



Optimalisasi Kualitas Polipropilena Daur Ulang: Solusi Mengurangi Produk Cacat di Industri Komponen Plastik

Erfina Oktariani¹, Sekar Jingga Larasati¹, Fitri Nobela Dianti¹

Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI
Jl. Letjen Suprpto No. 26, Cempaka Putih, Jakarta Pusat, INDONESIA
E-mail Author Korespondensi: erfina@kemenperin.go.id

Abstract

The optimization of recycled polypropylene (PP) quality has become a primary challenge for plastic manufacturing companies in their efforts to reduce costs and support environmental sustainability. Using recycled PP subjected to multiple processing cycles leads to mechanical property degradation, defective products (NG), and financial losses. The Community Service Program (PkM) conducted by Politeknik STMI Jakarta aimed to address this issue by adding antioxidants to improve the quality of recycled PP. The methods implemented included needs analysis, testing, validation, production process optimization, workforce training, and product quality monitoring. Experimental results demonstrated that adding primary and secondary antioxidants enhanced the mechanical properties of recycled PP, approaching the quality of virgin PP, and significantly reduced the number of NG products. The monitoring and evaluation results indicated that the program improved workforce knowledge and skills and contributed to the company's production capacity. Partner satisfaction surveys indicated ratings of "satisfied" and "very satisfied," while indicators of partner empowerment, including product quality improvement, production volume, and management capabilities, showed substantial gains. In conclusion, this program activity effectively improved production efficiency and product quality with a cost-effective solution, supported the principles of a circular economy, and met the comprehensive targets for partner empowerment enhancement.

Keywords: *Production quality, Crack product, Polypropylene, Polyamide 6,6*

Abstrak

Optimalisasi kualitas polipropilena (PP) daur ulang menjadi tantangan utama di perusahaan manufaktur plastik, dalam upaya menekan biaya dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Penggunaan PP daur ulang yang telah mengalami siklus pemrosesan berulang menyebabkan degradasi sifat mekanik, peningkatan produk cacat (NG), serta kerugian finansial. Program Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) yang dilaksanakan oleh Politeknik STMI Jakarta bertujuan mengatasi masalah ini melalui penambahan antioksidan untuk meningkatkan kualitas PP daur ulang. Metode yang diterapkan meliputi analisis

This is an open access article under the CC-BY-NC license



kebutuhan, pengujian, validasi, optimasi proses produksi, pelatihan tenaga kerja, serta monitoring kualitas produk. Hasil uji coba menunjukkan bahwa penambahan antioksidan primer dan sekunder meningkatkan sifat mekanik PP daur ulang mendekati kualitas PP virgin dan mengurangi jumlah produk NG sebesar $\pm 30\%$. Evaluasi monitoring menunjukkan bahwa program ini tidak hanya meningkatkan pengetahuan dan keterampilan tenaga kerja tetapi juga memperluas kapasitas produksi perusahaan. Survei kepuasan mitra menunjukkan hasil "puas" dan "sangat puas", sementara indikator peningkatan level keberdayaan mitra, mencakup peningkatan kualitas produk, jumlah produk, dan kemampuan manajemen, mengalami peningkatan yang signifikan. Kesimpulannya, kegiatan PkM ini berhasil meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk dengan solusi biaya rendah, mendukung prinsip ekonomi sirkular, serta memenuhi target peningkatan keberdayaan mitra secara menyeluruh.

Kata kunci: *polipropilena daur ulang, antioksidan, optimalisasi kualitas*

Pendahuluan

Salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produksi berbagai jenis barang plastik di wilayah Banten, menggunakan bahan utama polipropilena (PP) yang dicampur dengan *masterbatch*. Dalam beberapa tahun terakhir, perusahaan ini menghadapi permasalahan signifikan terkait kualitas produk yang dihasilkan. Salah satu masalah utama yang dihadapi adalah meningkatnya jumlah produk yang tidak memenuhi standar kualitas (*no good* atau NG), yang berdampak langsung pada kerugian finansial dan reputasi perusahaan (Gambar 1.1).



