

Preliminary Design System Automatic Robot Painting dan Stripping Pada Pesawat Terbang

Imron Rosadi

Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan,
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdana Kusuma, Jakarta, 13610, Indonesia
*Corresponding Author: irosyadi@unsurya.ac.id

ABSTRAK - *Painting dan Stripping* merupakan bagian proses *aintenance* yaitu *finish system*, saat ini proses tersebut masih dilakukan secara manual dengan melibatkan banyak tenaga kerja dan dilingkungan yang berbahaya. Otomisasi akan mempercepat proses painting dan stripping, mengurangi tenaga kerja yang berdampak pada penurunan biaya dan resiko lingkungan. Penggunaan teknologi mutakhir menjadi tantangan tersendiri dalam industri kedirgantaraan terutama di industri MRO (*Maintenance, Repair dan Overhaul*). Beberapa penggunaan teknologi tinggi pada sistem pesawat terbang terus dikembangkan, namun pengembangan teknologi dalam proses maintenance secara otomatis belum banyak dikembangkan khususnya pada sistem painting dan stripping. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan awal sistem otomasi painting dan stripping. Hasil akhir dari penelitian diharapkan menghasilkan solusi low-cost untuk proses painting dan stripping serta memperhatikan dampak bahaya terhadap lingkungan dari proses tersebut. preliminary study Design dimaksudkan sebagai titik awal untuk pengembangan lebih lanjut penggunaan robot otomatis proses painting dan stripping dan menjadi solusi pertumbuhan industri pesawat terbang khususnya di industri MRO.

Kata kunci : robot, *aircraft*, *stripping*, *painting*, otomasi, MRO.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur eksternal pesawat terbang ditutupi oleh sejumlah lapisan cat yang umumnya disebut sebagai finish system. Proses pelapisan tersebut memiliki sejumlah fungsi yang berbeda – berbeda antara penerbangan militer dan penerbangan sipil. Tujuan utama pelapisan pesawat militer adalah reducing radar dan signature infrared, melindungi struktur (dari korosi, bahan kimia) dan penampilan. Pelapisan pesawat sipil digunakan untuk perlindungan struktur, identifikasi perusahaan, serta estetika penampilan^[1].

Metode mechanical dan optical merupakan salah satu metode proses painting dan stripping, metode tersebut masih dalam tahap pengembangan dan pembaruan^[4]. Metode mechanical dan optical tidak menghasilkan polusi, karena tidak ada bahan – bahan kimia yang digunakan, selain itu cenderung lebih efisien. Akan tetapi, membutuhkan pekerja dengan skill tinggi dan investasi awal yang sangat tinggi untuk pelatihan dan peralatan (equipment)^[2].

Setelah proses stripping pada finish system telah selesai, maka inspeksi struktur pesawat dilakukan untuk mendeteksi retakan atau kerusakan akibat korosi, kemudian proses selanjutnya adalah painting ulang^[5]. Dari penjabaran diatas, maka perlu dibuat suatu alat otomasi berupa sistem robotik untuk proses painting dan stripping. Tujuan utama perancangan alat tersebut adalah mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan pekerja. Selain itu, income perusahaan akan meningkat karena efisiensi pengurangan penggunaan pekerja dan meningkatnya efisiensi waktu dalam proses painting dan stripping.

1.2 Tujuan Penelitian

Otomatisasi dalam proses painting dan stripping memiliki manfaat bagi pekerja dan perusahaan. Penggunaan robot pada proses painting pesawat dapat menghemat material antara 30% hingga 50%. Berdasarkan pemaparan diatas, maka pada penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain :

1. Meningkatkan efisiensi waktu dan penggunaan man-power dalam proses painting dan stripping.
2. Primary Design sistem otomasi Painting dan stripping sebagai studi awal research and development robot Painting and stripping.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Finish System Maintenance Process

Pemeliharaan finish system adalah proses jangka panjang yang mengikuti rutinitas tertentu dan peraturan yang berlaku. Menurut manual teknis Angkatan Udara Amerika Serikat (USAF)^[5] proses ini dibagi menjadi tahap – tahap berikut : (i) persiapan untuk proses stripping, (ii) *paint removal*, (iii) persiapan permukaan untuk painting dan treatment permukaan, (iv) painting dan (v) coating inspection.

