Optimization of Linear bearing Motion System with Wiper and Guard Planning on Automatic Sprayer Machine

Optimasi Sistem Gerak Linear bearing Block dengan Perancangan Wiper dan Pelindung pada Mesin Automatic Sprayer Paint

Rendika Dwi Kusuma Putra[1], Edi Widodo[2]

[1, 2] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Email Penulis Korespondensi: rennclair@gmail.com , ediwidodo@umsida.ac.id

Abstract. *General Background Automated industrial manufacturing relies heavily on precise linear motion systems to maintain consistent production quality. Specific Background Automatic sprayer paint machines frequently experience mechanical jamming because paint overspray contaminates the ball tracks of linear bearings. Knowledge Gap Existing maintenance methods often lack integrated mechanical protection mechanisms like wipers and protective shields specifically designed to prevent sticky paint accumulation inside linear bearing blocks. Aims This study examines the optimization of linear bearing motion systems through the planning and design of wipers and protective shields as mechanical preventive solutions. Results Conceptual evaluations indicate that implementing wipers and deflector shields effectively prevents paint particle infiltration, minimizes friction, and sustains smooth mechanical movement. Novelty A customized mechanical wiper and shield integration model structured specifically to protect linear motion blocks in automatic painting environments. Implications Applying structured mechanical protection strategies significantly reduces unplanned machine downtime, lowers maintenance frequencies, and extends the operational lifespan of industrial linear bearings.*

Keywords *Linear Bearing, Wiper, Bearing Protector, Automaticsprayer Paint, Motion System Optimization*

Abstrak Latar Belakang Umum Manufaktur industri otomatis sangat bergantung pada sistem gerak linier yang presisi untuk mempertahankan kualitas produksi yang konsisten. Latar Belakang Spesifik Mesin semprot cat otomatis sering mengalami kemacetan mekanis karena semprotan cat berlebih mencemari jalur bola bantalan linier. Kesenjangan Pengetahuan Metode perawatan yang ada seringkali kurang memiliki mekanisme perlindungan mekanis terintegrasi seperti penyeka dan pelindung yang dirancang khusus untuk mencegah penumpukan cat lengket di dalam blok bantalan linier. Tujuan Studi ini meneliti optimasi sistem gerak bantalan linier melalui perencanaan dan desain penyeka dan pelindung sebagai solusi pencegahan mekanis. Hasil Evaluasi konseptual menunjukkan bahwa penerapan penyeka dan pelindung deflektor secara efektif mencegah infiltrasi partikel cat, meminimalkan gesekan, dan mempertahankan gerakan mekanis yang halus. Kebaruan Model integrasi penyeka dan pelindung mekanis yang disesuaikan dan terstruktur khusus untuk melindungi blok gerak linier di lingkungan pengecatan otomatis. Implikasi Penerapan strategi perlindungan mekanis terstruktur secara signifikan mengurangi waktu henti mesin yang tidak direncanakan, menurunkan frekuensi perawatan, dan memperpanjang umur operasional bantalan linier industri.

Kata Kunci Bantalan Linier, Penyeka, Pelindung Bantalan, Mesin Semprot Cat Otomatis, Optimasi Sistem Gerak

I. PENDAHULUAN

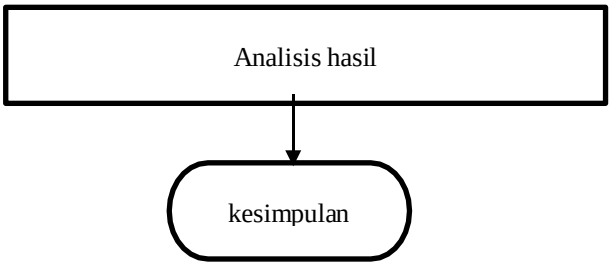
Proses pengecatan otomatis pada industri manufaktur membutuhkan sistem mekanik yang mampu bekerja secara presisi, stabil, dan tahan terhadap lingkungan produksi yang penuh kontaminan. Salah satu mesin yang digunakan untuk mendukung proses tersebut adalah *automaticsprayer paint*, yang berfungsi untuk melakukan penyemprotan cat secara konsisten pada permukaan material. Pada mesin ini, *linear bearing* merupakan komponen utama yang mengatur kelancaran pergerakan *sprayer*. *Linear bearing* dipilih karena karakteristiknya yang mampu menghasilkan gerakan *linear* dengan gesekan rendah dan akurasi tinggi. Namun, pada lingkungan pengecatan, komponen ini sangat rentan terhadap paparan *overspray*, debu, maupun partikel cat yang dapat masuk ke dalam jalur bola *bearing* [1]. Penelitian terdahulu telah membahas berbagai metode untuk meningkatkan keandalan sistem gerak *linear*, seperti penggunaan *sealed bearing*, penambahan *grease*, serta penerapan sistem penutup (*cover*) pada rel. Beberapa studi menunjukkan bahwa kontaminasi merupakan penyebab utama penurunan kinerja *linear bearing* pada industri dengan lingkungan berat. Namun, sebagian besar penelitian lebih berfokus pada perlindungan rel atau *slider*, bukan pada bagian *bearing* itu sendiri. Selain itu, solusi yang dibahas pada penelitian sebelumnya cenderung belum mempertimbangkan kondisi spesifik pada mesin

automaticsprayer paint, di mana partikel cat bersifat lengket dan dapat mengering di dalam jalur *bearing* sehingga menyebabkan kemacetan.

