



BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Sejarah Pompa

Pada awalnya, penggunaan mesin pompa telah menjadi bagian integral dari perkembangan peradaban manusia sejak zaman kuno. Sejarah pompa dimulai dengan pompa tangan yang digunakan untuk mengangkut air dari sumur atau sumber air lainnya. Bangsa Mesir, Yunani, dan Romawi telah mengembangkan pompa air yang lebih kompleks dengan menggunakan teknologi berat dan rodanya. Salah satu inovasi yang paling terkenal adalah pompa Archimedes yang dikembangkan oleh ilmuwan Yunani, Archimedes. Pompa ini menggunakan prinsip sekrup untuk mengangkut air dan masih digunakan hingga saat ini dalam bentuk yang dimodifikasi. (Usher, 1929)

Selama masa Revolusi Industri di abad ke-18 dan ke-19, terjadi kemajuan besar dalam teknologi pompa. Pompa uap dikembangkan untuk menggerakkan mesin-mesin besar, sementara pompa piston mulai digunakan secara luas dalam industri dan pertambangan. Inovasi-inovasi tersebut memungkinkan penggunaan air secara lebih efisien dalam berbagai aplikasi industri dan perkotaan, mengarah pada pertumbuhan ekonomi yang pesat pada saat itu.

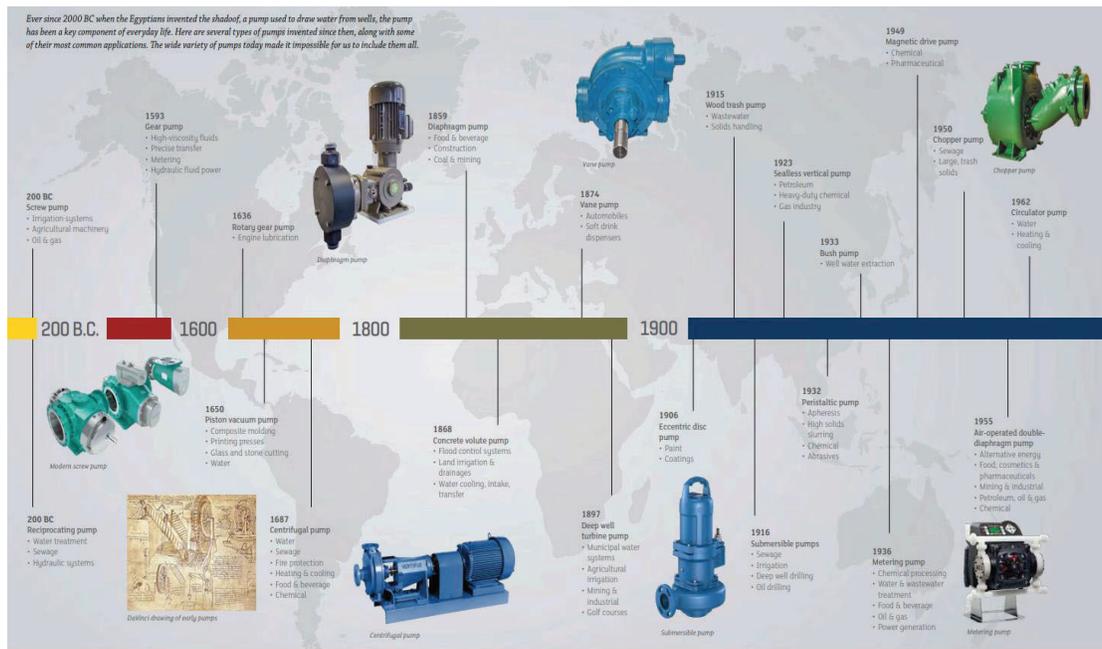
Selain pompa uap dan piston, pengembangan pompa listrik oleh Nikola Tesla pada akhir abad ke-19 membawa revolusi baru dalam dunia pompa. Pompa listrik menjadi lebih efisien, lebih kuat, dan lebih mudah dioperasikan, yang membuka jalan bagi aplikasi pompa yang lebih luas di berbagai industri, termasuk pertanian, pengolahan air, dan industri kimia. Inovasi terus berlanjut hingga saat ini dengan pengembangan pompa modern seperti pompa sentrifugal, pompa *submersible*, dan pompa tekanan tinggi yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi modern. (Usher, 1929)

