



Analisis Penerapan Metode Sandblasting untuk Meningkatkan Kualitas Cadmium Plating dengan Metode Response Surface Methodology (RSM) di PT X

Ferdy Febrianto Maulana

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Indonesia

Penulis Korespondensi: ferdy.maulana@widyatama.ac.id

Abstract. The Cadmium Plating Process for aircraft actuation components at PT X faces quality issues due to instability in the activation Process using a sulfuric acid (H_2SO_4) solution, which causes Defects such as pitting, underetching, and Overetching. Defect data from 2025 indicates an increase in rework, production costs, and a decrease in Process efficiency. This study aims to analyze the causes of Defects, compare the effectiveness of the Sulfate and Sandblasting activation methods, and determine the optimal Sandblasting parameters to improve the quality of Cadmium Plating results. The study uses a quantitative approach with the Response Surface Methodology (RSM). Research data was obtained from the period June 2025–April 2026. The results of the One-Way ANOVA test showed a p -value of 0.000 (<0.05) and an F -value of 1709.46, indicating a significant difference between the two methods. The average number of Defects for the Sulfate method was 13 pieces, while for the Sandblasting method it was 4 pieces. Based on the RSM Analysis results, the optimal parameter combination was determined to be nozzle pressure, spraying time, and a nozzle distance of 5 cm. This study concludes that the Sandblasting method, optimized using RSM, is capable of improving the quality of Cadmium Plating results, reducing the number of Defects, and enhancing the stability of the production Process at PT X. The research results indicate that the Sandblasting method is more effective than the Sulfate method in reducing the number of Defects.

Keywords: Cadmium Plating; Defect; Response Surface Methodology; Sandblasting; Sulfat.

Abstrak. Proses Cadmium Plating pada komponen aktuasi pesawat di PT X menghadapi permasalahan kualitas akibat ketidakstabilan proses aktivasi menggunakan larutan Sulfat (H_2SO_4) yang menyebabkan munculnya Defect seperti pitting, underetching, dan Overetching. Data Defect 2025 menyebabkan peningkatan rework, biaya produksi, dan penurunan efisiensi proses. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya Defect, membandingkan efektivitas metode aktivasi Sulfat dan Sandblasting, serta menentukan parameter Sandblasting optimal untuk meningkatkan kualitas hasil Cadmium Plating. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Response Surface Methodology (RSM). Data penelitian diperoleh dari periode Juni 2025–April 2026. Hasil uji One-Way ANOVA menunjukkan nilai p -value sebesar 0,000 ($<0,05$) dan F -value sebesar 1709,46 yang menandakan adanya perbedaan signifikan antara kedua metode. Rata-rata Defect metode Sulfat sebesar 13 pcs, sedangkan metode Sandblasting sebesar 4 pcs. Berdasarkan hasil Analisis RSM berhasil menentukan kombinasi parameter optimal berupa tekanan nozzle, waktu penyemprotan, dan jarak nozzle 5 cm. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode Sandblasting yang dioptimasi menggunakan RSM mampu meningkatkan kualitas hasil Cadmium Plating, menurunkan jumlah Defect, serta meningkatkan kestabilan proses produksi pada PT X. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Sandblasting lebih efektif dibandingkan metode Sulfat dalam menurunkan jumlah Defect.

Kata Kunci: Cacat; Cadmium Plating; Metode Permukaan Respons (Response Surface Methodology); Sandblasting; Sulfat.

1. LATAR BELAKANG

Industri penerbangan merupakan salah satu sektor manufaktur dengan standar kualitas paling ketat karena seluruh komponen pesawat harus memenuhi tingkat keandalan ekstrem demi menjamin keselamatan penerbangan. Komponen seperti sistem aktuasi, mekanisme kendali, serta roda pendarat sangat rentan terhadap korosi dan kelelahan material, sehingga proses Cadmium Plating digunakan untuk memberikan perlindungan korosi berbasis sacrificial coating yang terbukti efektif dalam lingkungan aeronautika. Cadmium mampu

memberikan perlindungan jangka panjang terhadap baja bertekanan tinggi dengan menjaga stabilitas performa mekanis komponen pesawat (Santos et al., 2021). Kualitas pelapisan sangat bergantung pada tahap aktivasi permukaan yang menentukan apakah lapisan dapat menempel secara merata dan stabil.