Perkembangan teknologi di bidang otomasi industri menuntut adanya sistem pergerakan yang memiliki akurasi tinggi, kecepatan stabil, serta keandalan yang baik dalam berbagai kondisi kerja. Salah satu komponen penting yang berperan dalam memenuhi kebutuhan tersebut adalah *linear bearing block*, yaitu *block* bantalan yang memungkinkan gerakan *linear* dengan tingkat gesekan rendah dan presisi tinggi [2]. Komponen ini banyak digunakan pada mesin *CNC*, mesin otomatis, robotika, dan berbagai peralatan produksi modern yang membutuhkan kestabilan gerak dalam proses operasionalnya. Dalam dunia industri, efisiensi produksi sangat dipengaruhi oleh kelancaran sistem mekanik yang digunakan. *Linear bearing block* menjadi bagian vital karena berfungsi menahan beban, menjaga presisi posisi, dan memastikan gerakan yang halus sepanjang rel (*guide rail*) [3]. Namun demikian, pemanfaatan *linear bearing* sering kali menghadapi masalah seperti kontaminasi debu, kurangnya pelumasan, serta keausan komponen akibat siklus kerja yang tinggi. Kondisi-kondisi tersebut dapat mengakibatkan penurunan performa, meningkatnya gesekan, bahkan kegagalan gerak yang berdampak pada terhentinya proses produksi.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, *linear bearing block* pada mesin *automaticsprayer paint* di PT XXX sering mengalami kemacetan akibat masuknya cat ke dalam jalur bola *bearing*. Kemacetan ini menyebabkan pergerakan *sprayer* menjadi tersendat, menurunkan akurasi penyemprotan, meningkatkan *downtime* mesin, serta memperbanyak kebutuhan perawatan. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk merancang solusi yang lebih tepat sasaran, yaitu solusi yang secara langsung melindungi area masuknya partikel ke dalam *bearing* [4]. Salah satu pendekatan yang potensial adalah penerapan *Wiper* dan pelindung (*deflector*) pada *linear bearing*. *Wiper* berfungsi menyapu permukaan batang *linear* agar partikel cat tidak terbawa masuk ke dalam *bearing*, sementara pelindung bertugas menghalangi partikel cat yang bergerak dari arah semprotan. Meskipun konsep ini telah diterapkan pada beberapa sistem mekanik industri, belum banyak penelitian yang mengkaji perancangan *Wiper* dan pelindung secara bersamaan pada sistem gerak *automaticsprayer paint*, khususnya dalam konteks industri kayu seperti PT XXX. Oleh karena itu, penelitian magang ini penting dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi *Wiper* dan pelindung dalam mengoptimalkan kinerja *linear bearing block* pada mesin *automaticsprayer paint* [1]. Di akhir kajian ini, diharapkan diperoleh rancangan solusi yang mampu mengurangi kemacetan, meningkatkan kelancaran gerak, serta memperpanjang umur pakai komponen. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah untuk merancang *Wiper* serta pelindung sebagai solusi peningkatan keandalan *linear bearing block* pada mesin *automaticsprayer paint* di PT XX

METODE

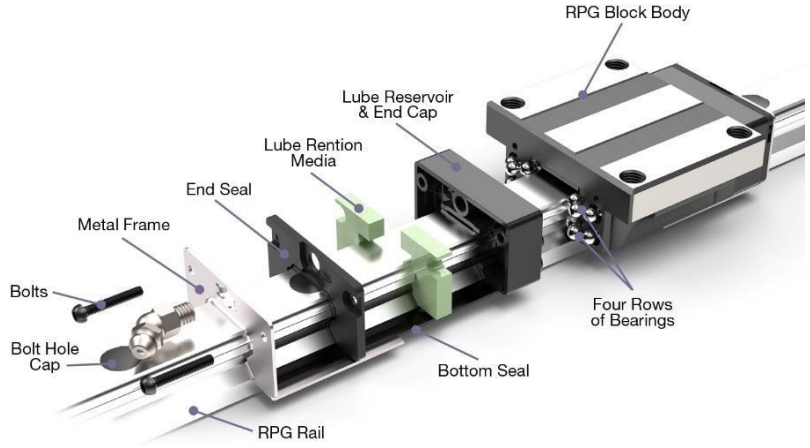


Gambar 1. Diagram Alir Pnelitian

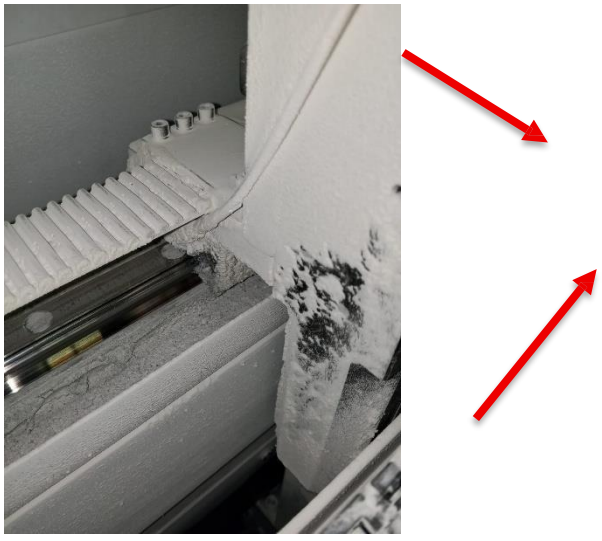
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kualitatif dengan pengamatan secara langsung di PT. XXX seperti pada **Gambar 1.**. Data-data yang diperoleh dari pengamatan tersebut diambil dari observasi di lapangan secara langsung dan wawancara dengan pihak maintenance di PT. XXX, penelitian ini disusun untuk mencapai tujuan optimasi sistem gerak *linear bearing block* melalui perancangan *Wiper* dan pelindung pada mesin *automaticsprayer paint* di PT. XXX. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu observasi lapangan, identifikasi masalah, perancangan *Wiper* dan pelindung, dan analisis hasil [5].