Sebagai contoh pemeliharaan finish system pesawat tempur, sebelum cat dihilangkan, semua permukaan dibersihkan dari grease, oil dan kotoran, karena bahan – bahan tersebut merupakan penghalang proses penghapusan coating^[5]. Setelah selesai membersihkan permukaan (Gambar 2.1), pada area tertentu, equipment dan material ditutup (masking). Penutupan (masking) sangat penting untuk melindungi area riskan dipesawat terbang, seperti peralatan elektronik dan jendela (window) selama proses stripping.



Gambar 2. 1 Proses Cleaning Pesawat Tempur F16^[8].

Proses stripping merupakan proses sangat kompleks dan kritis, ada beberapa metode yang dapat digunakan antara lain kimia,

mekanik dan optik^[2]. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan.

Pada proses painting tahap pertama yang dilakukan adalah pembersihan permukaan secara hati – hati, kemudian diinspeksi korosi dan kerusakan. Sebelum proses painting dimulai, pesawat harus ditutup (masking) pada gambar 2.3. Bahan masking yang digunakan juga berbeda antara decoating dan painting. Proses masking umumnya menghabiskan lebih banyak jam kerja dari pada proses painting^[5].



Gambar 2. 2 Proses masking sebelum dilakukan proses painting.

Ketika pesawat terbang secara keseluruhan telah dibersihkan, treated dan dimasking, pesawat siap untuk di-painting. Proses painting melibatkan banyak pekerja terampil tergantung pada ukuran pesawat terbang. Setelah semua proses selesai, coating system diperiksa untuk memastikan effectiveness diseluruh bagian pesawat terbang.

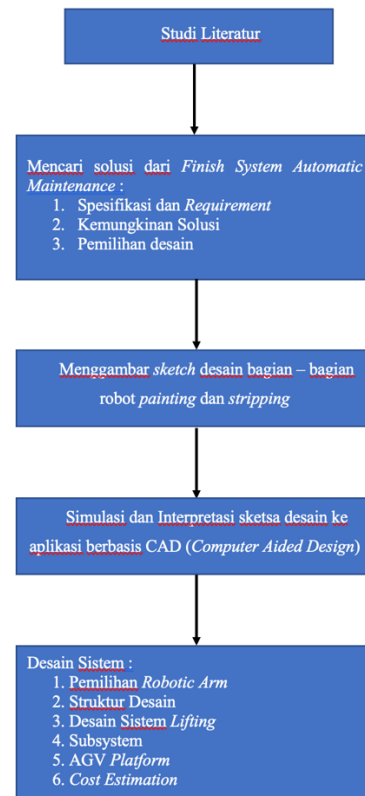
2.2. Metode stripping (*paint removal*)

Tujuan dari proses stripping adalah penghapusan coating tanpa merusak lapisan yang ter-coating. Ada banyak metode yang dapat diterapkan pada proses stripping. Pada subbab ini akan dijelaskan beberapa metode yang digunakan untuk proses stripping serta kekurangan dan kelebihan masing – masing metode berdasarkan manual teknis USAF^[5].

Metode stripping antara lain kimia, mekanik dan optik. Metode kimia dan mekanik sudah lama digunakan, sedangkan metode yang masih tergolong teknologi baru digunakan dalam proses stripping adalah metode optik.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan primary design sebagian studi awal untuk rancang bangun pembuatan robot otomatis painting dan stripping pesawat terbang. Diagram alir dari penelitian ini ada pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Subjek penelitian adalah otomatisasi sistem pengecatan dan penghapusan cat pesawat terbang, serta otomatisasi tahap akhir perawatan pesawat terbang (*masking, cleaning, dll*). Kedua hal tersebut kurang mendapatkan perhatian karena beberapa alasan, antara lain: kurangnya perkembangan teknologi (*masking*) dan keuntungan yang didapatkan dalam pengembangan sistem otomatisasi dirasa kurang menguntungkan secara signifikan.