Seiring berjalannya waktu, pompa-pompa modern terus mengalami perkembangan dan inovasi yang signifikan. Misalnya, pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa yang sangat penting dalam industri modern.

Pompa ini bekerja dengan prinsip pusaran berputar untuk mengangkat fluida, dan telah menjadi salah satu pilihan utama dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pemompaan air, pemompaan bahan kimia, pemompaan minyak dan gas, dan lain sebagainya. (Usher, 1929)

Selain itu, pompa *submersible* juga merupakan inovasi yang signifikan dalam industri pemompaan. Pompa ini dirancang untuk beroperasi di bawah permukaan air dan sering digunakan dalam aplikasi seperti pengeringan tambang, drainase banjir, dan instalasi sumur dalam. Kemampuan pompa *submersible* untuk beroperasi di lingkungan yang sulit dijangkau membuatnya sangat berguna dalam berbagai industri dan infrastruktur. (Usher, 1929)

Dalam konteks lingkungan, perkembangan pompa-pompa ramah lingkungan juga menjadi fokus utama. Pompa-pompa yang lebih efisien energi, menggunakan bahan-bahan ramah lingkungan, dan memiliki umur pakai yang lebih panjang telah menjadi fokus penting dalam upaya untuk mengurangi dampak negatif industri terhadap lingkungan. (Usher, 1929)



Gambar 3.1 Sejarah Pompa
(Sumber: pumpsandsystems.com)



3.2 Perbedaan Kompresor dan Pompa

Kompresor dan pompa keduanya adalah mesin yang digunakan untuk memindahkan fluida, namun keduanya memiliki perbedaan pada cara kerja dan aplikasi penggunaannya. Kompresor adalah mesin yang digunakan untuk memampatkan gas atau udara dari tekanan rendah menjadi tekanan tinggi, dengan cara menekan volume gas tersebut. Kompresor bekerja dengan cara menarik udara atau gas melalui satu atau beberapa *inlet*, dan kemudian menekan dan memampatkannya melalui satu atau beberapa *outlet*, sehingga menghasilkan tekanan yang lebih tinggi. Kompresor umumnya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan tekanan udara atau gas yang tinggi, seperti pada industri pembangkit listrik, pembuatan petrokimia, pengolahan gas alam, dan lain sebagainya (Cengel, 2018).

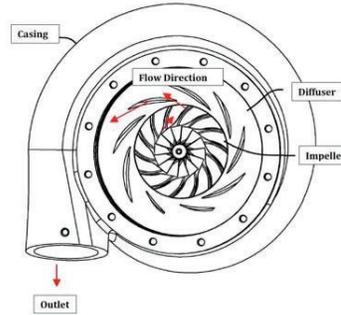
Sementara itu, pompa adalah mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara menekan volume cairan tersebut. Pompa bekerja dengan cara menarik cairan melalui *inlet* dan kemudian menekan dan memindahkannya melalui *outlet*. Pompa umumnya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan perpindahan cairan, seperti pada industri kimia, industri makanan dan minuman, serta distribusi air dan limbah (Cengel, 2018).

Perbedaan utama antara kompresor dan pompa adalah jenis fluida yang mereka pindahkan. Kompresor memampatkan gas atau udara, sedangkan pompa memindahkan cairan. Selain itu, kompresor umumnya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan tekanan tinggi, sedangkan pompa digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan perpindahan cairan. Teknologi dan desain kedua mesin juga berbeda, tergantung pada jenis fluida yang dioperasikan dan aplikasi penggunaannya (Cengel, 2018).