Tahap pertama penelitian ini dilakukan dengan melakukan observasi langsung terhadap mesin *automaticsprayer paint* untuk memahami kondisi operasional komponen yang terpasang. Observasi ini mencakup analisis konfigurasi mekanis *linear bearing*, mulai dari tipe *bearing* yang digunakan, dimensi batang *linear*, panjang stroke, hingga pola pergerakan sprayer selama proses pengecatan. Selain itu, sumber paparan cat juga diidentifikasi dengan meninjau posisi *nozzle*, arah semprotan, serta kemunculan *overspray* yang berpotensi mengenai area *bearing*. Pada tahap ini dicatat pula frekuensi kemacetan yang terjadi, periode perawatan, jenis *grease* yang digunakan, serta dilakukan dokumentasi mengenai kondisi *bearing* sebelum dilakukan modifikasi[6]. Seluruh data awal tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan permasalahan utama dan kebutuhan perancangan *Wiper* serta pelindung *bearing*. Setelah proses observasi selesai, tahap berikutnya adalah mengidentifikasi penyebab spesifik terjadinya kemacetan pada *linear bearing*. Analisis dilakukan melalui pemeriksaan fisik *bearing* yang mengalami macet, pengujian gerakan *bearing* secara manual untuk mengetahui tingkat hambatan, serta analisis pola distribusi cat yang menempel pada batang *linear* dan masuk ke jalur bola *bearing*. Selain pemeriksaan teknis, dilakukan pula wawancara dengan operator dan teknisi untuk memperoleh informasi mengenai

pengalaman gangguan operasional yang terjadi selama penggunaan mesin. Dari hasil identifikasi tersebut, diketahui bahwa partikel cat yang masuk ke bagian ujung *bearing* menjadi faktor utama penyebab kemacetan seperti yang ditunjukan pada **Gambar 2.**.



Gambar 2. *Linear bearing*



Gambar 3. tampak *bearing* pada mesin

Tahap selanjutnya adalah merancang solusi teknis yang dapat mencegah masuknya cat ke dalam *linear bearing seperti yang di tunjukan pada* **Gambar 3.**. Proses perancangan meliputi:

1. Perancangan *Wiper*

Menentukan bentuk penyapu (ring *Wiper*) yang dipasang di kedua sisi *bearing*, Memilih material tahan tiner seperti karet *nitril* (*NBR)* atau *polyurethane* [7].

2. Perancangan pelindung (*deflector*)

Menentukan bentuk pelindung yang menghalangi jalur semprotan cat. Memilih material seperti aluminium tipis atau akrilik. Menentukan posisi pemasangan agar tidak mengganggu gerak *sprayer* [8].

3. Pembuatan sketsa/CAD sederhana sebagai dasar pembuatan.

Desain dibuat dengan mempertimbangkan kemudahan pemasangan, biaya rendah, dan ketahanan terhadap lingkungan kerja.

Evaluasi kinerja sistem dilakukan untuk mengetahui sejauh mana efektivitas penerapan *Wiper* dan pelindung dalam meningkatkan performa sistem gerak *linear bearing* pada mesin *automatic*sprayer paint. Evaluasi ini dilaksanakan dengan membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah implementasi solusi pada lingkungan operasi yang sama. Pengujian dilakukan dalam kondisi kerja normal produksi agar hasil yang diperoleh bersifat representatif dan mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Parameter evaluasi difokuskan pada aspek kelancaran pergerakan *linear bearing*, stabilitas gerak sprayer,

serta frekuensi terjadinya kemacetan selama periode pengamatan tertentu.
Selain itu, evaluasi juga mencakup pengamatan terhadap tingkat akumulasi partikel cat yang menempel pada batang *linear* dan area sekitar *bearing* setelah mesin dioperasikan selama beberapa jam. Pengujian dilakukan baik secara manual maupun otomatis, dengan memperhatikan adanya peningkatan gaya gesek, suara tidak normal, atau getaran yang muncul selama pergerakan. Kebutuhan perawatan sebelum dan sesudah pemasangan *Wiper* dan pelindung turut dijadikan indikator penilaian, khususnya terkait frekuensi pembersihan dan pelumasan ulang *bearing*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa setelah penerapan *Wiper* dan pelindung, pergerakan *linear bearing* menjadi lebih halus dan stabil, serta terjadi penurunan signifikan pada frekuensi kemacetan. Hal ini mengindikasikan bahwa rancangan solusi yang diterapkan mampu meningkatkan keandalan sistem gerak dan mendukung kelancaran proses pengecatan secara berkelanjutan[9].
Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengamatan kinerja sistem sebelum dan sesudah pemasangan *Wiper* dan pelindung pada *linear bearing*. Data yang diperoleh dari tahap evaluasi kinerja dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada sistem gerak, khususnya terkait kualitas pergerakan *bearing*, tingkat kontaminasi partikel cat, serta dampaknya terhadap efisiensi operasional mesin. Analisis ini bertujuan untuk menilai efektivitas solusi yang dirancang dalam mengatasi permasalahan utama berupa kemacetan akibat paparan *overspray* cat. Perbandingan dilakukan dengan meninjau penurunan frekuensi kemacetan, berkurangnya akumulasi cat pada batang *linear*, serta menurunnya kebutuhan perawatan rutin. Selain itu, analisis juga memperhatikan apakah penerapan *Wiper* dan pelindung menimbulkan efek samping seperti peningkatan gaya gesek atau gangguan terhadap pergerakan *sprayer*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi *Wiper* dan pelindung memberikan dampak positif terhadap sistem gerak *linear bearing* tanpa menimbulkan gangguan operasional yang berarti. Dengan demikian, data yang diperoleh mendukung kesimpulan bahwa rancangan *Wiper* dan pelindung efektif dalam meningkatkan performa sistem, mengurangi downtime mesin, serta berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan keandalan proses pengecatan otomatis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi dan studi awal terhadap mesin *automaticsprayer paint*, sistem gerak *linear bearing* yang digunakan berada pada lingkungan kerja dengan tingkat kontaminasi yang cukup tinggi. Proses pengecatan otomatis menghasilkan partikel *overspray* yang tidak seluruhnya mengenai benda kerja, sehingga partikel tersebut menyebar dan berpotensi menempel pada komponen mesin di sekitarnya, termasuk batang *linear* dan *bearing bearing*. Kondisi ini menimbulkan potensi permasalahan berupa peningkatan gesekan, penurunan kelancaran gerak, serta risiko kemacetan apabila partikel cat masuk ke dalam jalur bola *bearing*. Analisis terhadap tata letak mesin menunjukkan bahwa posisi *linear bearing* relatif dekat dengan arah semprotan *nozzle*, sehingga paparan *overspray* sulit dihindari. Selain itu, desain awal sistem belum dilengkapi dengan komponen proteksi tambahan yang secara khusus berfungsi untuk melindungi *bearing* dari kontaminasi. Selama operasi jangka panjang, akumulasi partikel cat yang bersifat lengket dan mudah mengering berpotensi mempercepat degradasi kinerja *bearing*. Oleh karena itu, permasalahan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah kebutuhan akan rancangan sistem proteksi yang mampu meminimalkan masuknya partikel cat ke area kritis *bearing* tanpa mengganggu fungsi utama sistem gerak. Berdasarkan hasil observasi dan studi awal terhadap mesin *automaticsprayer paint*, sistem gerak *linear bearing* yang digunakan berada pada lingkungan kerja dengan tingkat kontaminasi yang cukup tinggi. Proses pengecatan otomatis menghasilkan partikel *overspray* yang tidak seluruhnya mengenai benda kerja, sehingga partikel tersebut menyebar dan berpotensi menempel pada komponen mesin di sekitarnya, termasuk batang *linear* dan *bearing bearing*. Kondisi ini menimbulkan potensi permasalahan berupa peningkatan gesekan, penurunan kelancaran gerak, serta risiko kemacetan apabila partikel cat masuk ke dalam jalur bola *bearing* seperti pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Jalur Bola *Bearing Terkena Cat*