Untuk memenuhi persyaratan regulasi tertentu, maka tidak dipilih metode pengecatan atau penghapusan tertentu. Penelitian ini hanya dibatasi untuk menjelaskan solusi-solusi yang dimungkinkan bisa diterapkan dan

memberikan kebebasan pada pihak *client* untuk memilih metode pengecatan atau penghapusan cat.

4.1. Spesifikasi Dan Requirement

Sistem akan dirancang berdasarkan ukuran pesawat Hercules C-130. (Gambar 4.1). ini adalah pesawat terbesar yang baru dimiliki oleh Tentara Nasional Indonesia (TNI). Fitur Geometris dari pesawat ini akan dijelaskan dalam Tabel 2.1 dimana tinggi diukur dari *retracted landing gear*. Untuk memastikan kemungkinan memproses pesawat dengan bentuk yang berbeda, maka sistem akan dirancang lebih besar dari yang diperlukan.



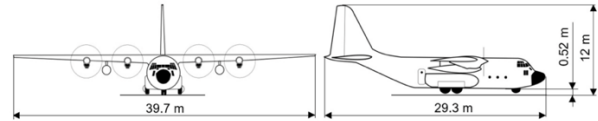
Gambar 4.1 Hercules C-130

Tabel 4.1: Hercules C-130

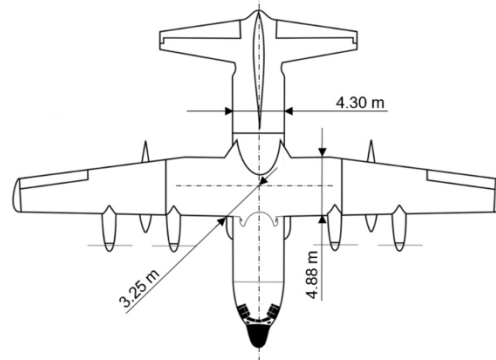
	[m]
<i>length</i>	29.3
<i>Height</i>	11.4
<i>Wingspan</i>	39.7
<i>Wing root chord</i>	4.9
<i>Fuselage height</i>	4.6
<i>Fuselage width</i>	4.3
<i>Landing gear width</i>	4.3

Pada gambar 4.2 merupakan gambar empat dimensi untuk menentukan ukuran area kerja sistem. Selain itu, untuk menentukan ukuran sistem yang terdiri dari struktur vertical yang bergerak dan memerlukan dimensi tambahan. Dimensi tambahan ini dihitung sebagai panjang hipotenusa segitiga siku-siku yang memiliki kaki setengah *wing root chord* dan setengah lebar badan pesawat. Oleh karena itu, sistem yang terdiri dari struktur vertical untuk mencapai titik permukaan harus

menempatkan *end-factor* nya sejauh 3 m dari permukaan. Dengan menggunakan pendekatan yang konservatif, panjang tersebut dikalikan dengan faktor 1.25 sehingga didapatkan 4 m.



Gambar 4.2 Dimensi Tampak Depan dan Samping C-130H



Gambar 4.3 Dimensi Tampak depan C-130H

Jadi dimensi kerja dapat ditentukan berdasarkan hasil analisis sebelumnya. Ketinggian minimum yang harus dimiliki sistem sekitar 13 m, sedangkan lebar dan panjangnya masing-masing 45 m dan 35 m. selain itu, sistem harus dapat memproses bagian *fuselage* pesawat yang terlatak 0.5 m diatas permukaan tanah. Perencanaan awal sistem ini bergyna untuk melakukan analisis awal pada beberapa desain yang nanti akan dibuat

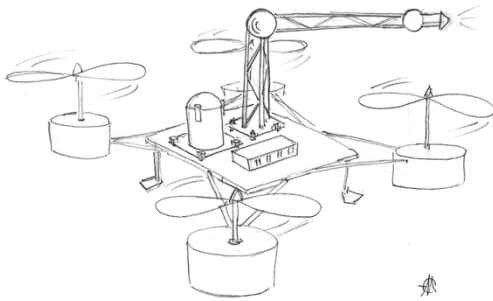
4.2. Solusi Design

Pada bagian ini akan dijelaskan, analisis serta hasil evaluasi berbagai solusi otomatisasi untuk proses *painting* dan *removal*.