3.3 Pengertian dan Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah jenis pompa yang bekerja berdasarkan prinsip sentrifugal, yaitu dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran *impeller* untuk mengalirkan fluida. Prinsip kerja pompa sentrifugal diawali dengan fluida dimasukkan melalui pipa masuk (*inlet*) ke dalam ruang

impeller di mana *impeller* berputar dengan kecepatan tinggi dan menghasilkan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal ini membuat fluida terpaksa bergerak ke arah tepi *impeller* dan ke dalam ruang *spiral casing* (rumah pompa). Di dalam *spiral casing*, fluida dipaksa berubah arah secara tajam dan diteruskan ke pipa keluaran (*outlet*) dengan tekanan yang lebih tinggi (Siregar, 2019).



Gambar 3.2 Basic Centrifugal Air Compressor

(Sumber: aeroengineering.co.id)

3.4 Bagian-bagian Utama Pompa Sentrifugal

Setiap pompa sentrifugal terdiri dari ratusan bagian. Ada beberapa komponen yang hampir setiap pompa sentrifugal memiliki kesamaan. Komponen-komponen ini dapat dibagi menjadi bagian basah dan bagian mekanik. Bagian basah dari pompa mencakup bagian-bagian yang menentukan kinerja hidrolis pompa. Dua bagian basah utama adalah *impeller* dan *casing*. Dalam beberapa kasus, bantalan radial pertama dapat dilumasi air. Dalam hal ini, bantalan juga dapat termasuk dalam bagian basah. Bagian mekanik mencakup bagian-bagian yang mendukung *impeller* di dalam *casing*. Bagian mekanik pompa mencakup poros pompa, penyegelan, bantalan, dan pelindung poros.

Berikut ini adalah penjelasan mengenai bagian-bagian utama pada pompa sentrifugal (Neeser, 2006):

1. *Impeller* (roda baling-baling)

Impeller adalah bagian utama dari pompa sentrifugal yang berfungsi untuk mengalirkan dan memompa fluida. *Impeller* terdiri dari bilah-bilah yang terhubung dengan poros dan berputar di dalam *casing* (rumah pompa). Bilah-bilah *impeller* biasanya dirancang khusus dengan sudut dan



ukuran tertentu untuk menghasilkan tekanan dan aliran fluida yang diinginkan (Neeser, 2006).

2. *Casing* (rumah pompa)

Casing adalah bagian tubuh pompa yang menampung impeller dan fluida yang dipompa. Casing terdiri dari bagian inlet (pipa masuk), spiral casing (casing spiral), dan bagian outlet (pipa keluar). Bentuk dan ukuran casing dapat berbeda-beda tergantung pada jenis dan aplikasi pompa sentrifugal yang digunakan (Neeser, 2006).

3. *Shaft* (poros)

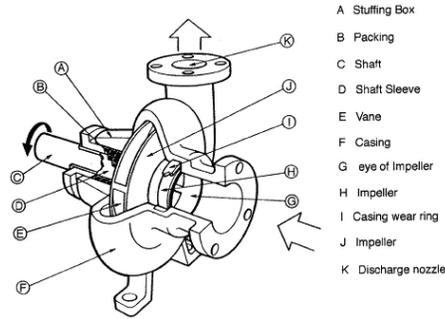
Shaft atau poros adalah bagian pompa yang menghubungkan impeller dengan motor penggerak. Poros terbuat dari bahan yang tahan aus dan korosi dan memiliki diameter yang cukup besar agar dapat menahan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran impeller (Neeser, 2006).