Analisis terhadap tata letak mesin menunjukkan bahwa posisi *linear bearing* relatif dekat dengan arah semprotan *nozzle*, sehingga paparan *overspray* sulit dihindari. Selain itu, desain awal sistem belum dilengkapi dengan komponen proteksi tambahan yang secara khusus berfungsi untuk melindungi *bearing* dari kontaminasi. Selama operasi jangka panjang, akumulasi partikel cat yang bersifat lengket dan mudah mengering berpotensi mempercepat degradasi kinerja *bearing*. Oleh karena itu, permasalahan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah kebutuhan akan rancangan sistem proteksi yang mampu meminimalkan masuknya partikel cat ke area kritis *bearing* tanpa mengganggu fungsi utama sistem gerak. Berdasarkan hasil observasi dan studi awal terhadap mesin *automaticsprayer paint*, sistem gerak *linear bearing* yang digunakan berada pada lingkungan kerja dengan tingkat kontaminasi yang cukup tinggi. Proses pengecatan otomatis menghasilkan partikel *overspray* yang tidak seluruhnya mengenai benda kerja, sehingga partikel tersebut menyebar dan berpotensi menempel pada komponen mesin di sekitarnya, termasuk batang *linear* dan *bearing bearing*. Kondisi ini menimbulkan potensi permasalahan berupa peningkatan gesekan, penurunan kelancaran gerak, serta risiko kemacetan apabila partikel cat masuk ke dalam jalur bola *bearing*. Analisis terhadap tata letak mesin menunjukkan bahwa posisi *linear bearing* relatif dekat dengan arah semprotan *nozzle*, sehingga paparan *overspray* sulit dihindari. Selain itu, desain awal sistem belum dilengkapi dengan komponen proteksi tambahan yang secara khusus berfungsi untuk melindungi *bearing* dari kontaminasi. Selama operasi jangka panjang, akumulasi partikel cat yang bersifat lengket dan mudah mengering berpotensi mempercepat degradasi kinerja *bearing*. Oleh karena itu, permasalahan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah kebutuhan akan rancangan sistem proteksi yang mampu meminimalkan masuknya partikel cat ke area kritis *bearing* tanpa mengganggu fungsi utama sistem gerak.

Berdasarkan hasil observasi dan studi awal terhadap mesin *automaticsprayer paint*, sistem gerak *linear bearing* yang digunakan berada pada lingkungan kerja dengan tingkat kontaminasi yang cukup tinggi. Proses pengecatan otomatis menghasilkan partikel *overspray* yang tidak seluruhnya mengenai benda kerja, sehingga partikel tersebut menyebar dan berpotensi menempel pada komponen mesin di sekitarnya, termasuk batang *linear* dan *bearing bearing*. Kondisi ini menimbulkan potensi permasalahan berupa peningkatan gesekan, penurunan kelancaran gerak, serta risiko kemacetan apabila partikel cat masuk ke dalam jalur bola *bearing*. Analisis terhadap tata letak mesin menunjukkan bahwa posisi *linear bearing* relatif dekat dengan arah semprotan *nozzle*, sehingga paparan *overspray* sulit dihindari. Selain itu, desain awal sistem belum dilengkapi dengan komponen proteksi tambahan yang secara khusus berfungsi untuk melindungi *bearing* dari kontaminasi. Selama operasi jangka panjang, akumulasi partikel cat yang bersifat lengket dan mudah mengering berpotensi mempercepat degradasi kinerja *bearing*. Oleh karena itu, permasalahan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah kebutuhan akan rancangan sistem proteksi yang mampu meminimalkan masuknya partikel cat ke area kritis *bearing* tanpa mengganggu fungsi utama sistem gerak.

Pembahasan terhadap hasil perancangan menunjukkan bahwa kombinasi desain *Wiper* dan pelindung memiliki potensi besar dalam meningkatkan keandalan sistem gerak *linear bearing*. Meskipun penelitian ini tidak sampai pada tahap pembuatan dan pengujian fisik, analisis konseptual menunjukkan bahwa desain yang diusulkan mampu mengurangi peluang masuknya partikel cat ke area internal *bearing*. Dengan berkurangnya kontaminasi, secara teoritis gesekan dan keausan pada *bearing* dapat diminimalkan.

