menjadi elemen utama dalam mentransmisikan gaya putar dari motor ke impeller. Korosi akibat variasi pH merupakan salah satu permasalahan utama yang dapat menurunkan performa pompa dan memperpendek umur pakainya (Fontana, 1986).

Sebagai komponen yang selalu bersentuhan dengan fluida, poros pompa sangat rentan terhadap kerusakan material akibat reaksi elektrokimia. Ketika fluida memiliki pH rendah (asam), laju korosi pada logam cenderung meningkat secara signifikan. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh (Oki dan Oki, 2012), penurunan pH larutan akan meningkatkan laju disolusi logam, terutama pada baja karbon yang memiliki lapisan pasif sangat terbatas. Hal ini menjadi penting karena banyak sistem perpompaan di lingkungan industri dan domestik yang mengalirkan air dengan kondisi pH yang bervariasi akibat faktor lingkungan, proses pengolahan air, atau sifat alami sumber air.

Material poros yang umum digunakan pada pompa sentrifugal adalah baja karbon dan stainless steel 304 (SS304). Baja karbon banyak dipilih karena kekuatan mekanik yang tinggi, harga terjangkau, dan ketersediaan yang mudah. Namun, proses korosi pada baja karbon berlangsung cepat terutama pada media asam. Penelitian oleh (Isaac dan Adindu, 2020) menunjukkan bahwa baja karbon yang terpapar pada media dengan pH rendah mengalami peningkatan

laju korosi secara eksponensial, bahkan ketika waktu kontak relatif singkat. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan baja karbon pada kondisi fluida asam memerlukan pengendalian khusus atau perlindungan tambahan.

Berbeda dengan baja karbon, stainless steel 304 memiliki kandungan kromium yang mampu membentuk lapisan oksida pasif yang melindungi permukaan logam dari reaksi korosi. Penelitian yang dilakukan oleh (Talha, Singh, dan Au, 2013) menunjukkan bahwa SS304 memiliki ketahanan korosi yang jauh lebih baik pada berbagai media, termasuk lingkungan asam lemah. Akan tetapi, kondisi pH yang sangat rendah atau adanya ion agresif tertentu (misalnya klorida) tetap dapat merusak lapisan pasif tersebut. Oleh karena itu, pemilihan material poros harus mempertimbangkan kondisi fluida yang dialirkan serta kemungkinan degradasi jangka panjang.

Variasi pH air menjadi perhatian serius karena dapat berubah akibat kondisi operasional, proses kimia, atau kontaminasi. Misalnya, pada sistem pengolahan air, nilai pH dapat turun akibat proses oksidasi, penggunaan koagulan tertentu, atau pencemaran lingkungan. Penelitian oleh (Aribo et al, 2017) menunjukkan bahwa pH merupakan faktor paling menentukan dalam proses korosi pada baja karbon di lingkungan berair. Ketika pH berada pada rentang 3–6, laju korosi meningkat drastis karena terjadinya percepatan reaksi reduksi hidrogen pada permukaan logam. Kondisi ini sangat relevan untuk aplikasi pompa yang beroperasi pada air baku yang tidak stabil atau memiliki karakteristik kimia tertentu.

Dalam studi korosi, terdapat berbagai metode untuk menentukan tingkat kerusakan material, namun salah satu metode yang paling sederhana, murah, dan banyak digunakan adalah metode penimbangan kehilangan berat (weight loss method). Metode ini menilai korosi berdasarkan perubahan massa material sebelum dan sesudah terpapar fluida dalam periode tertentu. Berdasarkan standar ASTM G31-72, metode kehilangan berat merupakan metode fundamental yang dapat menggambarkan laju korosi secara akurat dalam kondisi statis maupun dinamis. Penelitian oleh (Yaacob et al, 2013) mengonfirmasi bahwa metode kehilangan berat sangat efektif dalam mengevaluasi ketahanan korosi logam pada berbagai kondisi pH, karena

menawarkan hasil yang mudah diinterpretasikan dan validasi kuat pada aplikasi industri.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi pengaruh pH terhadap laju korosi material logam. Misalnya, penelitian oleh (Ihom et al, 2015) meneliti korosi baja karbon pada berbagai kondisi pH dan menemukan bahwa pH asam mempercepat korosi hingga 300% lebih tinggi dibandingkan pada pH netral. Sementara itu, penelitian oleh (Dwivedi dan Lepková, 2018) menunjukkan bahwa stainless steel 304 tetap mempertahankan lapisan pasifnya pada pH netral dan sedikit asam, namun ketahanannya menurun drastis jika pH berada di bawah 2 atau terdapat ion agresif. Meski demikian, sebagian besar penelitian tersebut dilakukan pada larutan kimia spesifik seperti HCl atau H₂SO₄ dengan konsentrasi tertentu, bukan pada air biasa yang mengalami variasi pH alami. Dari sisi mekanis, penurunan kekuatan material akibat pengaruh pH air dapat menimbulkan masalah serius. Ketika permukaan logam mengalami korosi, ukuran poros berkurang dan menyebabkan ketidakseimbangan putaran impeller. Akibatnya, pompa menjadi bergetar, efisiensi menurun, dan pada akhirnya pompa bisa mengalami kegagalan total. Oleh karena itu, memahami laju kerusakan material terhadap variasi pH air sangat penting dalam merancang sistem perawatan dan pemilihan bahan pompa yang tepat.