Dengan mempertimbangkan beberapa sistem yang telah dijelaskan sebelumnya dan beberapa spesifikasi serta persyaratan, dua solusi dapat dievaluasi antara lain dengan menggunakan lengan robotik pada struktur yang dapat bergerak dan kendaraan Udara Nirwak (UAV) multirotor.

4.2.1. Multirotor UAV

Desain ini terdiri dari sebuah UAV multirotor yang mampu terbang didalam hangar cat. Pada UAV ini terdapat pergelangan tangan robot dengan tiga derajat kebebasan rotasi yang mengontrol orientasi end-effector nya. Pada gambar dibawa ini, sistem dilustrasikan dalam sebuah sketsa.



Gambar 4.4 Sketsa sistem Multirotor UAV

Beberapa keuntungan menggunakan UAV untuk proses pengecatan pesawat antara lain :

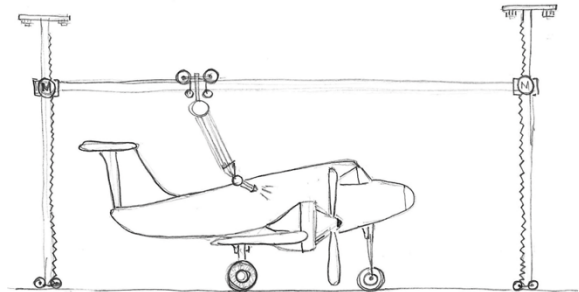
1. Aksesibilitas : UAV dapat menjangkau pada setiap titik didalam hangar dan melakukan proses pengecatan di area-area yang sulit dijangkau oleh manusia.
2. Kemampuan pengecatan dengan menggunakan *long stroke*. UAV dapat mengecat dengan menggunakan *stroke* yang panjang, sehingga hasil akhirnya lebih baik.
3. UAV jenis Multirotor mudah perawatannya : penggunaan UAV multirotor sangat memudahkan untuk perawatan masing-masing komponen.

Masalah umum penggunaan multirotor adalah terjadinya kegagalan sistem pada salah satu sistem yang menyebabkan kegagalan seluruh sistem. Dalam proses pengecatan, kegagalan sistem bisa menjadi lebih besar karena dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur pesawat jika UAV jatuh pada bagian yang mudah pecah. Selain itu, aliran udara yang dihasilkan oleh baling-baling dapat mempengaruhi hasil akhir pengecatan.

4.2.2. Rail Mounted Robot

Sebuah lengan robot yang terpasang pada *rail 3 linier* DoF sehingga dapat bergerak

fleksibel pada bidang kerja (lihat gambar dibawah). *Rail* menempatkan lengan robot sedekat mungkin dengan permukaan yang akan dicat dan mengarahkan *end-effector* untuk memastikan hasil akhir sesuai dengan yang diinginkan.

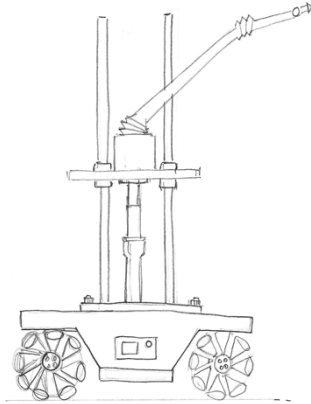


Gambar 4.5 Sketsa Rail Mounted Robotic System

Pada sistem ini membutuhkan ruang kerja yang besar, maka struktur rel harus panjang, berat dan mahal. Kekurangan dari solusi ini adalah tidak mungkin menggunakan sistem untuk memproses pesawat yang lebih besar dari pada ruang kerja. Untuk sistem ini, memposisikan pesawat dengan tepat sangat penting. Selain itu, terdapat beberapa problem dalam mengerjakan beberapa bagian dipasawa terutama jika menemukan bagian-bagian yang kompleks. Misalnya, untuk menggapai *nose*.