4. *Shaft Sealing*

Penyegelan poros atau *shaft sealing* adalah proses yang penting dalam pompa sentrifugal untuk mencegah kebocoran fluida yang dipompa. Biasanya, pompa sentrifugal dilengkapi dengan sistem penyegelan poros yang terdiri dari packing rings atau *mechanical seal*. *Packing rings* terbuat dari bahan tertentu yang ditempatkan di sekitar poros untuk mencegah cairan keluar dari pompa. Sementara itu, *mechanical seal* menggunakan kombinasi dari elemen mekanis yang lebih canggih untuk menciptakan penyegelan yang lebih kuat dan tahan lama.

5. *Bearing* (bantalan)

Bearing atau bantalan adalah komponen pompa yang berfungsi untuk menyangga poros dan mengurangi gesekan antara poros dan housing. Ada beberapa jenis bearing yang digunakan pada pompa sentrifugal, seperti sleeve bearing, rolling element bearing, dan magnetic bearing (Neeser, 2006).



Gambar 3.3 Main Parts of a Centrifugal Pump

(Sumber: nuclear-power.com)

Setiap bagian utama pompa sentrifugal memiliki peran yang penting dalam menghasilkan aliran fluida yang stabil dan konsisten. Bagian-bagian tersebut juga harus dirawat dengan baik agar pompa dapat beroperasi secara efisien dan mempunyai masa pakai yang lama.

3.5 Kavitasasi

Kavitasi adalah kondisi di mana tekanan pada fluida turun di bawah tekanan uapnya sehingga menyebabkan gelembung udara terbentuk di dalam fluida. Kondisi ini dapat terjadi pada pompa sentrifugal ketika tekanan pada fluida yang dipompa turun di bawah tekanan uapnya, yang dapat terjadi karena beberapa hal, seperti penurunan level fluida, penyumbatan pipa masuk, atau peningkatan suhu fluida (Neeser, 2006).

Kondisi kavitasi dapat menyebabkan kerusakan pada *impeller* dan *casing*, serta menurunkan efisiensi pompa. Hal ini terjadi karena gelembung udara yang terbentuk akan mengalami deformasi dan implodi ketika mencapai daerah dengan tekanan yang lebih tinggi, sehingga menyebabkan benturan dan suara bising yang dapat merusak permukaan *impeller* dan *casing* (Neeser, 2006).

Untuk menghindari kavitasi pada pompa sentrifugal, perlu dilakukan beberapa langkah pencegahan, seperti memastikan pipa masuk tidak tersumbat dan memperhatikan level fluida yang terpompa. Selain itu, dapat dilakukan juga dengan mengurangi kecepatan putaran pompa atau memperbesar diameter pipa masuk untuk mengurangi tekanan pada fluida (Neeser, 2006).



3.6 NPSH (*Net Positive Suction Head*)

NPSH (*Net Positive Suction Head*) adalah suatu nilai yang digunakan untuk menilai kemampuan pompa sentrifugal dalam menarik fluida dari reservoir atau tangki penyimpanan melalui pipa masuk (*suction pipe*). NPSH dinyatakan dalam satuan tekanan (biasanya dalam meter atau feet kolom air) dan merupakan selisih antara tekanan absolut fluida di titik inlet pompa (P1) dengan tekanan uap jenuh fluida pada suhu operasi (Ps) (Karassik, 2011).

NPSH yang rendah pada pompa sentrifugal dapat menyebabkan terjadinya kavitasi pada pompa, karena fluida tidak dapat dipompa dengan sempurna dan terbentuklah gelembung udara pada impeller. Kavitasi dapat merusak permukaan impeller dan casing, serta menurunkan efisiensi pompa. Oleh karena itu, perlu diperhatikan nilai NPSH yang dibutuhkan oleh pompa dalam spesifikasi pompa dan dalam perencanaan sistem pipa (Karassik, 2011).