Di sisi lain, belum banyak penelitian yang fokus pada pengaruh variasi pH air biasa (asam dan netral) terhadap massa poros pompa sentrifugal, khususnya untuk membandingkan dua material yang paling umum digunakan yaitu baja karbon dan SS304. Padahal, kondisi pH air yang digunakan pada pompa industri atau rumah tangga tidak selalu stabil, dan fluktuasi pH tersebut dapat mempercepat proses degradasi poros. Jika tidak dikaji secara komprehensif, hal ini dapat menyebabkan penurunan performa pompa, peningkatan biaya perawatan, atau bahkan kegagalan operasional

Dengan demikian, penelitian berjudul “Analisa Perbandingan pH Air dalam Pengaruh Masa Poros pada Pompa Sentrifugal” sangat relevan untuk dilakukan, karena dapat memberikan gambaran ilmiah mengenai interaksi antara karakteristik fluida dengan sifat material pompa. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan teknologi pompa yang lebih tahan korosi

serta mendukung peningkatan efisiensi dan keandalan sistem perpompaan di berbagai sektor industri.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam rumusan latar belakang tersebut, maka pembuatan rumusan masalah dalam penulisan skripsi ini meliputi :

1. Seberapa besar pengaruh pH air terhadap tingkat korosi atau penurunan berat material pompa sentrifugal ?
2. Apakah terdapat perubahan berat material pompa sentrifugal setelah direndam dalam air dengan pH asam dan air dengan pH normal ?
3. Material jenis apa yang memiliki ketahanan paling baik terhadap pengaruh pH air yang berbeda ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam laporan skripsi ini adalah:

1. Jenis material yang diuji dibatasi hanya pada material yang umum digunakan pada komponen pompa sentrifugal, seperti baja karbon (mild steel) dan stainless steel.
2. Jenis air yang digunakan terdiri dari dua variasi, yaitu:
 - a.) Air dengan pH asam (pH sekitar 4–5).
 - b.) Air dengan pH normal/netral (pH sekitar 7).
3. Parameter yang diamati difokuskan pada perubahan berat material setelah proses perendaman dalam periode waktu tertentu, bukan pada analisis struktur mikro atau kekuatan mekanik.
4. Waktu pengujian dilakukan selama 8 minggu, dengan penimbangan setiap dua minggu sekali.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, adapun tujuan yang dimaksud dari skripsi ini adalah untuk menganalisa pengaruh pH air dalam kekuatan material pada pompa sentrifugal.

Sedangkan tujuan utama dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perubahan berat material pompa sentrifugal setelah direndam dalam air dengan pH asam dan air dengan pH normal selama periode tertentu.
2. Menganalisis pengaruh nilai pH air terhadap tingkat korosi atau penurunan berat material yang digunakan pada pompa sentrifugal.
3. Membandingkan ketahanan beberapa jenis material pompa terhadap kondisi pH air yang berbeda, sehingga dapat diketahui material mana yang paling tahan terhadap lingkungan korosif.
4. Memberikan data dan informasi ilmiah yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan material pompa sentrifugal agar lebih tahan terhadap pengaruh pH air dan memperpanjang umur pakai pompa.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari skripsi ini yaitu penelitian dari skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat, khususnya bagi mahasiswa untuk menambah wawasan dan pemahaman mengenai pengaruh tingkat keasaman (pH) air terhadap ketahanan material logam, khususnya yang digunakan pada komponen pompa hidram. Sehingga dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang didapat selama proses belajar di Universitas Islam Sumatera Utara.

Hasil penelitian diharapkan bermanfaat sebagai berikut :

1. Menambah wawasan dan pemahaman mahasiswa mengenai pengaruh tingkat keasaman (pH) air terhadap ketahanan material logam, khususnya yang digunakan pada komponen pompa sentrifugal.
2. Memberikan informasi praktis mengenai jenis material yang lebih tahan terhadap air dengan pH berbeda, sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pemilihan material pompa.
3. Menjadi sumber referensi tambahan bagi mahasiswa dan dosen dalam bidang studi teknik mesin, khususnya terkait analisis material dan korosi.
4. Dapat digunakan sebagai bahan ajar atau studi kasus dalam praktikum atau penelitian lanjutan di laboratorium teknik mesin.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam rangka memperkuat kajian dan menempatkan penelitian ini dalam konteks yang tepat, maka beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dengan tema “Perbandingan pH Air Dalam Pengaruh Kekuatan Material pada Pompa Sentrifugal” dikaji sebagai berikut:

1. Navaneetha, R., Indira Priyadarsini, C., & Ratna Reddy, T. (2022). Study on Corrosion Resistant Materials for Centrifugal Pump Impeller. Penelitian ini meneliti pemilihan material impeller pompa sentrifugal yang tahan korosi ketika dipakai dalam media seperti air limbah, air laut dan bahan kimia. Mereka membandingkan material konvensional (stainless steel, perunggu) dengan material alternatif seperti ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) dan Nylon. Hasil menunjukkan bahwa ABS memiliki performa tahan korosi yang lebih baik dibanding material logam konvensional dalam kondisi agresif.

Kaitan dengan penelitian ini: Meskipun penelitian tersebut tidak mengukur perubahan berat secara periodik dalam pH berbeda, tetapi membahas isu material pompa dan lingkungan korosif yang sangat relevan. Penelitian kamu dapat melengkapi dengan pengukuran perubahan berat akibat pH air berbeda.