Desain yang diusulkan juga tidak mengubah prinsip kerja utama sistem gerak *linear*, sehingga risiko gangguan terhadap kinerja mesin relatif kecil. Pendekatan ini sejalan dengan konsep *design for maintenance*, di mana suatu desain tidak hanya mempertimbangkan fungsi utama, tetapi juga kemudahan perawatan dan keandalan jangka panjang. Oleh karena itu, rancangan *Wiper* dan pelindung ini dapat dipandang sebagai solusi desain yang realistis dan aplikatif untuk diterapkan pada mesin sejenis.

Perancangan *Wiper*

Perancangan *Wiper* pada sistem gerak *linear bearing* dilakukan sebagai upaya perlindungan aktif untuk mencegah masuknya partikel cat *overspray* ke dalam jalur bola *bearing*. Pada mesin *automatic sprayer paint*, lingkungan kerja memiliki tingkat kontaminasi tinggi akibat partikel cat yang bersifat lengket dan mudah mengering. Partikel tersebut dapat menempel pada batang *linear* dan terbawa masuk ke dalam *bearing* selama pergerakan, sehingga meningkatkan gesekan dan berpotensi menyebabkan kemacetan. Oleh karena itu, *Wiper* dirancang untuk dipasang pada kedua sisi *linear bearing* block dengan fungsi utama menyapu permukaan batang *linear* setiap kali *bearing* bergerak, sehingga partikel cat dan kotoran dapat dibersihkan sebelum mencapai area internal *bearing*[10].

Dalam perancangannya, bentuk *Wiper* dibuat menyerupai cincin yang menyesuaikan diameter batang *linear* agar dapat menghasilkan kontak yang merata tanpa merusak permukaan batang. Material *Wiper* dipilih dari bahan yang memiliki ketahanan terhadap thinner dan cat, seperti *nitrile butadiene rubber* (NBR) atau *polyurethane*, yang juga memiliki koefisien gesek relatif rendah dan ketahanan aus yang baik. Pemilihan material ini bertujuan untuk menjaga efektivitas penyapuan sekaligus meminimalkan peningkatan gaya gesek pada sistem gerak. Secara teoretis, gaya gesek yang timbul akibat kontak antara *Wiper* dan batang *linear* dianalisis menggunakan persamaan gaya gesek, di mana nilai gaya normal dirancang serendah mungkin namun tetap mampu menyapu partikel kontaminan secara efektif.

Selain itu, tekanan kontak antara *Wiper* dan batang *linear* juga menjadi pertimbangan penting dalam desain seperti pada **Gambar 5.**. Tekanan yang terlalu besar dapat mempercepat keausan, sedangkan tekanan yang terlalu kecil dapat mengurangi efektivitas pembersihan. Oleh karena itu, luas bidang kontak *Wiper* dirancang cukup besar agar tekanan yang dihasilkan tetap rendah meskipun terdapat gaya tekan tertentu. Dengan pendekatan tersebut, *Wiper* diharapkan mampu

bekerja secara optimal sebagai proteksi aktif tanpa memberikan beban tambahan yang signifikan pada sistem penggerak maupun menurunkan kelancaran pergerakan *linear bearing*.

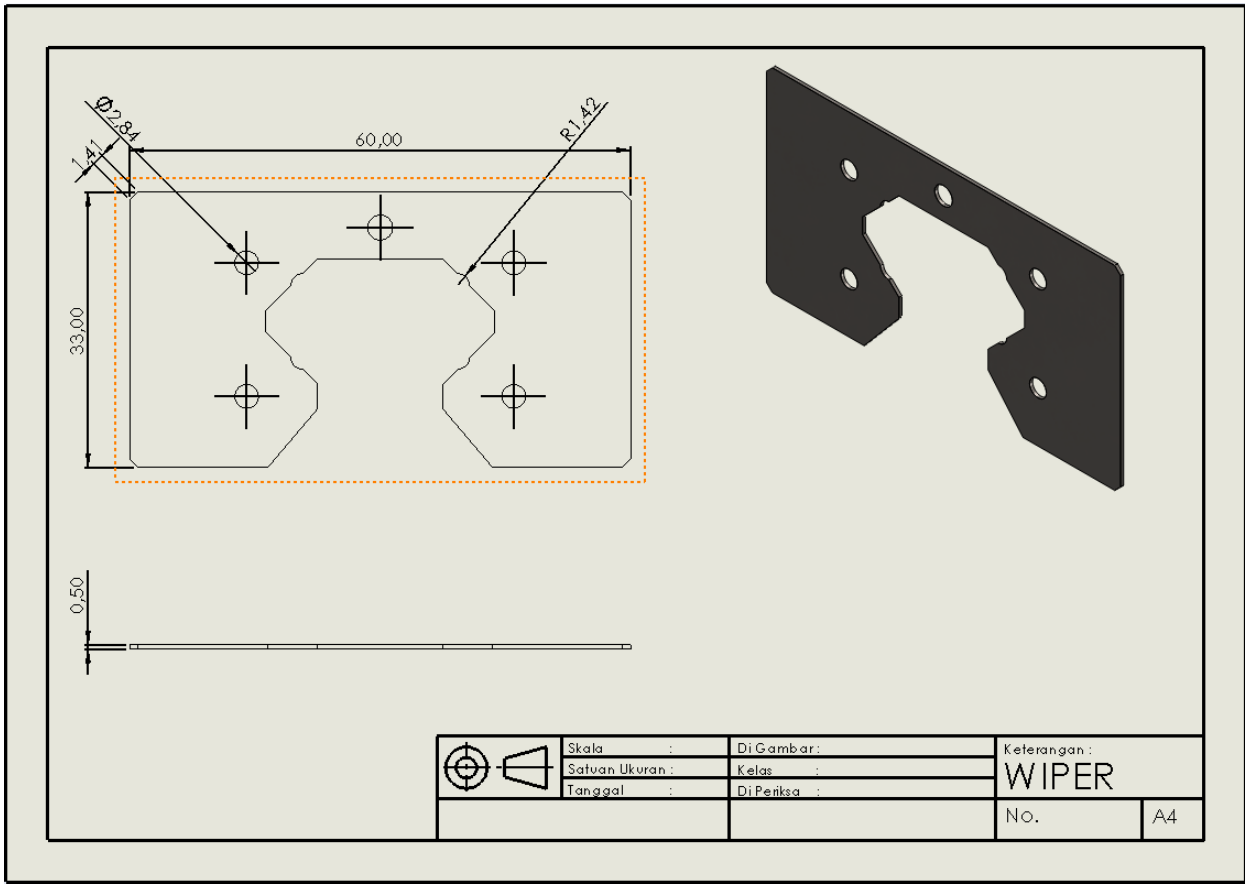
Analisis Gaya Gesek *Wiper*, Penambahan *Wiper* berpotensi menambah gaya gesek, sehingga perlu dianalisis secara teoritis menggunakan persamaan (1):