Ada dua jenis NPSH pada pompa sentrifugal, yaitu NPSHa (*NPSH available*) dan NPSHr (*NPSH required*). NPSHa adalah NPSH yang tersedia pada sistem pipa masuk, sedangkan NPSHr adalah NPSH yang dibutuhkan oleh pompa untuk beroperasi dengan efisien dan menghindari kavitasi. NPSHr biasanya tercantum dalam spesifikasi pompa dan bergantung pada jenis pompa, kecepatan putaran, dan diameter impeller (Karassik, 2011).

3.7 Jenis-Jenis Impeller dalam Pompa Sentrifugal

Desain impeller merupakan faktor paling signifikan dalam menentukan kinerja pompa sentrifugal. Sebuah impeller yang dirancang dengan baik mengoptimalkan aliran sementara meminimalkan turbulensi dan meningkatkan efisiensi. Impeller dari pompa sentrifugal dapat berupa tiga jenis dasar: (Karassik, 2012)

1. Impeller terbuka.

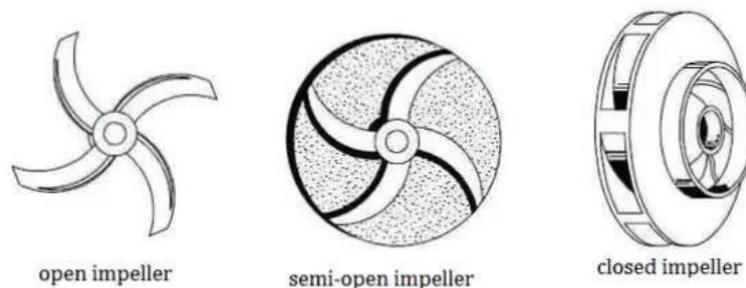
Impeller terbuka memiliki sudut-sudut bebas di kedua sisi. Impeller terbuka strukturalnya lemah. Umumnya digunakan dalam pompa-pompa berdiameter kecil dan murah serta pompa-pompa yang menangani zat padat terlarut.

2. Impeller semi-terbuka.

Sudut-sudutnya bebas di satu sisi dan tertutup di sisi lain. Tutupnya menambah kekuatan mekanis. Mereka juga menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan impeller terbuka. Impeller semi-terbuka dapat digunakan dalam pompa-pompa berdiameter menengah dan cairan dengan sedikit zat padat terlarut. Karena minim sirkulasi ulang dan kerugian lainnya, sangat penting adanya celah kecil antara sudut-sudut impeller dan casing.

3. Impeller tertutup.

Sudut-sudutnya terletak di antara dua cakram, semuanya dalam satu coran tunggal. Mereka digunakan dalam pompa-pompa besar dengan efisiensi tinggi dan kebutuhan *Net Positive Suction Head* rendah. Pompa sentrifugal dengan impeller tertutup adalah pompa-pompa yang paling banyak digunakan yang menangani cairan bening. Mereka mengandalkan cincin aus dengan celah yang rapat di antara sudut-sudut impeller dan casing pompa. Impeller tertutup adalah desain yang lebih rumit dan mahal karena impeller, namun memerlukan tambahan cincin aus.



Gambar 3.4 Jenis-Jenis Impeller dalam Pompa Sentrifugal

(Sumber: nuclear-power.com)

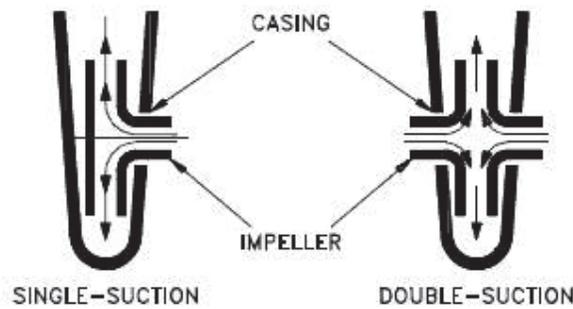
Blade impeller dapat berupa:

1. Desain sudut belakang melengkung ke belakang (desain yang lebih disukai karena kurva kinerja yang negatif)
2. Desain sudut radial

3. Desain sudut belakang melengkung ke depan (karena kondisi kurva yang positif, desain ini dapat menyebabkan lonjakan pompa)

Impeller bisa menjadi:

1. Single-suction. Impeller single-suction memungkinkan cairan masuk ke pusat sudut-sudut hanya dari satu arah.
2. Double-suction. Impeller double-suction memungkinkan cairan masuk ke pusat sudut-sudut impeller dari kedua sisi secara bersamaan. Hal ini mengurangi gaya yang diberikan pada poros.