2. “Elucidating the Electrochemical Corrosion of a Water Pump Impeller in an Industrial Cooling System with Zero Liquid Discharge” (2025). Penelitian ini melakukan analisis korosi elektrokimia pada impeller besi cor abu-abu dari pompa sentrifugal yang beroperasi pada sistem pendingin industri, menggunakan metode EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) dan simulasi aliran. Mereka menemukan bahwa area tepi bilah impeller dengan aliran turbulen menunjukkan korosi yang lebih cepat.

Kaitan dengan penelitian ini: Meski fokus bukan pH air secara spesifik, penelitian ini menguatkan bahwa kondisi fluida (termasuk kimia dan aliran) mempengaruhi korosi komponen pompa. Ini mendukung latar belakang penelitian kamu tentang pengaruh kondisi air terhadap material pompa.

3. Ichsanudin, M., Prabowo, I., & Nasirudin, M. (... “Analisis Korosi pada Filter Feed Pump Studi Kasus pada Waste Water Treatment Plant”). Penelitian ini mengkaji kasus korosi pada pompa sentrifugal di instalasi pengolahan air limbah; metode identifikasi termasuk observasi visual, data operasi dan jenis korosi yang terjadi seperti pitting, crevice, erosion-corrosion.

Kaitan dengan penelitian ini: Penelitian ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan (lingkungan air limbah) dan kondisi operasi sangat berpengaruh terhadap korosi pada pompa. Hal ini selaras dengan rancangan penelitian kamu yang menelaah pengaruh pH air terhadap material.

4. Güner & Özbayer. “Wear and its Effects in Centrifugal Pumps” (2019). Artikel ini mengulas keausan dan korosi dalam pompa sentrifugal, termasuk aspek kecepatan aliran, pH rendah, partikel padat dalam fluida, dan bagaimana kecepatan aliran yang tinggi meningkatkan laju korosi/keausan.

Kaitan dengan penelitian ini: Memberikan dasar bahwa selain pH, aspek aliran dan kondisi fluida juga mempengaruhi kehilangan material pada komponen pompa — yang bisa dijadikan pertimbangan dalam diskusi penelitian kamu.

5. “Centrifugal Pump Design Materials and Specifications” (2020). Dokumen ini menjelaskan bahwa pemilihan material pompa yang tepat sangat penting untuk menahan kondisi korosif seperti pH rendah atau medium dengan ion agresif.

Kaitan dengan penelitian ini: Memberikan justifikasi teoritis bahwa kondisi pH air merupakan variabel penting dalam memilih material pompa — mendukung urgensi penelitian kamu.

6. Thanikachalam, A. (2017). “Various types of corrosion in a sea water operating centrifugal pump and factors affecting the corrosion rate”. Penelitian ini membahas jenis-jenis korosi (pitting, intergranular, crevice, mikroba) yang terjadi pada pompa yang digunakan dalam air laut, serta faktor-faktor seperti pH, kecepatan aliran, dan partikel padat.

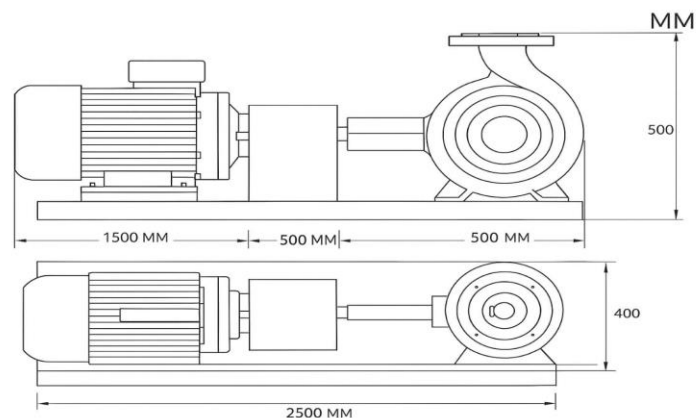
Kaitan dengan penelitian ini: Walau objeknya air laut, hasilnya menunjukkan bahwa pH—serta kondisi kimia lainnya—mempengaruhi

korosi pada pompa. Ini dapat digunakan sebagai perbandingan latar belakang untuk penelitian dengan air pH normal vs asam.

2.2 Teori Dasar Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa fluida dinamis (rotodynamic pump) yang paling banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, seperti industri air bersih, minyak dan gas, sistem pendingin, manufaktur, pengolahan limbah, hingga instalasi pemompaan domestik. Pompa ini bekerja dengan mengubah energi mekanik dari putaran poros (shaft) menjadi energi kinetik pada fluida melalui gerakan impeller. Energi kinetik tersebut selanjutnya diubah menjadi energi tekanan seiring dengan aliran fluida menuju saluran keluar pompa (discharge). Dengan mekanisme tersebut, pompa sentrifugal mampu mengalirkan fluida dalam volume besar dengan tekanan tertentu secara kontinyu dan stabil.

Secara umum, pompa sentrifugal didefinisikan sebagai mesin fluida yang mengubah energi mekanik menjadi energi fluida melalui gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh impeller yang berputar. Ketika impeller berputar dengan kecepatan tertentu, fluida yang berada di dalam rongga impeller akan terdorong keluar akibat pengaruh gaya sentrifugal. Perpindahan fluida dari pusat impeller menuju bagian luar ini menyebabkan peningkatan energi kinetik dan energi tekanan fluida. Proses transformasi energi tersebut menjadikan pompa sentrifugal sangat efektif untuk aplikasi yang membutuhkan aliran kontinu dibandingkan pompa perpindahan positif.