4.2.3. Mast Mounted Robot on AGV

Sebuah lengan robotik dipasang pada *Automatic Guided Vehicle* (AGV) yang dapat bergerak ke segala arah dan berbelok dengan radius nol[35]. Tiang dapat menaikkan dan menurunkan lengan robot sementara AGV berfungsi untuk memutarnya. Robot lengan kemudian diperlukan untuk Gerakan dan orientasi *end-effector* disepanjang permukaan yang membutuhkan setidaknya 6 DoF. Sketsa sistem ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



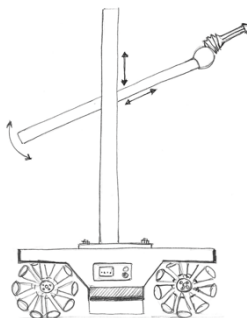
Gambar 4.6 Mast Mounted Robot on AGV

Bagian-bagian sistem yang berat dan rentang rusak seperti tangka, baterai, kompresor, dll diletakkan di platform AGV. Namun demikian, karena setiap roda memiliki beban maksimum maka *Center Gravity* pada AGV menjadi penting.

Desain dapat digunakan untuk salah satu metode *paint removal* yang dijelaskan pada bab-bab sebelumnya. Akan tetapi tergantung pada bahan roda AGV. *Chemical strapping* kemungkinan tidak bisa karena dapat bereaksi dengan bahan roda. Selain itu, *paint removal* pada sistem ini hanya dapat dilakukan dengan menggunakan satu robot sedangkan untuk proses *coating* dibutuhkan dua robot.

4.2.4. Struktur Multi DoF pada AGV

Robotic arm terletak dibagian TIP yang ditopang oleh sebuah beam dan dapat naik turun menggunakan sebuah sistem *lifting* yang terpasang pada AGV. *Beam* dapat berpindah kebelakang dan kedepan pada porosnya serta dapat berputar pada disekitar pada sambungan *lifting structure*.

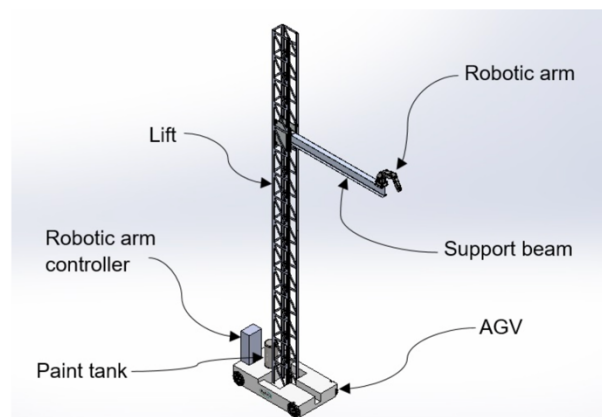


Gambar 4.7. sistem robotik multi-DoF pada AGV

Robot ARM terletak diujung *beam* dan memiliki sumbu longitudinal sejajar dengan tanah. *Beam* dibantu pada bagian ahir lainnya dan bergerak keatas dan kebawah oleh sistem lifting yang berada pada AGV Omnidireksional.

AGV dan lift menjadikan sistem harus 4 DoF, sehingga dapat memposisikan robot arm sesuai workspace nya. Robor arm harus dapat memposisikan dan mengarahkan end-effector, oleh sebab itu, membutuhkan setidaknya 6 DoF.