Gambar 3.5 *Single Suction & Double-Suction*

(Sumber: nuclear-power.com)

3.8 Seal

Seal adalah komponen penting pada pompa yang berfungsi sebagai penghalang keluar atau masuknya fluida, termasuk fluida proses dan pelumas. *Seal* memiliki dua jenis utama, yaitu *seal* statis dan *seal* dinamis. *Seal* statis tidak melibatkan gerakan atau pertemuan antara permukaan yang akan disegel, contohnya *gasket* dan *O-ring*. Sementara itu, *seal* dinamis melibatkan permukaan yang bergerak relatif satu sama lain, seperti pada poros yang berputar pada pompa sentrifugal. (Karassik, 2012)

Seal dinamis umumnya terbuat dari bahan yang lebih lunak, seperti kombinasi karbon versus silikon karbida, karbon versus keramik, karbon versus tungsten karbida, silikon karbida versus silikon karbida, dan silikon karbida versus tungsten karbida. *Seal* ini memiliki dua *sealfaces* yang halus dan rata, di mana satu *sealfaces* berputar mengikuti putaran shaft sementara yang lainnya diam menancap pada *Glandplate*. (Karassik, 2012)

Perbedaan material antara *stationary sealface* dan *rotating sealface* bertujuan untuk mencegah adhesi antara keduanya. *Sealfaces* yang lebih lunak biasanya memiliki wear-nose yang lebih kecil, yang mengalami aus akibat gesekan. Hal ini penting untuk meminimalkan kebocoran dan menjaga kinerja dan keandalan pompa. (Karassik, 2012)

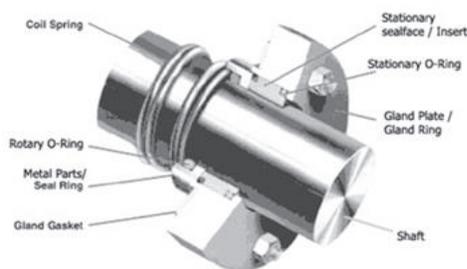
3.8.1 Mechanical Seal

Mechanical Seal adalah suatu komponen dalam sebuah konstruksi pompa yang berfungsi sebagai penghalang atau pengeblok keluar masuknya cairan, baik itu fluida proses maupun pelumas. (Karassik, 2012)



Gambar 3.6 *Mechanical Seal*

(Sumber: leakpack.com)



Gambar 3.7 Bagian-Bagian *Mechanical Seal*

(Sumber: librafluid.com)

Mechanical Seal terdiri dari beberapa komponen penting, termasuk dua buah *sealface* yang dapat aus, di mana satu diam dan satunya berputar, membentuk titik sealing primer. Selain itu, terdapat satu atau lebih *o-*

ring/wedge yang berfungsi sebagai titik sealing sekunder. Seluruh komponen ini ditekan bersama oleh alat pembeban mekanis, yang memastikan bahwa *sealface* saling berdekatan dan membentuk segel yang rapat. Selain komponen utama ini, ada juga asesoris logam lainnya yang diperlukan untuk melengkapi rangkaian *Mechanical Seal* secara keseluruhan. (Karassik, 2012)

3.8.2 Tipe *Mechanical Seal*

1. *Mechanical Seal I*

Mechanical Seal berdasarkan pemasangan



Gambar 3.8 *Mechanical Seal II*

(Sumber: rictaseal.com)

2. *Mechanical Seal II*

Mechanical Seal berdasarkan bebas tidaknya Gaya Tekan pada *Contact Face*



Gambar 3.9 *Mechanical Seal II*

(Sumber: rictaseal.com)

3. *Mechanical Seal III*

Mechanical Seal berdasarkan besar kecilnya *area contact face* yang mengalami penekanan.