Gambar 2.1 Gambar Teknik pompa sentrifugal



Gambar 2.2 Unit Pompa Sentrifugal di PT Unilever Oleochemical Indonesia (Dokumentasi Perusahaan, 2025)

Prinsip kerja pompa sentrifugal dapat dijelaskan melalui beberapa tahap utama. Pertama, saat impeller mulai berputar, tekanan di bagian tengah impeller atau eye of impeller menurun akibat efek kecepatan sudu-sudu yang berputar cepat. Penurunan tekanan ini menciptakan kondisi hisap yang menarik fluida masuk melalui saluran isap. Tahap ini sangat penting karena jika tekanan di eye impeller tidak lebih rendah daripada tekanan fluida di saluran masuk, maka fluida tidak akan mengalir menuju pompa.

Tahap kedua adalah proses pemberian energi pada fluida. Ketika fluida masuk ke dalam saluran di antara sudu-sudu impeller, ia akan terbawa oleh putaran impeller dan mendapatkan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal inilah yang mendorong fluida ke arah luar, yaitu dari bagian tengah impeller menuju tepi luar impeller. Akibatnya, energi kinetik fluida meningkat secara signifikan. Pada tahap ini, sebagian besar energi mekanik dari poros telah ditransfer ke fluida. Besar kecilnya energi yang diberikan pada fluida dipengaruhi oleh desain sudu impeller, kecepatan putar (rpm), serta massa jenis fluida yang dipompakan.

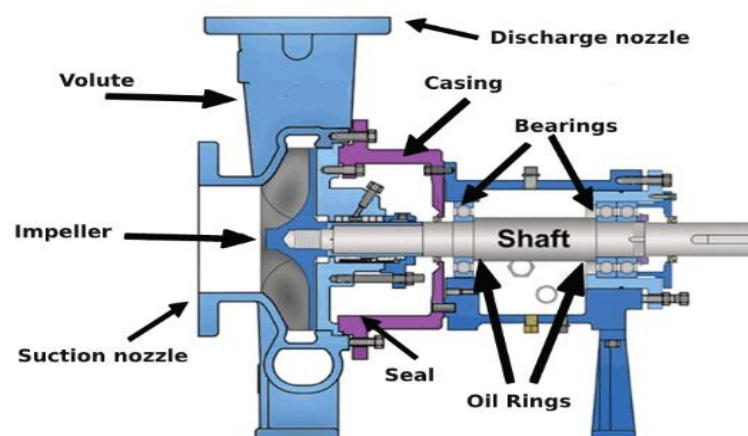
Tahap ketiga adalah transformasi energi kinetik menjadi energi tekanan. Setelah fluida meninggalkan tepi impeller, alirannya masuk ke dalam casing pompa yang berbentuk volute. Casing volute didesain untuk memperbesar area aliran secara bertahap sehingga kecepatan fluida berkurang (difusi), dan akibat berkurangnya kecepatan tersebut, energi kinetik diubah menjadi tekanan statis yang lebih tinggi. Proses konversi energi ini mengikuti hukum kekekalan energi fluida, di mana energi dinamis dapat berubah menjadi energi tekanan. Dengan demikian, prinsip kerja pompa sentrifugal merupakan kombinasi antara efek gaya sentrifugal, perubahan energi kinetik, dan desain mekanis casing yang mendukung peningkatan tekanan fluida. Efisiensi konversi energi sangat bergantung pada kondisi aliran, geometri impeller, luas volute, serta kondisi fluida yang dipompakan.

Pompa sentrifugal memiliki beberapa karakteristik penting yang menjadikannya lebih unggul dibandingkan jenis pompa lain, terutama untuk aplikasi debit besar. Salah satu keunggulan utamanya adalah kemampuannya menghasilkan aliran fluida yang stabil dan kontinyu tanpa pulsa seperti pada pompa perpindahan positif. Selain itu, konstruksi yang sederhana menyebabkan biaya perawatan lebih rendah dan umur pakai komponen yang cukup panjang. Impeller dan poros dapat dirancang untuk berbagai kondisi operasi, mulai dari fluida bersih hingga fluida dengan sedikit kandungan partikel. Namun, di balik kelebihannya, pompa sentrifugal juga menghadapi tantangan teknis dalam operasinya. Salah satu fenomena yang sering muncul adalah kavitasi, yaitu kondisi ketika tekanan pada sisi isap turun di bawah tekanan uap fluida sehingga terbentuk gelembung uap. Gelembung ini kemudian meledak (implosion) ketika memasuki area tekanan tinggi sehingga dapat merusak impeller atau poros pompa. Oleh karena itu, prinsip kerja pompa tidak dapat dipisahkan dari pertimbangan desain yang tepat mengenai tinggi isap (suction head), tekanan fluida, dan kondisi aliran yang stabil.