PT X adalah perusahaan manufaktur di sektor penerbangan yang membuat dan mengolah komponen pesawat sesuai dengan standar kualitas dan keselamatan yang tinggi (Mandich, 2002). *Cadmium Plating* adalah salah satu proses penting bagi komponen coupling yang merupakan proses pelapisan logam untuk melindungi bagian baja dari korosi. Proses ini terdiri dari tahap persiapan permukaan, aktivasi, pelapisan, dan inspeksi akhir. Inkonsistensi yang terjadi pada tahap aktivasi berpotensi menyebabkan cacat pelapisan yang meningkatkan biaya perbaikan dan mengurangi efisiensi lapisan.

Proses aktivasi permukaan komponen X dilakukan dengan menggunakan larutan berbasis Sulfat (H_2SO_4), dimana nilai standar konsentasi yang disyaratkan perusahaan berada pada nilai 0,85. Toleransi yang diperbolehkan sebesar 0,1 dengan kondisi larutan yang stabil selama periode pemakaian hingga enam bulan. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, konsentrasi Sulfat menunjukkan fluktuasi antara 0,81 hingga 0,95 dan memerlukan penggantian larutan hingga 12 kali per bulan, sehingga menimbulkan ketidakstabilan kondisi aktivasi permukaan. Rutkowska-Gorczyca, (2025) menyatakan bahwa aktivasi berbasis asam sangat sensitif terhadap konsentrasi dan waktu pencelupan, inkonsistensi kecil saja dapat

menyebabkan over-etching maupun *under-activation* yang berdampak langsung pada ketidakmerataan lapisan serta munculnya *pitting* (Baharuddin et al., 2016). *Overetching* terjadi ketika aktivasi terlalu kuat sehingga permukaan logam terkikis terlalu banyak, sedangkan *underetching* terjadi ketika aktivasi kurang tepat sehingga Oksida tidak terangkat secara menyeluruh dan lapisan *Cadmium* sulit menempel. Kondisi ini sejalan dengan temuan lapangan bahwa *Defect* berupa *Overetching* dan *underetching* dapat mencapai 8 hingga 16 part per Sulfat yang seharusnya 0 part cacat atau *Zero Defect* pelapisan, serta meningkatkan biaya *rework* dan penggunaan bahan kimia.

Ketidakstabilan pada proses aktivasi memerlukan alternatif proses untuk menghasilkan permukaan yang lebih konsisten, aman, dan standar industri dirgantara. Santos et al., (2021) menggunakan *Sandblasting* untuk menciptakan tekstur permukaan yang merata dan menghilangkan Oksida serta kontaminan lebih efektif dibanding aktivasi kimia, sehingga proses pelapisan menjadi lebih stabil dan menghasilkan lapisan yang lebih seragam. Metode *Sandblasting* diketahui mampu meningkatkan kekasaran permukaan dan memperbaiki adhesi lapisan melalui peningkatan *Surface roughness* dan *mechanical interlocking*, sehingga

berpotensi menghasilkan lapisan yang lebih merata dan stabil (Finger et al., 2020). Dalam konteks proses aktivasi, Penelitian ini dilakukan karena kualitas lapisan *Cadmium Plating* sangat berpengaruh terhadap ketahanan korosi dan umur lelah material yang berkaitan langsung dengan keselamatan penerbangan. Ketidakstabilan aktivasi menggunakan Sulfat menyebabkan adhesi lapisan tidak merata sehingga berpotensi menimbulkan korosi awal, retak mikro, serta peningkatan *Defect*.