Gambar 1. Contoh Produk *No Good* (NG) pada *Guide Duct PP Super White*

Salah satu penyebab utama dari peningkatan produk NG adalah kebijakan perusahaan untuk menggunakan kembali PP daur ulang yang telah melalui proses pemrosesan lebih dari lima kali. Salah satu upaya untuk mengurangi biaya bahan baku dan menerapkan praktik produksi yang lebih ramah

lingkungan adalah dengan mencampur PP daur ulang ini dengan PP *virgin* (PP murni yang belum pernah didaur ulang). Namun, masalah yang timbul dari cara ini adalah degradasi kualitas PP daur ulang yang sudah mengalami banyak siklus pemrosesan, yang berdampak buruk pada sifat mekanik dan fisik material.

Degradasi PP akan mengakibatkan jumlah produk NG meningkat. Hal ini dapat dilihat dari data perusahaan sebagai *sampling* diambil dari data produksi bulan Februari 2024. Total produksi bulan Februari 2024 adalah sebanyak 26.970 dengan 749 produk NG. Produk NG tersebut kemudian dihaluskan dengan *crusher* untuk digunakan kembali dengan dicampur PP *virgin* pada produksi bulan Maret 2024. Hasil produksi bulan Maret 2024 menunjukkan produk NG yang jauh lebih besar daripada bulan Februari 2024. Hal ini cukup merugikan dan menjadi tantangan untuk mencari solusi terbaik dengan biaya yang rendah.

Pendekatan Program

Program Pengabdian kepada Masyarakat dirancang untuk mengatasi degradasi PP daur ulang melalui serangkaian kegiatan sebagai berikut:

1. **Analisis Kebutuhan:** Mengidentifikasi tingkat degradasi material dan menentukan jenis serta konsentrasi antioksidan yang paling efektif.
2. **Pengujian dan Validasi:** Melakukan uji tarik, uji impak, dan analisis termal untuk mengevaluasi efektivitas penambahan antioksidan.
3. **Optimasi Proses Produksi:** Mengoptimalkan parameter produksi seperti suhu pencampuran dan waktu pemrosesan untuk memastikan homogenitas campuran PP *virgin*, PP daur ulang, dan antioksidan.
4. **Pelatihan dan Pengembangan:** Melatih tenaga kerja dalam penggunaan antioksidan dan proses pencampuran material yang tepat.
5. **Monitoring dan Evaluasi:** Mengukur keberhasilan melalui survei kepuasan mitra dan peningkatan indikator kinerja produksi.

Pelaksanaan Program

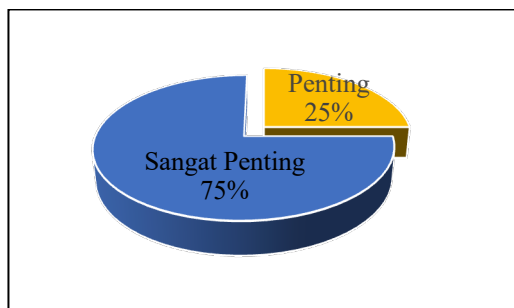
Program Pengabdian kepada Masyarakat ini dilaksanakan dengan sasaran pada industri skala menengah yang menghasilkan produk komponen polimer berbasis polipropilena, dengan tahapan berikut:

1. **Persiapan dan Analisis Kebutuhan:** Identifikasi dilakukan pada bulan Juni 2024 melalui observasi dan pengumpulan data di lapangan.
2. **Uji Coba dan Validasi:** Pengujian dilakukan di laboratorium Politeknik STMI Jakarta selama bulan Juli hingga Agustus 2024. Penambahan antioksidan primer dan sekunder (Irganox 1010 dan Irgafos 168) diuji untuk meningkatkan sifat mekanik PP daur ulang.
3. **Optimasi dan Pelatihan:** Pada bulan September, optimasi proses produksi dilakukan bersamaan dengan pelatihan tenaga kerja untuk meningkatkan pemahaman teknis.
4. **Monitoring dan Evaluasi:** Evaluasi dilaksanakan pada bulan Oktober, mencakup survei kepuasan mitra dan analisis hasil uji coba produksi.