Selain itu, pemilihan material impeller dan poros juga merupakan bagian dari prinsip dasar pompa sentrifugal. Material harus mampu menahan gaya mekanik dari putaran impeller sekaligus tahan terhadap korosi akibat sifat fluida. Dalam banyak sistem, fluida yang dipompakan mungkin memiliki tingkat

keasaman (pH) yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan korosi yang dapat mengurangi umur pakai komponen pompa, terutama pada poros. Oleh karena itu, pemahaman mengenai prinsip kerja pompa sangat erat kaitannya dengan pemilihan material, termasuk baja karbon atau stainless steel, yang digunakan dalam penelitian ini. Terakhir, prinsip kerja pompa sentrifugal juga melibatkan aspek hidraulik yang penting seperti head total, rugi-rugi energi, debit aliran, dan efisiensi mekanik. Keseluruhan prinsip tersebut membentuk dasar operasional pompa dan sangat penting dalam menganalisis performa pompa dalam kondisi nyata. Oleh karena itu, memahami definisi dan prinsip kerja pompa sentrifugal tidak hanya relevan untuk memahami bagaimana pompa bekerja, namun juga menjadi fondasi penting dalam menganalisis pengaruh lingkungan, termasuk pengaruh pH air terhadap kinerja material poros pada pompa sentrifugal.

Efisiensi pompa didefinisikan sebagai rasio antara daya hidrolis (daya yang benar-benar diberikan ke fluida) dengan daya input (daya poros). Efisiensi ini sangat dipengaruhi oleh desain impeller, kecepatan putaran, ukuran sudu, dan geometri casing. Efisiensi rendah bisa disebabkan oleh kehilangan energi (head) akibat turbulensi, aliran terpisah (flow separation), dan gesekan di sudu serta dinding casing.



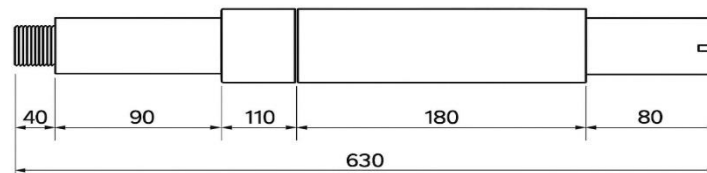
Gambar 2.3 Komponen Pompa Sentrifugal (winstonengineering.com, 2025)

Menurut Karassik et al. (2008), pompa sentrifugal terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

1. Impeller, berfungsi memberikan energi kinetik pada fluida.
2. Casing, sebagai rumah aliran fluida untuk mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan.
3. Poros (shaft), sebagai penghubung antara motor penggerak dan impeller.
4. Bearing, untuk menopang poros dan menjaga keseimbangan putaran.
5. Seal, mencegah kebocoran fluida dari dalam pompa.

2.3 Poros (*Shaft*) Pada Pompa Sentrifugal

Poros (*shaft*) pada pompa sentrifugal merupakan komponen inti yang menjadi media transmisi daya dari penggerak utama (biasanya motor listrik) menuju impeler. Karena impeler bertanggung jawab terhadap konversi energi mekanik menjadi energi fluida, maka seluruh energi yang dihasilkan motor harus melalui poros terlebih dahulu. Dengan demikian, poros dapat dikatakan sebagai “tulang punggung” sistem pemompaan.



Gambar 2.4 Gambar Teknik Poros Pompa Sentrifugal

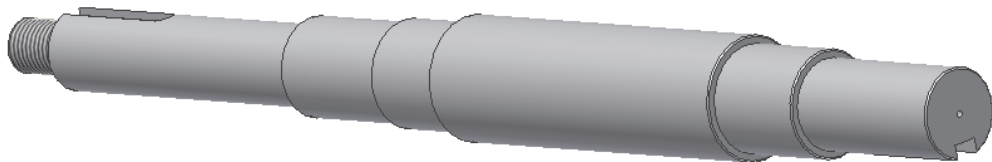
Pada sebagian besar pompa industri, putaran motor berkisar 1450–2950 rpm, sehingga poros bekerja dalam kondisi kecepatan tinggi dengan beban torsi kontinu. Kecepatan berputar yang begitu tinggi menyebabkan poros menerima beban dinamis yang tidak hanya berasal dari impeler, tetapi juga dari gaya fluida, ketidakseimbangan massa (*unbalance*), gaya radial pada saat pompa mengalami kavitasi, dan tekanan internal yang berubah-ubah. Oleh karena itu, desain poros tidak dapat dilakukan sembarangan, karena sedikit kesalahan

dalam dimensi, pemilihan material, maupun metode fabrikasi dapat berakibat pada kegagalan komponen.

Keberadaan poros juga berfungsi menjaga keselarasan (alignment) antara motor dan impeler. Misalignment sekecil apa pun dapat menimbulkan gaya tambahan berupa bending dan vibrasi yang pada akhirnya mempercepat kelelahan (fatigue). Oleh sebab itu, poros harus dirancang cukup kuat untuk menahan kombinasi gaya torsi, bending, axial load, vibrasi, dan bahkan beban tambahan akibat korosi jika bekerja di lingkungan agresif.

Hal ini menunjukkan bahwa peran poros lebih dari sekadar komponen pemutar; ia adalah elemen struktural yang menerima akumulasi stres mekanis dan kimia selama operasi. Karena itulah poros merupakan salah satu titik paling rentan mengalami kegagalan pada pompa sentrifugal.

Material poros umumnya dipilih berdasarkan ketahanan terhadap gaya puntir, beban lentur, dan kondisi korosif fluida yang dipompa. Beberapa jenis material yang sering digunakan antara lain stainless steel (AISI 304, 316), baja karbon, serta paduan perunggu atau nikel. Poros pompa biasanya diproduksi melalui proses machining dan heat treatment untuk memperoleh kekuatan mekanik dan kekerasan yang memadai.