Penelitian ini dilakukan pada proses *Cadmium Plating* di PT X Bandung, khususnya pada lini produksi komponen aktuasi pesawat dengan fokus pada bagian *Special Process Plating*, terutama tahap aktivasi permukaan. Penelitian dibatasi pada perbandingan kinerja aktivator berbasis Sulfat (H_2SO_4) dengan metode *Sandblasting* menggunakan data observasi periode Juni 2025–April 2026 yang mencakup parameter proses dan jumlah *Defect*, dengan tujuan untuk mengetahui metode aktivasi yang paling optimal dalam meminimalkan cacat, tanpa mempertimbangkan faktor eksternal maupun tahapan proses lainnya di luar ruang lingkup penelitian (Bechikh et al., 2020).

2. KAJIAN TEORITIS

Cadmium plating merupakan salah satu proses *electrodeposition* yang masih banyak digunakan pada industri kedirgantaraan karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi, *lubricity* yang baik, serta mampu memberikan perlindungan galvanik terhadap baja berkekuatan tinggi. Finger et al., (2020) menjelaskan bahwa lapisan *cadmium* masih menjadi pilihan utama pada komponen *aerospace* karena mampu mempertahankan ketahanan korosi dan meningkatkan umur pakai komponen pada lingkungan yang agresif. Namun, kualitas hasil pelapisan sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan logam sebelum proses pelapisan dilakukan. Permukaan yang masih mengandung lapisan oksida, minyak, maupun kontaminan akan menurunkan daya lekat lapisan sehingga meningkatkan kemungkinan terbentuknya *defect* pada hasil pelapisan (Wang et al., 2025).

Permasalahan yang sering dijumpai pada proses *cadmium plating* adalah munculnya *defect* berupa *pitting*, *underetching*, dan *overetching* yang menyebabkan kualitas lapisan menurun. Menurut (Simatupang et al., 2024) tingginya jumlah *defect* akan meningkatkan aktivitas *rework*, konsumsi bahan baku, biaya produksi, dan waktu proses sehingga menurunkan efisiensi manufaktur. *Pitting* terjadi akibat adanya kontaminasi atau aktivasi permukaan yang tidak sempurna, sedangkan *underetching* dan *overetching* dipengaruhi oleh ketidaksesuaian parameter aktivasi, seperti konsentrasi larutan, waktu proses, dan kondisi

pembilasan (Kurnia & Hamsal, 2021). Oleh karena itu, pengurangan *defect* menjadi salah satu indikator penting dalam peningkatan kualitas proses manufaktur.

Aktivasi permukaan menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4) merupakan metode yang umum diterapkan sebelum proses *electroplating*. (Zhang et al., 2015) menjelaskan bahwa aktivator sulfat berfungsi menghilangkan lapisan oksida, kontaminan, serta *passive layer* sehingga meningkatkan adhesi lapisan pada permukaan logam. Meskipun demikian, efektivitas aktivator sulfat sangat dipengaruhi oleh kestabilan konsentrasi larutan, waktu aktivasi, suhu, dan proses pembilasan. Ketidakstabilan parameter tersebut dapat menyebabkan proses aktivasi menjadi tidak konsisten sehingga meningkatkan risiko terbentuknya *defect* pada hasil pelapisan (Zhang et al., 2015). Oleh karena itu, diperlukan alternatif metode aktivasi yang mampu menghasilkan kondisi permukaan lebih stabil sebelum proses *cadmium plating* dilakukan.

Salah satu metode yang banyak dikembangkan sebagai alternatif aktivasi permukaan adalah *sandblasting*. (Santos et al., 2021) menyatakan bahwa *sandblasting* mampu membersihkan permukaan logam secara mekanis dengan menghilangkan lapisan oksida dan kontaminan sekaligus meningkatkan *surface roughness* sehingga menghasilkan *mechanical interlocking* yang lebih baik. Peningkatan kekasaran permukaan tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya adhesi lapisan serta menghasilkan kualitas pelapisan yang lebih homogen (Srinivasan et al., n.d.). Selain itu, tekanan *sandblasting*, waktu penyemprotan, dan jarak *nozzle* merupakan parameter yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas permukaan dan jumlah *defect* yang dihasilkan (Reza et al., 2024). Oleh sebab itu, optimasi parameter proses *sandblasting* menjadi langkah penting untuk memperoleh kualitas pelapisan yang optimal.