Gambar 3.10 *Mechanical Seal III*

(Sumber: rictaseal.com)

4. *Mechanical Seal IV*

Mechanical Seal berdasarkan jumlah *Basic Mechanical Seal* dalam satu rangkaian.



Gambar 3.11 *Mechanical Seal IV*

(Sumber: rictaseal.com)

3.9 Perbedaan *Mechanical Seal* dan *Gland Packing*

Mechanical seal merupakan sistem *centrifugal pumps* yang kini banyak digunakan pada pompa-pompa modern karena memiliki banyak kelebihan. Salah satu kelebihannya adalah mudah dalam perawatan bahkan hampir *zero maintenance*. *Mechanical seal* memiliki dua komponen utama yaitu komponen berputar dan komponen stasioner. Kedua komponen sistem pompa *centrifugal* ini juga dapat saling bekerja dengan baik. Penggunaan *mechanical seal system* memang dapat meminimalisir terjadinya kebocoran fluida. (Karassik, 2012)

Jika dibandingkan dengan *gland packing*, *mechanical seal* dapat bekerja dengan optimal menggunakan tenaga/ energi secukupnya. Artinya, *mechanical*



seal lebih hemat energi dibandingkan dengan *gland packing*. Kelebihan yang dimiliki oleh *mechanical seal* membuatnya lebih sering digunakan atau diaplikasikan dalam berbagai bidang, baik itu komersial, industri, atau bidang lainnya. (Karassik, 2012)

Selain *mechanical seal*, jenis sistem lainnya dari pompa *centrifugal* adalah *gland packing*. *Gland packing* memiliki desain komponen yang lebih sederhana daripada *mechanical seal* dan sering digunakan pada pompa konvensional. *Gland packing* memiliki komponen utama berupa *gland* atau *packing* yang merupakan titik temu antara sisi *casing* pompa dengan poros pompanya. Komponen ini ditahan oleh *gland follower* yang dapat diatur untuk memberikan tekanan tertentu terhadap *packing/ gland*. (Karassik, 2012)

Tekanan yang diberikan tentu saja dapat diatur menggunakan *gland bolts*. Semakin besar tekanan, maka kebocoran fluida pun akan semakin sedikit atau dapat diminimalisir. Namun, hal tersebut membuat temperatur meningkat. Oleh karena itu, *gland packing* perlu dilengkapi dengan sistem pendingin. *Gland packing* dapat bekerja tahan lama atau awet dengan perawatan yang rutin dan berkelanjutan. Jika dibandingkan dengan *mechanical seal*, *gland packing* membutuhkan perawatan yang lebih intens. Jika tidak dirawat dengan baik, maka *gland packing* mudah mengalami kebocoran yang tentu saja dapat menimbulkan kerugian. Penggunaan energi untuk kinerja *gland packing* cukup besar terutama ketika terjadi kebocoran fluida. Hal tersebut tentu saja bisa menjadi salah satu faktor yang memicu naiknya biaya operasional. (Karassik, 2012)

Masalah lainnya yang sering dialami oleh *gland packing* adalah masalah korosi. Hal ini disebabkan karena adanya cairan abrasi. Jika tidak segera diatasi atau diperbaiki, maka masalah tersebut bisa membuat umur penggunaan *gland packing* lebih pendek. Artinya, *gland packing* cenderung kurang awet dan tahan lama jika dibandingkan dengan *mechanical seal*. Terdapat beberapa bidang skala kecil yang masih menggunakan *gland packing* konvensional. Namun, kini semakin jarang aplikasi *gland packing* yang dapat ditemukan. Hal ini karena adanya *mechanical seal* yang cenderung memiliki lebih banyak kelebihan. (Karassik, 2012)



Gambar 3.12 *Gland Packing*

(Sumber: leakpack.com)

Dari pembahasan yang diatas, dapatlah dibuat tabel seperti berikut ini agar dapat melihat perbandingannya secara menyeluruh.

