

Analisis Efektivitas Penggunaan Mesin *Crusher* dalam Pengelolaan Limbah Padat B3 serta Pengurangan Biaya pada Industri Farmasi

Muhammad Iqbal Iskandar¹, Bernard Hasibuan², Arnanto Nurprabowo³

^{1,2,3}Universitas Sahid Jakarta, Indonesia

E-mail: iqbal000022@gmail.com¹, bernard_hasibuan@usahid.ac.id²

Article History:

Received: 29 Juni 2026

Revised: 22 Juli 2026

Accepted: 30 Juli 2026

Kata Kunci: limbah B3; mesin crusher; cost saving analysis; life cycle cost analysis; efisiensi operasional; industri farmasi.

Abstract: Pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) merupakan tantangan penting bagi industri farmasi karena melibatkan kepatuhan regulasi, efisiensi operasional, dan biaya pengelolaan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas penggunaan mesin crusher dalam mereduksi volume limbah padat B3 serta menganalisis dampaknya terhadap efisiensi biaya pada Perusahaan Farmasi X. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi mesin crusher selama periode 2018–2023. Analisis dilakukan melalui Cost Saving Analysis dan Life Cycle Cost Analysis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin crusher mampu mengurangi volume limbah secara substansial dan menghasilkan penghematan biaya tahunan yang tinggi, dengan tingkat pengembalian investasi yang menguntungkan serta periode pengembalian yang relatif singkat. Namun, penurunan nilai aset selama masa penggunaan menunjukkan perlunya strategi pemeliharaan yang lebih proaktif. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi reduksi limbah dapat meningkatkan efisiensi finansial, memperkuat kemandirian pengelolaan limbah, dan mendukung praktik industri farmasi yang lebih berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dalam kegiatan industri farmasi merupakan aspek yang sangat penting dan berada di bawah pengawasan ketat regulasi pemerintah. Ketentuan tersebut diatur dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3. Regulasi ini menuntut tanggung jawab menyeluruh dari tahap identifikasi hingga pengolahan akhir limbah, yang pada praktiknya seringkali berdampak pada meningkatnya biaya operasional perusahaan (UU No. 32 Tahun 2009; PP No. 101 Tahun 2014).

Perusahaan Farmasi X, yang telah beroperasi sejak tahun 1940-an, menghadapi tantangan signifikan berupa peningkatan biaya pengelolaan limbah padat B3. Berdasarkan data internal,

meskipun volume limbah menunjukkan tren penurunan pada periode 2018 hingga 2020, ketergantungan terhadap pihak ketiga dalam proses pengangkutan dan pengolahan limbah tetap menyebabkan beban finansial yang cukup besar. Sebagai ilustrasi, biaya pengelolaan limbah padat B3 pada tahun 2018 tercatat mencapai Rp429.789.900,00.

Sebagai upaya mengatasi ketidakefisienan tersebut, perusahaan melakukan langkah strategis melalui investasi teknologi berupa mesin *crusher*. Teknologi ini dimanfaatkan untuk mengurangi volume limbah padat B3 secara internal sebelum diserahkan kepada pihak ketiga. Secara operasional, mesin ini bekerja dengan menghancurkan limbah kemasan seperti botol plastik, strip, dan *blister* menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga diharapkan dapat menekan volume timbunan limbah serta biaya transportasi dan pengolahan limbah. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas penggunaan mesin *crusher* dalam mereduksi volume limbah serta menganalisis dampaknya terhadap efisiensi biaya melalui metode *Cost Saving Analysis* (CSA) dan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA). Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi potensi pemanfaatan hasil efisiensi biaya untuk mendukung pengelolaan lingkungan internal lainnya guna menunjang keberlanjutan operasional perusahaan.