Optimasi parameter proses banyak dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) karena mampu menentukan kombinasi parameter terbaik dengan jumlah eksperimen yang lebih efisien. (de Oliveira et al., 2019) menjelaskan bahwa RSM dapat digunakan untuk membangun model hubungan antara variabel proses dengan respon sehingga menghasilkan kondisi optimum berdasarkan model matematis. Selanjutnya, hasil optimasi divalidasi menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui signifikansi pengaruh setiap variabel melalui nilai *p-value* dan *F-value*. (Pandey & Sinha, 2023) menyatakan bahwa ANOVA mampu mengevaluasi pengaruh masing-masing faktor maupun interaksi antarvariabel terhadap respon penelitian. Kombinasi RSM dan ANOVA telah banyak diterapkan dalam optimasi proses manufaktur karena mampu meningkatkan kualitas produk dan menurunkan jumlah *defect* secara signifikan (Thi Thuy Van et al., 2022). Namun, penelitian mengenai penerapan *sandblasting* sebagai pengganti aktivator sulfat pada proses

cadmium plating yang dioptimasi menggunakan RSM dan dianalisis menggunakan ANOVA, khususnya pada komponen industri kedirgantaraan, masih sangat terbatas sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada proses *Cadmium Plating* komponen aktuasi pesawat di PT X selama periode Juni 2025 hingga April 2026. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data *Defect* proses *Cadmium Plating* menggunakan aktivator Sulfat.
- b. Identifikasi penyebab *Defect* menggunakan diagram sebab-akibat (fishbone diagram).
- c. Implementasi metode *Sandblasting* sebagai aktivator alternatif.
- d. Pengumpulan data *Defect* setelah penerapan *Sandblasting*.
- e. Analisis perbandingan metode menggunakan One-Way ANOVA.
- f. Optimasi parameter *Sandblasting* menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).

Variabel yang digunakan dalam optimasi meliputi:

- a. Tekanan *nozzle* (bar)
- b. Waktu penyemprotan (detik)
- c. Jarak *nozzle* (cm)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal dilakukan analisis terhadap kondisi proses aktivasi menggunakan larutan Sulfat (H_2SO_4). Hasil observasi menunjukkan bahwa proses aktivasi masih menghasilkan *defect* berupa *pitting*, *underetching*, dan *overetching* yang menyebabkan peningkatan *rework*, biaya produksi, serta penurunan efisiensi proses. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas aktivasi permukaan belum stabil sehingga memengaruhi kualitas hasil *Cadmium Plating*. Sebagai alternatif perbaikan, dilakukan penerapan metode *Sandblasting* menggunakan media abrasif aluminium oxide (Al_2O_3). Perbandingan jumlah *defect* antara kedua metode disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.Perbandingan rata-rata *Defect*.

Proses	Rata-rata Defect
Sulfat	12,847
Sandblast	4,516

Analisis *One-Way* ANOVA

Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara metode Sulfat dan Sandblasting, dilakukan pengujian menggunakan *One-Way* ANOVA.

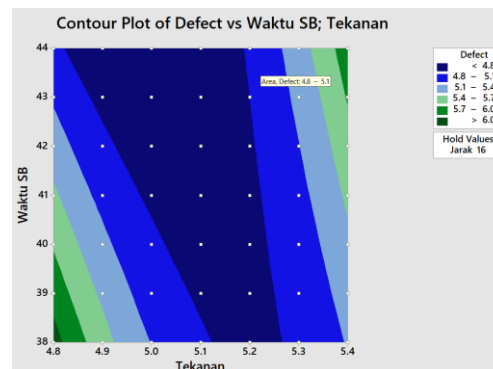
Tabel 2. Hasil Pengujian *One-Way* ANOVA.

Parameter	Nilai
F-Value	1709,46
P-Value	0,000

Hasil pengujian menunjukkan nilai p-value sebesar 0,000 ($<0,05$) sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara metode aktivasi Sulfat dan Sandblasting. Selain itu, nilai F-value sebesar 1709,46 menunjukkan bahwa metode aktivasi memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap jumlah defect. Dengan demikian, metode Sandblasting terbukti lebih efektif dibandingkan metode Sulfat dalam meningkatkan kualitas hasil Cadmium Plating.