$Ff=\mu \cdot N$ .....(1)

Keterangan:

- F_f= gaya gesek (N)
- μ= koefisien gesek material *Wiper*
- N= gaya normal *Wiper* ke batang *linear*
- Fungsi *Wiper*:

1. Menyapu partikel cat *overspray* pada batang *linear Wiper* berfungsi membersihkan partikel cat, debu, dan kotoran yang menempel pada batang *linear* sebelum partikel tersebut masuk ke jalur bola *bearing*.
2. Mencegah kontaminasi jalur bola *bearing* Dengan menyapu permukaan batang *linear*, *Wiper* menghambat masuknya partikel asing ke dalam *bearing* yang dapat menyebabkan peningkatan gesekan dan kemacetan.
3. Menjaga kelancaran dan kestabilan gerak *linear bearing* Permukaan batang yang lebih bersih membantu *bearing* bergerak lebih halus dan stabil selama proses pengecatan otomatis.
4. Mengurangi keausan dan memperpanjang umur pakai *bearing* Berkurangnya partikel abrasif di dalam *bearing* dapat menekan tingkat keausan komponen internal dan meningkatkan umur operasional *bearing*.
5. Mengurangi frekuensi perawatan dan downtime mesin Dengan fungsi pembersihan yang kontinu, *Wiper* membantu menurunkan kebutuhan pembersihan manual serta mengurangi risiko gangguan operasional mesin.



Gambar 5. *Design Wiper*

3.2 **Perancangan pelindung rel**

Perancangan pelindung *linear bearing* dilakukan sebagai proteksi pasif yang bertujuan mengurangi paparan langsung partikel cat *overspray* terhadap area kritis *bearing*. Berdasarkan hasil observasi di lapangan, posisi *linear bearing* pada mesin *automatic*sprayer paint relatif dekat dengan arah semprotan *nozzle*, sehingga partikel cat yang menyebar di udara berpotensi langsung mengenai batang *linear* dan *bearing*. Tanpa adanya pelindung, partikel tersebut dapat menumpuk di sekitar *bearing* dan meningkatkan risiko kontaminasi serta penurunan kinerja sistem gerak. Oleh karena itu, pelindung dirancang untuk menghalangi jalur langsung *overspray* sebelum mencapai area *bearing*[11].

Pelindung dirancang dalam bentuk deflektor sederhana yang dipasang di sekitar rel atau *bearing* dengan mempertimbangkan arah semprotan dan pola sebaran partikel cat. Material pelindung dipilih dari bahan yang ringan, tahan terhadap cat dan thinner, serta mudah dibersihkan, seperti aluminium tipis atau akrilik. Pemilihan material ini bertujuan agar pelindung tidak menambah beban berlebih pada struktur mesin dan tetap mudah dirawat selama operasi produksi. Secara geometris, luas pelindung dirancang untuk menutupi area kritis di sekitar *bearing* yang paling sering terpapar *overspray*, sehingga intensitas partikel cat yang mencapai batang *linear* dapat dikurangi secara signifikan.
Dalam integrasinya dengan sistem eksisting, pelindung dirancang agar mudah dipasang dan dilepas tanpa memerlukan modifikasi besar pada mesin. Desain ini mengacu pada *prinsip design for maintenance*, di mana komponen tambahan tidak mengganggu fungsi utama sistem gerak dan tetap memberikan kemudahan saat proses perawatan seperti pada **Gambar 6.**. Dengan adanya pelindung, beban kerja *Wiper* dapat berkurang karena jumlah partikel yang mencapai batang *linear* sudah diminimalkan sejak awal. Kombinasi antara pelindung sebagai proteksi pasif dan *Wiper* sebagai proteksi aktif diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem gerak *linear bearing* serta mengurangi potensi kemacetan dan downtime mesin pada proses pengecatan otomatis.
Luas pelindung dihitung secara geometris secara teoritis menggunakan persamaan (2): $A=p\times l$. ..... (2)
Keterangan:

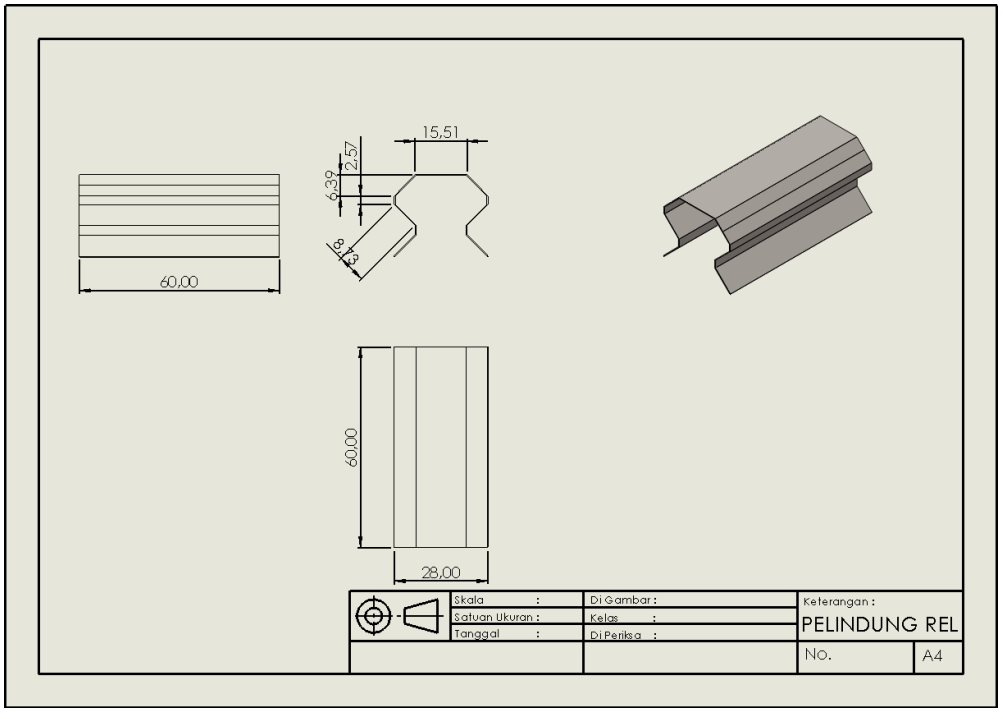
- A= luas pelindung
- p= panjang pelindung
- l= lebar pelindung

Tujuan perhitungan ini:

- Menentukan cakupan minimum area kritis
- Menghindari pelindung terlalu besar atau mengganggu mesin

- Fungsi pelindung rel:

1. Menghalangi paparan langsung *overspray* cat ke area *bearing* Pelindung berfungsi sebagai penghalang fisik agar partikel cat tidak langsung mengenai batang *linear* dan *bearing*.
2. Mengurangi intensitas kontaminasi pada sistem gerak *linear* Dengan menahan sebagian besar partikel cat sebelum mencapai *bearing*, tingkat kontaminasi sistem dapat dikurangi secara signifikan.
3. Melindungi komponen *bearing* dari penumpukan cat kering Pelindung mencegah akumulasi cat yang dapat mengering dan mengganggu pergerakan *bearing* dalam jangka panjang.
4. Meringankan beban kerja *Wiper* Karena sebagian besar partikel telah ditahan oleh pelindung, *Wiper* bekerja lebih ringan dan lebih efektif dalam menyapu sisa kontaminan.
5. Meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasi mesin Dengan berkurangnya gangguan akibat kontaminasi, sistem gerak menjadi lebih andal sehingga proses pengecatan dapat berjalan lebih stabil dan konsisten.



Gambar 6. design pelindung rel

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya berfokus pada tahap perancangan desain tanpa melakukan pembuatan dan pengujian secara langsung. Oleh sebab itu, kinerja aktual dari desain *Wiper* dan pelindung belum dapat diverifikasi secara eksperimental. Namun demikian, hasil perancangan ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian lanjutan yang mencakup tahap fabrikasi, pengujian kinerja, serta analisis umur pakai *bearing*. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan membandingkan beberapa variasi desain *Wiper* dan pelindung, serta mengkaji pengaruh material dan geometri terhadap efektivitas perlindungan. Dengan demikian, rancangan yang diusulkan dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal dalam pengembangan sistem proteksi *linear bearing* pada lingkungan industri dengan tingkat kontaminasi tinggi.
tekanan kontak (Pa), *F*adalah gaya tekan *Wiper* terhadap batang *linear* (N), dan *A*merupakan luas bidang kontak (m^2). Dalam desain yang diusulkan, luas bidang kontak *Wiper* dirancang cukup besar agar tekanan yang dihasilkan tetap rendah meskipun terdapat gaya tekan tertentu. Dengan pendekatan ini, desain *Wiper* diharapkan mampu bekerja secara efektif tanpa meningkatkan risiko keausan pada batang *linear* maupun komponen *Wiper* itu sendiri. Secara teoritis, umur pakai *bearing* sangat dipengaruhi oleh tingkat kontaminasi yang masuk ke dalam jalur bola [11]. Hubungan antara beban kerja dan umur *bearing* sering dinyatakan menggunakan persamaan (3)sebagai berikut:

$$L10=(PC)^{p} \quad (3)$$

di mana L_{10}adalah umur nominal *bearing*, *C*merupakan kapasitas beban dinamis (N), *P*adalah beban kerja ekuivalen (N), dan *p*adalah eksponen yang bernilai 3 untuk *bearing* bola [12]. Meskipun penelitian ini tidak menghitung umur *bearing* secara kuantitatif, persamaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan beban efektif akibat gesekan dan kontaminasi dapat menurunkan umur *bearing* secara signifikan. Oleh karena itu, secara konseptual, desain *Wiper* dan pelindung yang mampu mengurangi kontaminasi akan berkontribusi pada peningkatan umur pakai *bearing*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama pada sistem gerak *linear bearing* mesin *automaticsprayer paint* adalah tingginya potensi kontaminasi partikel cat akibat paparan *overspray* selama proses pengecatan. Kontaminasi tersebut berpotensi menempel pada batang *linear* dan masuk ke dalam jalur bola *bearing*, sehingga secara teoritis dapat meningkatkan gaya gesek, menurunkan kelancaran pergerakan, serta mempercepat keausan komponen. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem gerak *linear bearing* memerlukan solusi proteksi tambahan yang dirancang khusus sesuai dengan karakteristik lingkungan kerja pengecatan otomatis. Penelitian ini menghasilkan rancangan desain *Wiper* dan pelindung *linear bearing* sebagai solusi preventif untuk meminimalkan masuknya partikel cat ke area kritis *bearing*. *Wiper* dirancang secara konseptual untuk menyapu permukaan batang *linear* pada setiap pergerakan, sedangkan pelindung dirancang sebagai penghalang fisik untuk mengurangi paparan langsung *overspray* cat. Perancangan kedua komponen tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan aspek fungsional, kemudahan integrasi dengan sistem eksisting, serta prinsip *design for maintenance* tanpa mengubah mekanisme utama mesin.
Berdasarkan analisis teoretis yang dilakukan, rancangan *Wiper* dan pelindung yang diusulkan secara konseptual berpotensi mengurangi tingkat kontaminasi pada sistem gerak *linear bearing*. Penggunaan pendekatan analitis melalui perhitungan gaya gesek, tekanan kontak, serta konsep umur *bearing* menunjukkan bahwa pengurangan kontaminasi dapat berdampak positif terhadap keandalan dan umur pakai *bearing*. Meskipun penelitian ini tidak sampai pada tahap pembuatan dan pengujian fisik, hasil perancangan desain yang diperoleh dapat dijadikan sebagai dasar awal untuk pengembangan dan implementasi lebih lanjut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil menyusun rancangan desain *Wiper* dan pelindung *linear bearing* yang aplikatif dan relevan untuk lingkungan kerja dengan tingkat kontaminasi tinggi, khususnya pada mesin *automaticsprayer paint*. Rancangan yang diusulkan diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi pengembangan sistem proteksi *linear bearing* di industri manufaktur, serta membuka peluang untuk penelitian lanjutan yang mencakup tahap fabrikasi, pengujian kinerja, dan analisis umur pakai secara eksperimental.