LANDASAN TEORI

Penelitian ini berfokus pada konsep efektivitas operasional, pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), serta efisiensi biaya dalam industri farmasi. Efektivitas operasional diartikan sebagai kemampuan suatu teknologi atau proses dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan, dalam hal ini adalah kemampuan mesin *crusher* untuk mereduksi volume limbah secara optimal. Dalam konteks pengelolaan limbah B3, kegiatan pengurangan, penyimpanan, pengangkutan, hingga pengolahan harus dilakukan sesuai prinsip ramah lingkungan dan ketentuan regulasi yang berlaku, sehingga memerlukan sistem yang efisien dan terintegrasi. Penggunaan teknologi mesin *crusher* merupakan bagian dari strategi *waste minimization*, yaitu upaya pengurangan volume limbah pada sumbernya melalui proses mekanis.

Dengan berkurangnya volume limbah, maka beban pengangkutan dan biaya pengolahan oleh pihak ketiga dapat ditekan. Oleh karena itu, konsep efisiensi biaya menjadi relevan untuk mengukur keberhasilan implementasi teknologi ini. Analisis efisiensi biaya dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Cost Saving Analysis* (CSA) untuk mengidentifikasi penghematan yang diperoleh serta *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) untuk mengevaluasi biaya total selama siklus hidup aset. Dengan demikian, landasan teori penelitian ini mengintegrasikan konsep efektivitas teknologi, pengelolaan limbah B3 yang berkelanjutan, serta analisis ekonomi teknik untuk menilai manfaat operasional dan finansial dari penggunaan mesin *crusher* dalam industri farmasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif komparatif untuk menilai efektivitas penerapan teknologi dalam pengelolaan limbah. Studi dilaksanakan di Perusahaan Farmasi X yang berlokasi di Kawasan Industri JIEP Pulogadung, Jakarta Timur, dengan penekanan pada operasional mesin *crusher*. Periode pengamatan berlangsung selama enam tahun, yaitu 2018 hingga 2023, yang dibagi ke dalam dua tahap utama: sebelum penerapan teknologi (2018–2020) dan setelah implementasi mesin *crusher* (2021–2023). Ruang lingkup penelitian difokuskan pada limbah padat B3, meliputi botol plastik, strip, *blister*, serta kemasan sekunder dan tersier, tanpa mencakup analisis terhadap limbah cair maupun emisi gas.

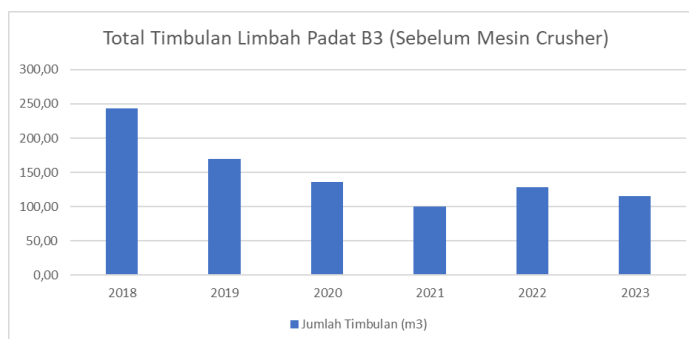
HASIL DAN PEMBAHASAN

Timbulan Limbah Padat B3

Limbah padat Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) merupakan jenis limbah yang memiliki potensi besar menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam industri farmasi, salah satu sumber limbah padat B3 berasal dari sisa hasil produksi obat. Apabila limbah ini dibuang langsung ke lingkungan, khususnya ke badan air, dapat menyebabkan pencemaran oleh zat aktif tertentu yang berujung pada kerusakan ekosistem perairan serta kematian biota seperti hewan air, fitoplankton, dan tumbuhan air.