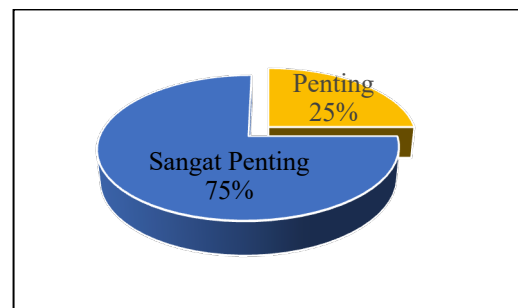
Diskusi Reflektif Capaian Program (*Program Reflective Discussion*)

Monitoring dan evaluasi dilakukan untuk menilai keberhasilan program PkM secara keseluruhan. Monitoring mencakup pemantauan pelaksanaan setiap tahap kegiatan, sementara evaluasi mengukur dampak kegiatan terhadap mitra masyarakat, termasuk apakah tujuan yang ditetapkan telah tercapai. Monitoring dan evaluasi terdiri dari kegiatan monitoring ke pelaku industri setelah pelaksanaan PkM dilaksanakan serta evaluasi terhadap hasil monitoring.

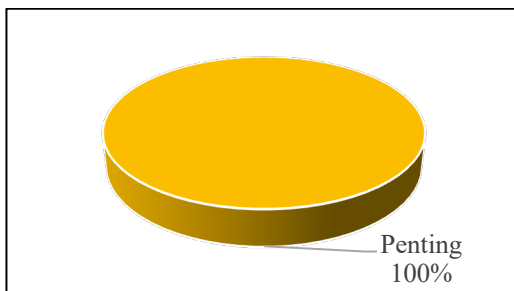
Indikator program PkM ini berhasil atau tidak dilakukan dengan pengisian lembar kuisioner oleh perwakilan dari perusahaan. Lima orang responder yang mengisi kuisioner adalah manajer HRD, Kepala Bagian R&D, Kepala Bagian Produksi, dan operator-operator. Hasil kuisioner kepuasan mitra terhadap pelaksanaan PkM dengan lima indikator kebutuhan, perusahaan menyatakan bahwa kegiatan penyuluhan PkM yang dilakukan bernilai “penting” dan “sangat penting” serta nilai kepuasan dari kegiatan penyuluhan yang dilakukan oleh tim PkM Politeknik STMI Jakarta adalah “puas” dan “sangat puas” sebagaimana pada Gambar 2 berikut.



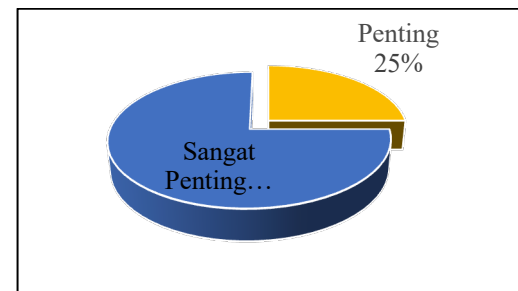
- a) Aplikasi/pelaksanaan PkM mampu memberdayakan masyarakat sehingga masyarakat sanggup berkarya secara mandiri



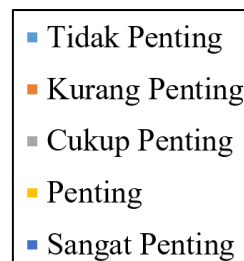
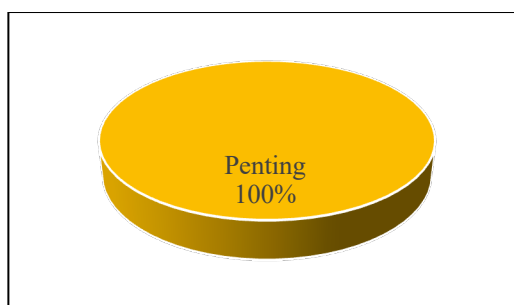
- b) Program PkM dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan Masyarakat



- c) Program PkM telah memberikan bekal kepada Masyarakat berupa kemampuan berpikir ataupun keterampilan lainnya



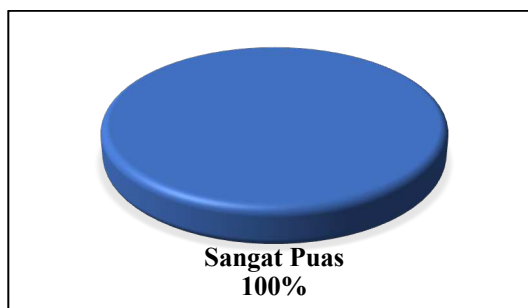
- d) Aplikasi/Pelaksanaan PkM dalam upaya pembelajaran masyarakat telah mampu meningkatkan daya nalar masyarakat