UCAPAN TERIMA KASIH
Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:
1. PT. XXX, khususnya bagian produksi dan teknik, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk melaksanakan kegiatan magang serta penelitian ini.
2. Pembimbing lapangan yang telah memberikan arahan, penjelasan teknis, dan pendampingan selama proses pengamatan dan implementasi solusi.
3. Pembimbing akademik dari Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan bimbingan dan evaluasi dalam penyusunan laporan magang ini.
4. Seluruh karyawan dan teknisi bagian finishing dan maintenance, yang membantu memberikan data, wawasan lapangan, dan dukungan selama penelitian berlangsung.
Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan proses produksi dan menjadi referensi untuk

pengembangan sistem mekanis di lingkungan industri.

REFERENSI

[1] S. Kasus, K. Bearing, P. Mesin, C. N. C. Makino, and J. T. Mesin, "Analisis Kerusakan Komponen Meknis pada Mesin CNC," *Politeknik Negeri Jakarta*, 2024.

[2] D. P. Budiarto, M. Joko, and S. Athoillah, "Pengaruh Jarak Magnet-Pelat Tembaga dan Grade Magnet terhadap Respon Tunak Sistem Getaran dengan DVA Berperedam Arus Eddy," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, 2022.

[3] G. Kurnia et al., "Analisis Kegagalan Bearing Pada Mesin Pencacah Sampah Di TPSA Bagendung," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 32, no. 1, pp. 9–16, 2024.

[4] M. A. Lestari, R. Y. Manek, F. R. Gomes, and I. H. Hrp, "Penanganan Crankpin Bearing Pada Connecting Rod Mesin Colt Diesel Mitsubishi Ps100," *Jurnal Vokasi Mekanika*, vol. 5, no. 2, pp. 421–426, 2024.

[5] N. D. Mempertimbangkan and S. Dan, "Studi performansi textured bearing dengan pelumas non-newtonian dengan mempertimbangkan slip dan kavitasi," *Jurnal Tribologi Indonesia*, vol. 18, no. 4, pp. 117–123, 2016.

[6] J. Cumings and A. Zettl, "Low-Friction Nanoscale Linear Bearing Realized from Multiwall Carbon Nanotubes," *Science*, vol. 289, no. 5479, pp. 602–604, 2000.

[7] R. Akbar, Y. A. K, M. H. Hakim, E. A. P. A, and R. A. A, "Pengembangan dan Evaluasi Printer 3D FDM Berbasis Linear Slider MGN12 untuk Meningkatkan Kepresisian pada Aplikasi Ergonomi dan Industri," *Jurnal RESTI*, vol. 11, no. 2, pp. 677–683, 2024.

[8] C. A. B. Earing, R. A. Dan, and S. Cone, "Analisis Hubungan Antara Nilai CBR pada Struktur Fondasi Mesin," *Jurnal Teknik Sipil dan Struktur*, vol. 4, no. 1, pp. 45–52, 2024.

[9] A. Tjokrohadi, C. Aditya, C. Dewata, and G. J. Posenti, "Analisis Pengaruh Penggunaan High Damping Rubber Bearing (HDRB) Terhadap Level Kinerja Struktur Dengan Analisis Non-Linear Time History," *Jurnal Struktur dan Konstruksi*, vol. 7, no. 2, pp. 81–89, 2023.

[10] M. Brase, J. Binder, M. Jonkeren, and M. Wangenheim, "A Generalised Method for Friction Optimisation of Surface Textured Seals by Machine Learning," *Tribology International*, vol. 190, p. 109012, 2024.

[11] V. V. Deshpande, H. Chiu, H. W. C. Postma, and C. Miko, "Carbon Nanotube Linear Bearing," *Nano Letters*, vol. 6, no. 6, pp. 1098–1102, 2006.

[12] L. Motion, "Linear Bearing Maintenance: How a $25 Investment Now Can Prevent Tens of Thousands of Dollars in Unplanned Downtime," *Technical Whitepaper*, pp. 1–10, 2023.

[13] T. Wibowo and R. Santoso, "Optimalisasi sistem pelumasan untuk mencegah keausan dini pada linear guide," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 110–118, 2023.

[14] E. S. Susanto and B. P. Pratama, "Evaluasi perlindungan mekanis terhadap kontaminasi cat pada mesin industri otomatis," *Jurnal Otomasi dan Manufaktur*, vol. 8, no. 1, pp. 33–41, 2024.

[15] K. A. Kurniawan and M. R. Utomo, "Analisis umur pakai bearing (*bearing life*) pada lingkungan kerja berdebu dan kimia," *Jurnal Teknik Vokasi*, vol. 9, no. 2, pp. 75–84, 2025.