Dalam penelitian ini, limbah padat B3 diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama. Pertama, *Solid Medicine Waste*, yaitu limbah padat berupa sisa obat hasil kegiatan analisis di laboratorium. Sebelum produk obat dipasarkan, dilakukan pengujian oleh tim *Quality Control*, sehingga menghasilkan residu seperti sisa tablet, reagen analisis, serta sampel padat yang tidak terpakai. Kedua, *Contaminated Goods*, yaitu limbah padat yang terkontaminasi bahan obat, umumnya berupa kemasan primer seperti strip, botol obat, dan plastik sampel. Kategori ini merupakan penyumbang limbah terbesar setiap tahunnya karena tingginya penggunaan bahan dalam proses produksi dan analisis. Ketiga, *Consumer Goods*, yaitu limbah berupa obat kedaluwarsa atau produk yang dikembalikan ke perusahaan sebagai bagian dari pemenuhan standar kepatuhan.

Seluruh limbah padat B3 yang dihasilkan terlebih dahulu dihancurkan menggunakan mesin *crusher* untuk mengurangi volumenya. Setelah melalui proses pencacahan, limbah kemudian diserahkan kepada pihak ketiga dalam kondisi volume yang lebih kecil dibandingkan sebelum pengolahan. Berikut disajikan rekapitulasi timbulan limbah padat B3 yang dihasilkan oleh industri farmasi.



Gambar 1. Grafik Total Timbulan Limbah Padat B3 (Sebelum Mesin *Crusher*)

Berdasarkan data pada tabel, informasi yang disajikan merupakan akumulasi dari tiga kategori limbah yang dihasilkan oleh perusahaan farmasi X. Secara umum, terlihat adanya tren penurunan volume limbah dari tahun 2018 hingga 2021, kemudian terjadi peningkatan signifikan pada tahun 2022, dan kembali mengalami penurunan pada tahun 2023. Lonjakan volume limbah pada tahun 2022 terutama dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah *reagent* kedaluwarsa. Hal ini berkaitan dengan tingginya permintaan pasar terhadap produk suplemen kesehatan yang mendorong peningkatan produksi, sehingga penggunaan *reagent* untuk keperluan analisis di laboratorium *Quality Control* baik kimia maupun mikrobiologi juga meningkat. Kondisi tersebut, ditambah dengan penurunan aktivitas produksi pada tahun 2021 yang kemudian kembali normal pada 2022, menyebabkan akumulasi *reagent* kedaluwarsa dalam waktu yang bersamaan.

Hasil analisis total timbulan limbah padat B3 sebelum proses penghancuran menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan selama periode 2018–2023. Pada awalnya, perusahaan menunjukkan kinerja pengelolaan limbah yang baik, ditandai dengan penurunan sebesar 30,1% pada tahun 2019 dan mencapai titik terendah sebesar 100,5 m³ pada tahun 2021. Penurunan ini mengindikasikan bahwa strategi awal, seperti pemilahan limbah di sumber dan optimalisasi proses, berjalan efektif.

Namun demikian, karena perusahaan belum memiliki fasilitas pengolahan limbah padat B3 secara mandiri, pengelolaan limbah masih bergantung pada pihak ketiga. Meskipun volume limbah sempat menurun hingga tahun 2020, manajemen perusahaan menetapkan target pengurangan limbah di bawah 100 m³ per tahun. Tingginya volume limbah yang dihasilkan tetap berdampak pada besarnya biaya pengelolaan. Oleh karena itu, pada kuartal IV tahun 2020, perusahaan melakukan investasi dengan membeli mesin *crusher* untuk menghancurkan limbah padat B3. Setelah implementasi teknologi ini, limbah diolah terlebih dahulu menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga volumenya berkurang sebelum diserahkan kepada pihak ketiga untuk dimusnahkan. Penurunan volume ini secara langsung berkontribusi pada pengurangan biaya pengelolaan limbah. Berikut disajikan rekapitulasi volume limbah setelah penggunaan mesin *crusher*.