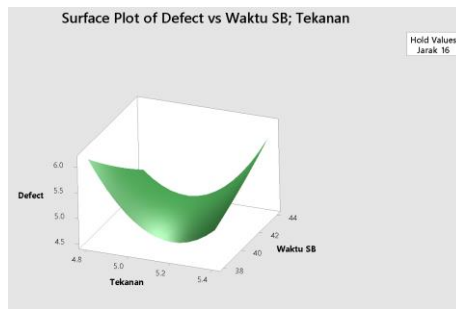
Response Surface Methodology (RSM)

optimasi parameter proses *Sandblasting* menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)* dengan tiga variabel, yaitu tekanan, waktu penyemprotan, dan jarak *nozzle*. Analisis dilakukan menggunakan *Contour Plot*, *Surface Plot*, dan *Response Optimizer* untuk memperoleh kombinasi parameter optimum.



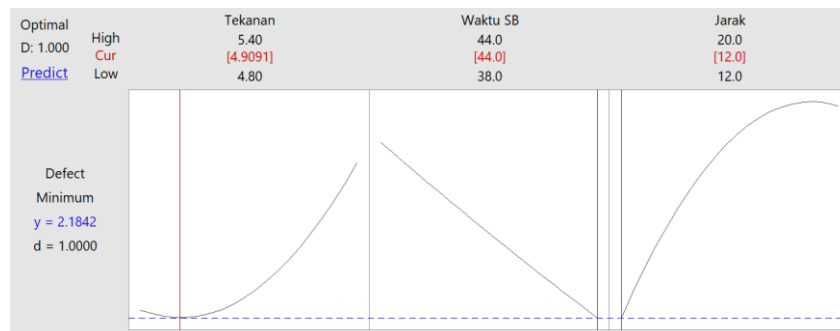
Gambar 1. Countour Plot.

Berdasarkan *Contour Plot*, jumlah *defect* dipengaruhi oleh kombinasi tekanan dan waktu *Sandblasting* pada kondisi jarak *nozzle* yang konstan. Daerah berwarna biru tua menunjukkan jumlah *defect* minimum ($<4,8$), yang berada pada rentang tekanan sekitar 5,1–5,3 bar dan waktu 41–44 detik. Sebaliknya, tekanan dan waktu yang lebih rendah menghasilkan jumlah *defect* yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi tekanan dan waktu yang optimum mampu meminimalkan jumlah *defect* pada proses *Cadmium Plating*.



Gambar 2. Surface Plot.

Berdasarkan *Surface Plot*, kombinasi tekanan dan waktu *Sandblasting* memengaruhi jumlah *defect*. Jumlah *defect* minimum diperoleh pada tekanan sekitar 5,1–5,3 bar dan waktu 40–42 detik, sedangkan di luar rentang tersebut jumlah *defect* cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang optimum mampu meningkatkan kualitas hasil *Cadmium Plating*.



Gambar 3. Response Optimizer.

Berdasarkan hasil optimasi menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)*, diperoleh kombinasi parameter optimum pada tekanan 4,9091 bar, waktu *Sandblasting* 44 detik, dan jarak *nozzle* 12 mm. Kombinasi tersebut menghasilkan prediksi *defect* minimum sebesar 2,1842 dengan nilai *desirability* 1,000, yang menunjukkan kondisi optimum dalam meminimalkan *defect*. Hasil ini dapat dijadikan acuan dalam pengaturan proses *Sandblasting* untuk meningkatkan kualitas hasil *Cadmium Plating*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, metode *Sandblasting* menggunakan media abrasif aluminium oxide (Al_2O_3) terbukti lebih efektif dibandingkan aktivator Sulfat (H_2SO_4) dalam meningkatkan kualitas proses *Cadmium Plating*. Hasil *One-Way ANOVA* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua metode dengan nilai *p-value* sebesar 0,000 ($<0,05$) dan *F-value* sebesar 1709,46, di mana rata-rata *defect* menurun dari 12,847 menjadi 4,5163. Selanjutnya, optimasi menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)* menghasilkan kombinasi parameter optimum pada tekanan 4,9091 bar, waktu *Sandblasting* 44 detik, dan

jarak *nozzle* 12 mm, dengan prediksi *defect* minimum sebesar 2,1842 dan nilai *desirability* 1,000. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Sandblasting* yang dioptimalkan mampu mengurangi jumlah *defect* serta meningkatkan kualitas hasil *Cadmium Plating*, sehingga berpotensi diterapkan sebagai metode aktivasi permukaan pada industri kedirgantaraan.