Gambar 2.5 Poros Pompa Sentrifugal 2 (Usmust, 2011)

2.3.1 Mekanisme Gaya yang Bekerja pada Poros

Poros pompa sentrifugal menerima beberapa jenis gaya secara bersamaan, yaitu:

1. Gaya Torsional (Torsi) akibat putaran motor penggerak.

2. Gaya Lentur karena berat impeller dan gaya fluida yang bekerja secara dinamis.
3. Gaya Aksial karena perbedaan tekanan pada sisi hisap dan sisi buang impeller.

Kombinasi gaya-gaya tersebut menyebabkan tegangan gabungan (combined stress) yang dapat memicu kelelahan material (fatigue). Jika kondisi fluida bersifat korosif, maka terjadi corrosion fatigue, yaitu kegagalan material akibat kombinasi antara korosi dan beban berulang.

2.3.2 Kegagalan Poros, Mekanisme dan Faktor Penyebab

Beberapa penelitian sebelumnya sudah membahas kegagalan pada poros pompa sentrifugal. Contohnya, Munawir dan Turmizi (dalam jurnal *Jurnal Maritim Polimarin*, 2023) menemukan bahwa poros pompa transfer air mentah mengalami patah karena kelelahan. Berdasarkan analisis metalografi dan komposisi bahan, poros tersebut terbuat dari baja AISI 1020, dan poros tersebut telah beroperasi melebihi siklus kelelahan yang aman.

Kegagalan karena kelelahan seperti ini biasanya disebabkan oleh beban puntir dan pembalikan beban yang terjadi pada setiap siklus kerja pompa. Kelelahan pada poros bisa terlihat berupa retak awal di daerah yang mengalami tekanan tinggi, seperti keyseat, alur pasak, fillet, atau bagian leher poros. Jika retak awal tidak ditangani, retak tersebut bisa berkembang hingga menyebabkan patahnya poros secara total, seperti yang terjadi pada pompa Ebara tipe 56-GA 4002 A.

Selain beban mekanis, faktor korosi juga berpengaruh dalam menyebabkan kegagalan poros. Dalam analisis yang dilakukan pada pompa filter feed di instalasi pengolahan air limbah, Ichsanudin, Prabowo, dan Nasirudin (*Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*) menemukan berbagai jenis mekanisme korosi, seperti pitting, crevice, stress corrosion cracking (SCC), dan fatigue corrosion pada poros pompa serta komponen lainnya. Korosi fatigue adalah kombinasi dari beban mekanis yang berulang dan lingkungan

yang bersifat korosif. Proses kimia di area retakan mempercepat timbulnya retak kelelahan, sehingga menyebabkan umur poros berkurang secara signifikan.

Analisis kegagalan poros tidak hanya dipengaruhi oleh korosi atau kelelahan, tetapi juga oleh jenis dan kualitas material yang digunakan. Dalam skripsinya, (Prabowo, 2013) melakukan penelitian tentang fraktografi dan struktur mikro dari poros yang patah, dan menemukan bahwa pemilihan material yang tidak tepat, seperti jenis stainless steel yang mudah retak, bisa membuat poros lebih rentan patah. Kombinasi antara material yang tidak tahan karat, retakan mikroskopis yang muncul saat beroperasi, serta beban putar yang terus-menerus bisa menjadi penyebab utama kegagalan poros.

Lebih jauh, kasus premature failure poros juga dilaporkan pada sistem submersible pump oleh Pratiwi, Yudianto, dan Mataram (Journal of Mechanical Science and Engineering). Mereka menemukan bahwa kegagalan poros disebabkan oleh cacat material (material defect), dan analisis stres melalui FEA (Finite Element Analysis) menunjukkan bahwa distribusi tegangan tidak merata bisa mempercepat crack dan kegagalan. Hasil ini menegaskan bahwa selain korosi dan kelelahan, aspek kontrol kualitas material juga sangat krusial dalam perancangan poros pompa.

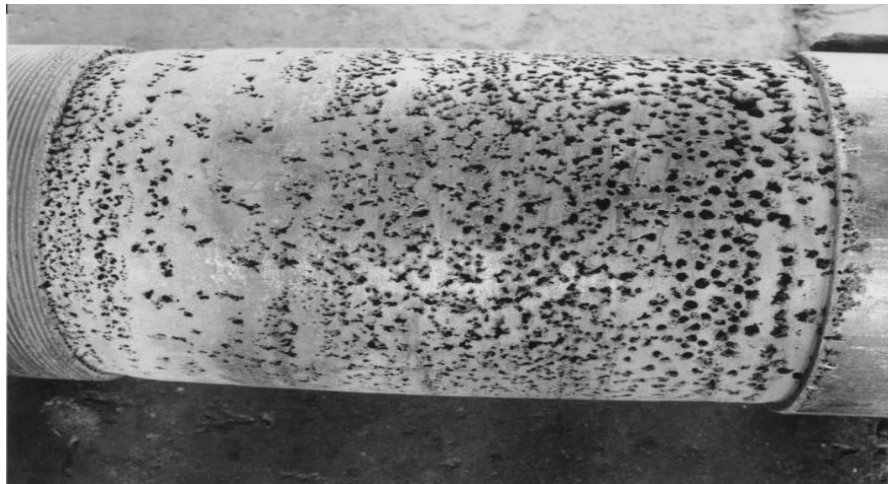
Korosi adalah salah satu penyebab utama rusaknya poros, terutama ketika pompa bekerja dalam lingkungan yang berisi fluida korosif, seperti cairan dengan pH sangat rendah atau sangat tinggi, cairan yang mengandung klorida, sulfur, atau zat kimia agresif lainnya.