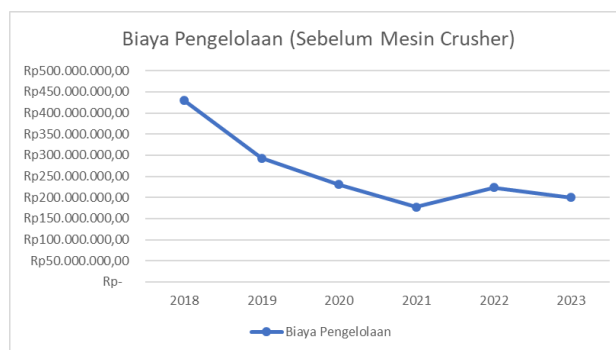
Gambar 2. Grafik Total Timbulan Limbah Padat B3 (Setelah Mesin *Crusher*)

Berdasarkan data rekapitulasi, diketahui bahwa volume timbulan limbah mengalami penurunan signifikan hingga 84% pada tahun 2021 setelah pengadaan dan penggunaan mesin *crusher*. Penurunan ini terjadi karena mesin mulai beroperasi secara optimal sejak awal tahun 2021. Setelah implementasi, tim operasional melakukan perhitungan rata-rata pengurangan volume limbah setiap kuartal. Pada tahun 2021 sebagai tahun awal operasional, tercatat penurunan sebesar 1,15 m³ per kuartal, atau setara dengan 4,6 m³ per tahun.

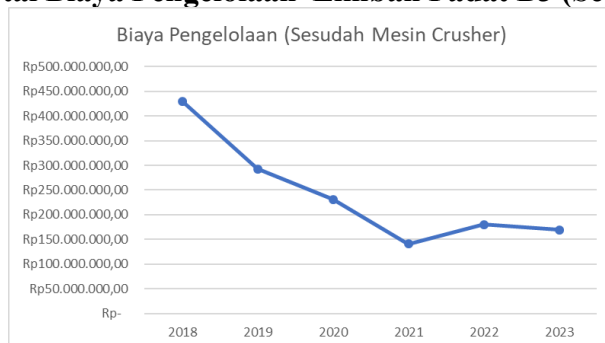
Pada tahun 2022, tingkat pengurangan meningkat menjadi 1,25 m³ per kuartal, sehingga total reduksi tahunan mencapai sekitar 5 m³. Namun demikian, tingginya total timbulan limbah pada tahun tersebut menyebabkan volume limbah secara keseluruhan tetap meningkat dibandingkan tahun lainnya. Selanjutnya, pada tahun 2023, terjadi peningkatan kembali dalam efisiensi pengurangan limbah menjadi 1,31 m³ per kuartal atau sekitar 5,24 m³ per tahun. Hasil analisis ini menunjukkan adanya tren peningkatan efektivitas pengurangan limbah setiap tahun setelah mesin *crusher* dioperasikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan mesin *crusher* terbukti efektif dalam menurunkan volume timbulan limbah padat B3. Penurunan volume ini juga berdampak langsung pada berkurangnya biaya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk pengelolaan limbah.

Biaya Pengelolaan Limbah Padat B3

Biaya pengelolaan limbah padat B3 merupakan pengeluaran rutin tahunan perusahaan dalam menangani limbah yang dihasilkan. Karena industri farmasi X belum memiliki fasilitas pengolahan limbah internal, seluruh limbah padat B3 diserahkan kepada pihak ketiga untuk dikelola. Biaya tersebut mencakup keseluruhan proses, mulai dari transportasi hingga pengolahan limbah oleh pihak eksternal. Data yang disajikan merupakan total biaya pengelolaan limbah padat B3 selama periode 2018 hingga 2023. Pada rentang tahun 2018 hingga 2021, terlihat adanya penurunan biaya yang sejalan dengan berkurangnya volume limbah. Mesin *crusher* mulai beroperasi efektif pada tahun 2021, namun data biaya pada periode 2021–2023 yang ditampilkan masih merepresentasikan biaya sebelum proses penghancuran (*crushing*).