Tabel 3.1 Perbandingan *Mechanical Seal* vs *Gland Packing*

Deskripsi	<i>Mechanical Seal</i>	<i>Gland Packing</i>
Waktu Pemasangan	Waktu pemasangan tinggi, karena pompa harus dikeluarkan dari operasi dan dibongkar	Waktu pemasangan <i>packing gland</i> sangat sedikit jika dibandingkan dengan <i>mechanical seal</i>
Biaya Modal	Sangat tinggi.	Sangat murah jika dibandingkan dengan <i>mechanical seal</i>
Biaya Cadangan	Cadangan harus tetap di <i>maintain</i> . Biaya suku cadang tinggi	<i>Spare</i> tidak berlaku
Kebutuhan <i>Skill</i>	Tenaga kerja terampil diperlukan untuk instalasi, pengangkatan, dan perakitan mekanis	Pelatihan minimal sudah cukup untuk instalasi dan pengangkatan <i>packing gland</i> .
Tingkat Kebocoran	Kebocoran sangat minimal	Kebocoran akan tinggi
<i>Product Loss</i>	Sangat minimal	Kehilangan produksi besar jika dibandingkan dengan <i>mechanical seal</i>
Konsumsi Daya	Konsumsi daya sangat sedikit.	Konsumsi daya sangat tinggi.



3.10 Maintenance

Maintenance adalah suatu proses yang sangat penting dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang teknik dan manufaktur. Tujuan utama dari *maintenance* adalah untuk memastikan bahwa peralatan, mesin, atau sistem tetap beroperasi dengan optimal dan efisien selama jangka waktu yang panjang. *Maintenance* bertanggung jawab untuk menjaga agar mesin-mesin produksi dapat berfungsi dengan baik tanpa terganggu oleh kerusakan atau masalah teknis lainnya. (Palmer, 2019)

Terdapat beberapa jenis *maintenance* yang umumnya digunakan, di antaranya adalah *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, *predictive maintenance*, dan *proactive maintenance*. *Preventive maintenance* dilakukan secara berkala untuk mencegah terjadinya kerusakan atau kegagalan pada peralatan dengan melakukan pemeriksaan, perawatan, dan penggantian komponen yang sudah termakan usia. Sedangkan *corrective maintenance* dilakukan setelah terjadi kegagalan atau kerusakan untuk memperbaiki dan mengembalikan fungsi peralatan seperti semula. (Palmer, 2019)

Predictive maintenance menggunakan data dan analisis untuk memprediksi kapan suatu peralatan akan mengalami kerusakan atau kegagalan sehingga perawatan dapat dilakukan sebelum terjadi masalah yang lebih serius. Sementara *proactive maintenance* berfokus pada identifikasi dan penanganan masalah sejak dini agar tidak berkembang menjadi masalah yang lebih besar. (Palmer, 2019)

Selain itu, *maintenance* juga melibatkan perencanaan yang matang, pengelolaan inventaris suku cadang, pelatihan untuk petugas *maintenance*, serta penggunaan teknologi seperti sistem pemantauan otomatis untuk mendukung efektivitas dan efisiensi proses *maintenance*. Dengan menjaga peralatan dan sistem dalam kondisi optimal, *maintenance* membantu meningkatkan produktivitas, mengurangi *downtime*, dan memperpanjang umur pakai peralatan, yang pada akhirnya berkontribusi pada keberhasilan operasional dan finansial suatu perusahaan. (Palmer, 2019)