2.3.3 Korosi Pada Pros Pompa

Korosi adalah proses rusaknya bahan logam karena terjadi reaksi elektrokimia dengan lingkungan sekitar. Dalam pompa sentrifugal, poros sering terkena air atau cairan yang bisa menyebabkan korosi, sehingga korosi menjadi salah satu penyebab utama kerusakan pada komponen tersebut.

Jenis korosi yang sering terjadi pada poros antara lain:

1. Korosi seragam (uniform corrosion): penipisan material secara merata.
2. Korosi celah (crevice corrosion): terjadi di area sambungan atau celah kecil seperti antara poros dan seal.
3. Korosi pitting: membentuk lubang kecil pada permukaan logam akibat pH rendah atau ion klorida.
4. Korosi galvanik: terjadi bila dua logam berbeda bersentuhan dalam lingkungan elektrolit.
5. Korosi erosi: kombinasi antara aliran fluida dan reaksi kimia, sering terjadi di area berkecepatan tinggi.



Gambar 2.6 Poros pompa dengan pitting korosi (Bernt & van Bennekom, 2002)

2.4 Pengaruh pH Air Terhadap Material Poros

Tingkat keasaman (pH) air sangat berpengaruh terhadap tingkat korosi pada material logam.

- a.) Air dengan pH rendah (asam) meningkatkan konsentrasi ion H^+ , yang mempercepat reaksi oksidasi pada permukaan logam.
- b.) Air dengan pH netral (sekitar 7) cenderung tidak terlalu korosif, terutama bila kandungan oksigen dan garam rendah.

Beberapa penelitian (Li et al., 2019; Arwati et al., 2022) menunjukkan bahwa logam stainless steel kehilangan berat lebih cepat ketika direndam dalam

air dengan pH rendah dibandingkan dengan air netral. Hal ini disebabkan terlarutnya lapisan pelindung oksida pada permukaan logam dalam kondisi asam.

Dalam pompa sentrifugal, jika fluida yang dipompa memiliki pH rendah secara terus-menerus, poros akan mengalami penurunan kekuatan mekanik karena korosi yang terjadi selama waktu lama. Penurunan ini bisa dilihat dari berkurangnya berat material (uji pengurangan berat), penurunan tingkat kekerasan, atau kemunculan retakan kecil akibat korosi yang menyebabkan kelelahan.

2.5 Karakteristik Material Poros

Poros pompa sentrifugal adalah komponen mekanik utama yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dari motor penggerak menuju impeller. Karena berperan dalam menyalurkan momen puntir (torsi) dan menahan beban aksial maupun radial, maka material poros harus memiliki kekuatan mekanik tinggi, ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance), serta tahan terhadap korosi akibat paparan langsung dengan fluida kerja.

Dalam praktik industri, material yang umum digunakan untuk poros pompa sentrifugal meliputi baja karbon dan baja tahan karat (stainless steel). Masing-masing material memiliki keunggulan dan keterbatasan tersendiri tergantung pada lingkungan kerja pompa, jenis fluida yang dipompa, serta kecepatan putaran operasi.

a) Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon adalah salah satu jenis logam yang digunakan secara luas dalam industri manufaktur dan permesinan karena sifat mekaniknya yang cukup baik dan biaya produksinya yang tidak terlalu tinggi. Dalam pembuatan pompa sentrifugal, terutama pada bagian poros atau shaft, baja karbon tetap menjadi pilihan utama dalam berbagai sistem pompa dengan skala kecil hingga menengah. Alasan utama mengapa baja karbon digunakan secara luas adalah karena kemampuannya memberikan kekuatan tarik yang cukup, tahan terhadap beban puntir, serta mudah diproses dalam beberapa teknik manufaktur seperti bubut, bor, dan las. Sifat-sifat tersebut membuat baja karbon sangat cocok

digunakan untuk komponen mesin yang berputar dengan toleransi presisi tinggi, termasuk pada poros pompa

Dalam konteks pompa, poros memiliki fungsi yang sangat penting karena menjadi bagian yang meneruskan tenaga putar dari motor atau penggerak lain menuju impeller. Oleh sebab itu, material yang digunakan harus mampu menahan gaya radial dan aksial, torsi akibat putaran impeller, serta beban siklik yang muncul ketika pompa beroperasi dalam waktu lama. Baja karbon, khususnya jenis AISI 1045 yang termasuk kategori medium carbon steel, mampu memberikan kombinasi keseimbangan antara kekuatan, kekerasan, dan keuletan. Setelah melalui perlakuan panas seperti quenching dan tempering, baja karbon dapat mencapai kekuatan tarik yang tinggi sehingga poros dapat bertahan dari pembebanan yang berulang selama proses pemompaan berlangsung.