Gambar 3. Grafik Total Biaya Pengelolaan Limbah Padat B3 (Sebelum Mesin Crusher)



Gambar 4. Grafik Total Biaya Pengelolaan Limbah Padat B3 (Setelah Mesin Crusher)

Meskipun secara umum terjadi penurunan volume limbah padat B3 selama periode 2018–2023, perbandingan pada rentang tahun 2021–2023 antara kondisi sebelum dan sesudah penggunaan mesin *crusher* menunjukkan bahwa teknologi ini efektif dalam menurunkan volume limbah sebelum diserahkan kepada pihak ketiga. Dampak langsungnya adalah berkurangnya biaya yang harus ditanggung perusahaan dalam pengelolaan limbah padat B3.

Cost Saving Analysis (CSA)

Cost Saving Analysis (CSA) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi serta mengevaluasi komponen biaya yang berpotensi dihemat guna meningkatkan efisiensi operasional dan profitabilitas perusahaan. Pendekatan ini menitikberatkan pada pengurangan pengeluaran tanpa mengurangi kualitas *output*, sehingga mampu menjaga stabilitas arus kas sekaligus meningkatkan laba. Dalam konteks ini, salah satu implementasi CSA pada industri farmasi X adalah pengelolaan limbah padat B3. Hasil analisis menunjukkan bahwa total

penghematan biaya tahunan mencapai Rp219.955.400,00, dengan tingkat *Return on Investment* (ROI) sebesar 51% serta *Payback Period* selama 5 bulan. Hal ini menandakan bahwa investasi mesin *crusher* memberikan manfaat finansial yang signifikan dalam waktu relatif singkat.

Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

Life Cycle Cost Analysis (LCCA) merupakan pendekatan ekonomi yang digunakan untuk menghitung total biaya kepemilikan suatu aset sepanjang umur pakainya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada tahun keempat dari estimasi masa pakai delapan tahun, mesin *crusher* telah mengalami penyusutan sebesar 66%. Angka ini mengindikasikan bahwa aset telah memasuki tahap lanjut dalam siklus hidupnya, sehingga diperlukan perubahan strategi pemeliharaan dari *Preventive Maintenance* menjadi *Proactive Maintenance* guna meminimalkan risiko kerugian akibat *downtime*.

Tingkat penyusutan rata-rata sebesar 16,5% per tahun menunjukkan bahwa mesin telah melewati sekitar dua pertiga masa manfaat ekonomisnya. Dengan sisa nilai aset sekitar 34%, biaya pemeliharaan berpotensi mendekati atau bahkan melampaui nilai ekonomis yang tersisa. Jika tren ini berlanjut, dalam dua tahun ke depan tingkat penyusutan diperkirakan mencapai lebih dari 90%, sehingga secara ekonomi penggantian alat menjadi lebih rasional dibandingkan mempertahankan mesin yang ada.

Berdasarkan data operasional, penggunaan mesin *crusher* terbukti efektif dalam mengurangi volume limbah padat B3 sejak tahap awal pengelolaan. Sebelum penerapan teknologi ini, volume limbah mencapai 242,91 m³ pada tahun 2018. Dari perspektif manajemen lingkungan, penerapan mesin ini sejalan dengan prinsip hierarki pengelolaan limbah, khususnya pada aspek pengurangan (*reduce*). Dengan dilakukannya proses reduksi volume secara internal, perusahaan mampu mengurangi ketergantungan pada pihak ketiga serta menekan biaya operasional. Selain itu, pengurangan volume limbah seperti botol plastik, strip, *blister*, serta kemasan lainnya juga berkontribusi dalam meminimalkan risiko pencemaran lingkungan, baik terhadap tanah maupun air. Secara keseluruhan, penggunaan mesin *crusher* terbukti menjadi solusi efektif dalam menekan volume timbulan limbah padat B3 sekaligus meningkatkan efisiensi biaya pengelolaan.