Dibandingkan dengan solusi sebelumnya, struktur *lifting* lebih tinggi dan lebih berat. Namun, tidak adanya dua *movable join* antara *beam* dan lifting struktur mengakibatkan kontrol kendali robot dan desain sistem supply ke robot arm menjadi lebih mudah. Hal ini juga dapat meningkatkan keandalan, presisi dan akurasi sistem



Gambar 4.8 Sistem Automatic Painting

Beberapa kemungkinan sistem telah dievaluasi dan melalui beberapa studi, sistem pada Gambar 4.8 telah dipilih. Kretria yang dipilih adalah desain yang memberikan keuntungan dari segi biaya dan kompleksibilitas yang tidak terlalu tinggi. Secara khusus, sistem ini terdiri dari lengan robot yang dipasang diujung *cantilever beam* yang ditahan oleh suatu struktur yang membu bergerak pada sumbu vertical. Kemudian struktur ini dipasang pada AGV omnidirection dimana semua subsistem ada pada bagian tersebut.

Agar dapat bersaing dengan robot-robot canggih yang sedang dikembangkan, sistem

ini yang dibuat harus dapat memastikan tingkat kinerja yang tinggi dan proses *development* cepat dengan biaya investasi dan pengoperasian terendah. Untuk mengurangi biaya, sebagian besar komponen dibuat dari beberapa komponen yang siap pakai. Selain itu, memungkinkan untuk mendapatkan suku cadang yang mudah dan murah selama masa pengoperasian sistem.

V. KESIMPULAN

1. Pada saat ini, belum ada sistem robot yang mampu melakukan proses *maintenance* sistem *coating* secara keseluruhan. Meskipun ada beberapa proyek yang sedang dikembangkan terutama untuk sistem otomatisasi *removal* cat, akan tetapi, masih sedikit yang mengembangkan otomatisasi *painting* pesawat terbang. Pada penelitian telah berhasil memberikan solusi rancangan untuk sistem otomatisasi pengecatan dan *removal* pada pesawat terbang.
2. Ada beberapa metode dan teknologi berbeda untuk proses *painting and removal* cat, kriteria desain pada penelitian ini adalah sistem mampu memberikan kemudahan dan biaya yang dikeluarkan tidak terlalu besar. Secara khusus, sistem terdiri dari lengan robot yang dipasang pada ujung *cantilever beam* yang ditahan oleh struktur yang mampu menggerakkan disumbu vertical. Kemudian struktur ini dipasang pada AGV omnidirection dimana semua subsistem ada pada bagian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Koleske Joseph V., Paint and Coating Testing Manual - Google Boeken. 2012.
- [2] Vinod S. Agarwala and K. Rajeshwar, "Paint and Coating Removal Technologies: Past, Present and Future," pp. 11–16, 2001.
- [3] M. J. Then, "The Future of Aircraft Paint Removal Methods," 1989.
- [4] N. Y. A. G. L. Q-switch, F. Laser, G. Guerrero-vaca, Ó. Rodr, and P. E. Romero, "Stripping of PFA Fluoropolymer Coatings Using a," 2019.
- [5] R. Of and O. Coatings, "To 1-1-8 Application and Removal of Organic Coatings ," no. June, 2009.
- [6] B. Siciliano and O. Khatib, Springer Handbook of Robotics. Verlag Berlin Hedelberg, 2016.
- [7] P. Waurzyniak, Expanding the Horizon of Aerospace Automation. MANUFACTURING ENGINEERING, 2016.
- [8] M. Jeffers, "Wash-rack keeps F-16s clean," 20th Fighter Wing Public Affairs, 2012.
- [9] J. D. Head and J. P. Niedzielski, "Laser Paint Stripping," p. 102, 1991.
- [10] STRATAGEM, "Laser Coating removal Robot," 2020. [Online]. Available: <http://www.stratagemgroup.nl/project-laser-coating.html>.
- [11] U.S. Department of Defense, "Cost and Performance Report," Environ. Secur. Technology Certification Progr., no. April, 2009.
- [12] D. K. Wolf, "Laser Strip: A Portable Hand-Held Laser Stripping Device for Reducing VOC, Toxic and Particulate Emissions," J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [13] P. Techniques, "Aircraft Paint Application Manual," Prod. Tech. Inc. all rights Reserv. Oct. 1, 2018, pp. 1–36, 2018.