Namun demikian, sifat baja karbon tidak hanya menunjukkan kelebihan. Dalam lingkungan fluida yang bersifat korosif, baja karbon sering dianggap kurang ideal dibandingkan stainless steel atau material paduan tinggi. Hal ini disebabkan oleh ketidakmampuannya membentuk lapisan pasif alami seperti oksida kromium pada stainless steel. Ketika baja karbon terpapar fluida dengan pH rendah atau mengandung senyawa agresif seperti ion klorida, sulfat, atau kandungan oksigen terlarut yang tinggi, struktur permukaan baja karbon akan lebih mudah mengalami reaksi elektrokimia yang berujung pada korosi.

Korosi ini dapat terjadi secara merata di seluruh permukaan (uniform corrosion) ataupun secara lokal seperti pitting dan crevice corrosion yang cenderung lebih berbahaya karena menimbulkan titik konsentrasi tegangan yang memicu inisiasi retak. Pada poros pompa, pitting sering muncul di area yang berdekatan dengan mechanical seal, terutama karena daerah tersebut sering terpapar percikan fluida dan memiliki kondisi celah yang memungkinkan terjadinya sirkulasi oksigen yang terbatas.



Gambar 2.7 Batangan Baja Karbon (Endura Steel, 2023)

Menurut Li et al. (2019) dalam jurnal RSC Advances, laju korosi baja karbon meningkat signifikan pada pH di bawah 6 karena lapisan oksida pelindung tidak stabil dalam kondisi asam, sehingga ion H^+ mempercepat reaksi oksidasi logam ($Fe \rightarrow Fe^{2+}$). Oleh karena itu, penggunaan baja karbon umumnya dibatasi untuk fluida netral atau sedikit basa, dan sering memerlukan coating atau pelapis permukaan.

b) Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Stainless steel merupakan material paling populer untuk poros pompa yang beroperasi di lingkungan basah, kimiawi, atau korosif. Stainless steel mengandung kromium $\geq 12\%$ yang membentuk lapisan oksida pasif (Cr_2O_3) di permukaan logam sehingga mencegah reaksi korosi lebih lanjut.

Stainless steel memperoleh ketahanan korosinya dari kandungan kromium dalam komposisinya, yang umumnya berkisar antara 12% hingga 18% atau lebih. Kromium bereaksi dengan oksigen untuk membentuk lapisan oksida tipis yang bersifat pasif, stabil, dan melindungi permukaan logam dari reaksi degradasi lebih lanjut. Lapisan pasif ini bersifat “self-healing,” artinya apabila terjadi goresan atau kerusakan kecil pada permukaannya, lapisan tersebut dapat terbentuk kembali secara otomatis selama masih terdapat oksigen di lingkungan kerja. Inilah yang membedakan stainless steel dengan baja karbon, yang tidak mampu membentuk lapisan pelindung alami dan karenanya lebih rentan terhadap korosi umum maupun lokal.

Dalam konstruksi pompa sentrifugal, stainless steel terutama digunakan pada lingkungan fluida yang memiliki tingkat keasaman atau kebasaan

ekstrem, mengandung bahan kimia korosif, atau memiliki kandungan ion klorida yang tinggi seperti air laut, limbah industri, air proses kimia, serta berbagai fluida agresif lainnya. Penggunaan stainless steel pada poros pompa sangat penting karena poros merupakan elemen dinamis yang menerima gaya putar, gaya aksial, gaya radial, serta beban siklik akibat kondisi operasi pompa. Pada lokasi-lokasi kritis seperti area dekat mechanical seal, shoulder poros, dan keyway, stainless steel memberikan ketahanan yang jauh lebih baik terhadap pitting corrosion dibandingkan baja karbon.

Faktor lain yang menyebabkan stainless steel menjadi pilihan ideal untuk pompa adalah kemampuannya mempertahankan sifat mekanik pada temperatur tinggi. Pada beberapa aplikasi seperti industri minyak dan gas, fluida geothermal, atau minyak panas (hot oil), stainless steel mampu mempertahankan kekuatannya pada temperatur yang tidak dapat ditoleransi oleh baja karbon. Lapisan pasif stainless steel juga tetap stabil pada temperatur tinggi, sehingga ketahanan korosinya tidak menurun secara signifikan. Hal ini sangat penting karena kombinasi temperatur tinggi, tekanan tinggi, dan fluida agresif dapat mempercepat kerusakan material lainnya dalam waktu singkat.

Jenis stainless steel yang umum digunakan pada poros pompa sentrifugal meliputi:

- a.) AISI 304: tahan terhadap korosi atmosfer dan air netral, namun kurang tahan terhadap larutan yang mengandung klorida.
- b.) AISI 316 / 316L: memiliki tambahan unsur molibdenum (Mo) yang meningkatkan ketahanan terhadap pitting corrosion dan crevice corrosion, terutama pada lingkungan air laut atau air asam lemah.
- c.) Martensitic stainless steel (2Cr13, 3Cr13): memiliki kekerasan tinggi dan ketahanan aus yang baik, cocok untuk pompa berkecepatan tinggi namun ketahanan korosinya lebih rendah dibanding tipe austenitik.

Berdasarkan Ariwibowo et al. (2019) dalam *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, poros pompa air berbahan stainless steel 304 mengalami korosi pitting pada area dekat impeller karena kontak langsung dengan fluida yang mengandung ion Cl^- . Studi tersebut merekomendasikan penggunaan

AISI 316 sebagai alternatif karena menunjukkan ketahanan korosi lebih tinggi tanpa mengorbankan kekuatan mekanik secara signifikan.



Gambar 2.8 Batangan Stainless steel (Niko Steel Centre, 2025)