DAFTAR REFERENSI

- Baharuddin, N. Q. I., Sukarma, L., Mohamad, E., Saptari, A., & Salleh, M. R. (2016). Minimizing number of defects in nickel plating process using factorial design. *Advanced Manufacturing Technology*, 10, 95–105.
- Bechikh, A., Klinkova, O., Maalej, Y., Tawfiq, I., & Nasri, R. (2020). Sandblasting parameter variation effect on galvanized steel surface chemical composition, roughness and free energy. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 102, Article 102653. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102653>
- de Oliveira, L. G., de Paiva, A. P., Balestrassi, P. P., Ferreira, J. R., da Costa, S. C., & da Silva Campos, P. H. (2019). Response surface methodology for advanced manufacturing technology optimization: Theoretical fundamentals, practical guidelines, and survey literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104(5–8), 1785–1837. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03809-9>
- Finger, C., Stiesch, M., Eisenburger, M., Breidenstein, B., Busemann, S., & Greuling, A. (2020). Effect of sandblasting on the surface roughness and residual stress of 3Y-TZP (zirconia). *SN Applied Sciences*, 2(10), Article 1694. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03492-6>
- Kurnia, H., & Hamsal, M. (2021). Implementation of statistical process control for quality control cycle in the various industry in Indonesia: Literature review. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 13(2), 157–170.
- Mandich, N. V. (2002). *Cadmium plating. Products Finishing*. <https://www.productsfinishing.com>
- Mandich, N. V. (2002). *Surface preparation of metals prior to plating. Products Finishing*.
- Pandey, S., & Sinha, K. (2023). Developments in analysis of variance (ANOVA) and experimental design: A comprehensive overview. *Journal of Advanced Research in Applied Mathematics and Statistics*, 8(4).
- Reza, A., Chen, L., & Mao, X. (2024). Response surface methodology for process optimization in livestock wastewater treatment: A review. *Heliyon*, 10(9), Article e30326. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30326>
- Rutkowska-Gorczyca, M. (2025). Possibility of hydrogen embrittlement occurrence after cadmium plating according to industry-specific standards. *Journal of Mechanical Engineering*, 22(3), 50–61. <https://doi.org/10.24191/jmeche.v22i3.5668>
- Santos dos, J. R. M., Fernandes, M. F., Velloso, V. M. de O., & Voorwald, H. J. C. (2021). Fatigue analysis of threaded components with Cd and Zn–Ni anticorrosive coatings. *Metals*, 11(9), Article 1455. <https://doi.org/10.3390/met11091455>

- Simatupang, N., Sutrisno, Haniza, Siregar, N., Kesuma, B. S., & Zulvatricia, R. (2024). Application of SQC and ANOVA in quality control of palm kernel oil. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 8(2), 263–274. <https://doi.org/10.31289/jime.v8i2.13169>
- Srinivasan, K., Kumar, A., Iyer, P., & Joshi, A. (n.d.). *Manufacturing process optimization using statistical methodologies*.
- Thi Thuy Van, N., Gaspillo, P. A., Thanh, H. G. T., Nhi, N. H. T., Long, H. N., Tri, N., Thi Truc Van, N., Nguyen, T. T., & Ky Phuong Ha, H. (2022). Cellulose from the banana stem: Optimization of extraction by response surface methodology (RSM) and characterization. *Heliyon*, 8(12), Article e11845. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11845>
- Zhang, S., Li, M., Zheng, H., & Zhang, R. (2015). *Aircraft fuel system fuzzy FMEA and FMECA analysis*.