KESIMPULAN

Penerapan mesin *crusher* dalam pengelolaan limbah padat B3 di Perusahaan Farmasi X terbukti memberikan hasil yang efektif, baik dari sisi operasional lingkungan maupun efisiensi biaya. Dari aspek operasional, teknologi ini mampu menurunkan volume limbah secara signifikan hingga mencapai 84% pada tahun pertama penggunaannya, yaitu 2021. Sementara itu, dari perspektif finansial, hasil *Cost Saving Analysis* menunjukkan adanya penghematan biaya operasional sebesar Rp219.955.400,00, dengan tingkat *Return on Investment* (ROI) sebesar 51% serta *Payback Period* yang relatif singkat, yakni hanya 5 bulan.

Namun demikian, berdasarkan hasil *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA), mesin tersebut telah mengalami penyusutan nilai sebesar 66% setelah empat tahun penggunaan. Hal ini mengindikasikan perlunya perubahan strategi pemeliharaan dari *Preventive Maintenance* menuju *Proactive Maintenance* guna mengantisipasi peningkatan biaya perbaikan di masa mendatang. Secara keseluruhan, investasi pada teknologi ini dinilai berhasil dalam mendukung prinsip hierarki pengelolaan limbah, terutama dalam upaya pengurangan volume limbah, sekaligus menekan ketergantungan terhadap pihak ketiga dan mengurangi potensi pencemaran lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeoye, J. B., Tan, Y. H., Lau, S. Y., Tan, Y. Y., Chiong, T., Mubarak, N. M., & Khalid, M. (2024). Advanced oxidation and biological integrated processes for pharmaceutical wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 353, Article 120170. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120170>
- Ajekiiigbe, V. O., Agbo, C. E., Ogieuhi, I. J., Anthony, C. S., Onuigbo, C. S., Falayi, T. A., Oluwapelumi, O. Z., Amusa, O., Adeniran, G. O., Ogunleke, P. O., & Bakare, I. S. (2025). The increasing burden of global environmental threats: Role of antibiotic pollution from pharmaceutical wastes in the rise of antibiotic resistance. *Discover Public Health*, 22, Article 120. <https://doi.org/10.1186/s12982-025-00506-9>
- Bialas, C., Bechtsis, D., Aivazidou, E., Achillas, C., & Aidonis, D. (2023). A holistic view on the adoption and cost-effectiveness of technology-driven supply chain management practices in healthcare. *Sustainability*, 15(6), Article 5541. <https://doi.org/10.3390/su15065541>
- Cahyaputri, B., Hasibuan, B., Soecahyadi, S., Oktaviani, D., Prayoga, G., & Aprianda, R. (2025). Penerapan konsep ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah organik di SMAN 1 Sukaraja. *IKRA-ITH ABDIMAS*, 9(1), 283–290. <https://journals.upiyai.ac.id/index.php/IKRAITH-ABDIMAS/article/view/4600>
- Fajriyah, S. A., & Wardhani, E. (2020). Evaluasi pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di PT X. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(1), 711–719.
- Kartikasari, S. E., & Sukwika, T. (2021). Disiplin K3 melalui pemakaian alat pelindung diri (APD) di laboratorium kimia PT Sucofindo. *VISIQUES: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 20(1), 41–50. <https://doi.org/10.33633/visiques.v20i1.4173>
- Li, J., Xiao, F., Zhang, L., & Amirkhanian, S. N. (2019). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1182–1206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>
- Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. (2021). Kondisi pengelolaan limbah B3 industri di Indonesia dan potensi dampaknya: Studi literatur. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 80–90. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1841>
- Pramudi, G., Akbar, H. I., & Rovianto, E. (2024). Mesin pencacah (crusher) daur ulang limbah rosok plastik untuk revitalisasi pengelolaan limbah plastik di Kabupaten Magelang. *JDISTIRA: Jurnal Pengabdian Inovasi dan Teknologi kepada Masyarakat*, 4(1), 76–82. <https://doi.org/10.58794/jdt.v4i1.854>
- Somwanshi, S. B., Dolas, R. T., Wagh, V. D., & Kotade, K. B. (2016). Pharmaceutically used plasticizers: A review. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 3(12), 277–285.