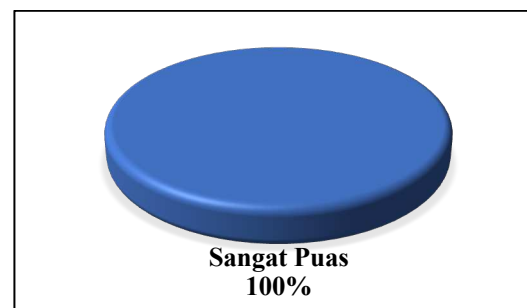
- e) Masyarakat telah memperoleh manfaat/terbantuan dalam penyelesaian masalahnya dari pelaksanaan PkM

Gambar 2 Hasil survei tingkat kepentingan pelaksanaan PkM di perusahaan

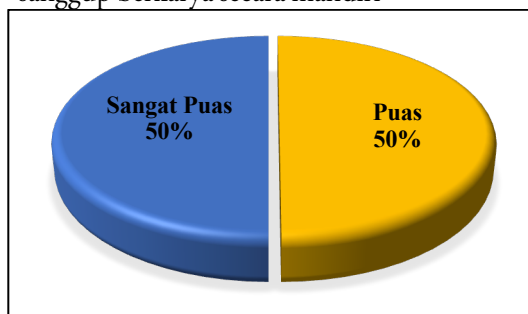
Mayoritas responden menganggap bahwa PkM sangat penting dalam upaya pemberdayaan masyarakat. Hal ini terlihat 75% responden memilih sangat penting. Tidak ada responden yang menganggapnya kurang penting atau tidak penting, menunjukkan bahwa PkM memiliki dampak yang kuat dalam meningkatkan kemandirian masyarakat. Perencanaan dan pelaksanaan PkM harus mempertimbangkan kebutuhan spesifik dari masyarakat yang menjadi target program. Semua responder sepakat bahwa PkM memang penting dalam meningkatkan keterampilan dan daya pikir masyarakat. Ini menunjukkan bahwa meskipun dampak PkM diakui, mungkin ada ruang untuk perbaikan dalam hal efektivitas peningkatan keterampilan. Mungkin masih ada ruang untuk meningkatkan efektivitas PkM di bidang tersebut. PkM yang efektif tidak hanya meningkatkan keterampilan praktis tetapi juga mengembangkan pola pikir masyarakat.



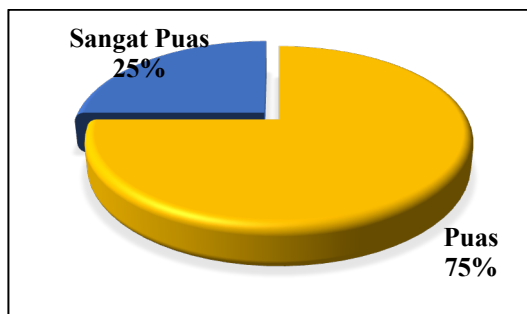
- a) Aplikasi/pelaksanaan PkM mampu memberdayakan masyarakat sehingga masyarakat sanggup berkarya secara mandiri



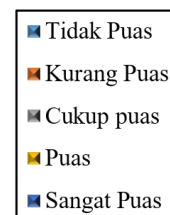
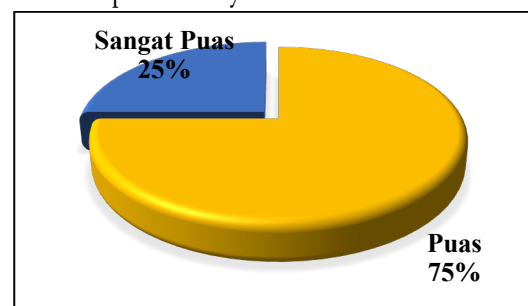
- b) Program PkM dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan Masyarakat



- c) Program PkM telah memberikan bekal kepada Masyarakat berupa kemampuan berpikir ataupun keterampilan lainnya



- d) Aplikasi/Pelaksanaan PkM dalam upaya pembelajaran masyarakat telah mampu meningkatkan daya nalar masyarakat



- e) Masyarakat telah memperoleh manfaat/terbantuan dalam penyelesaian masalahnya dari pelaksanaan PkM

Gambar 3. Hasil survei tingkat kepuasan pelaksanaan PkM di perusahaan

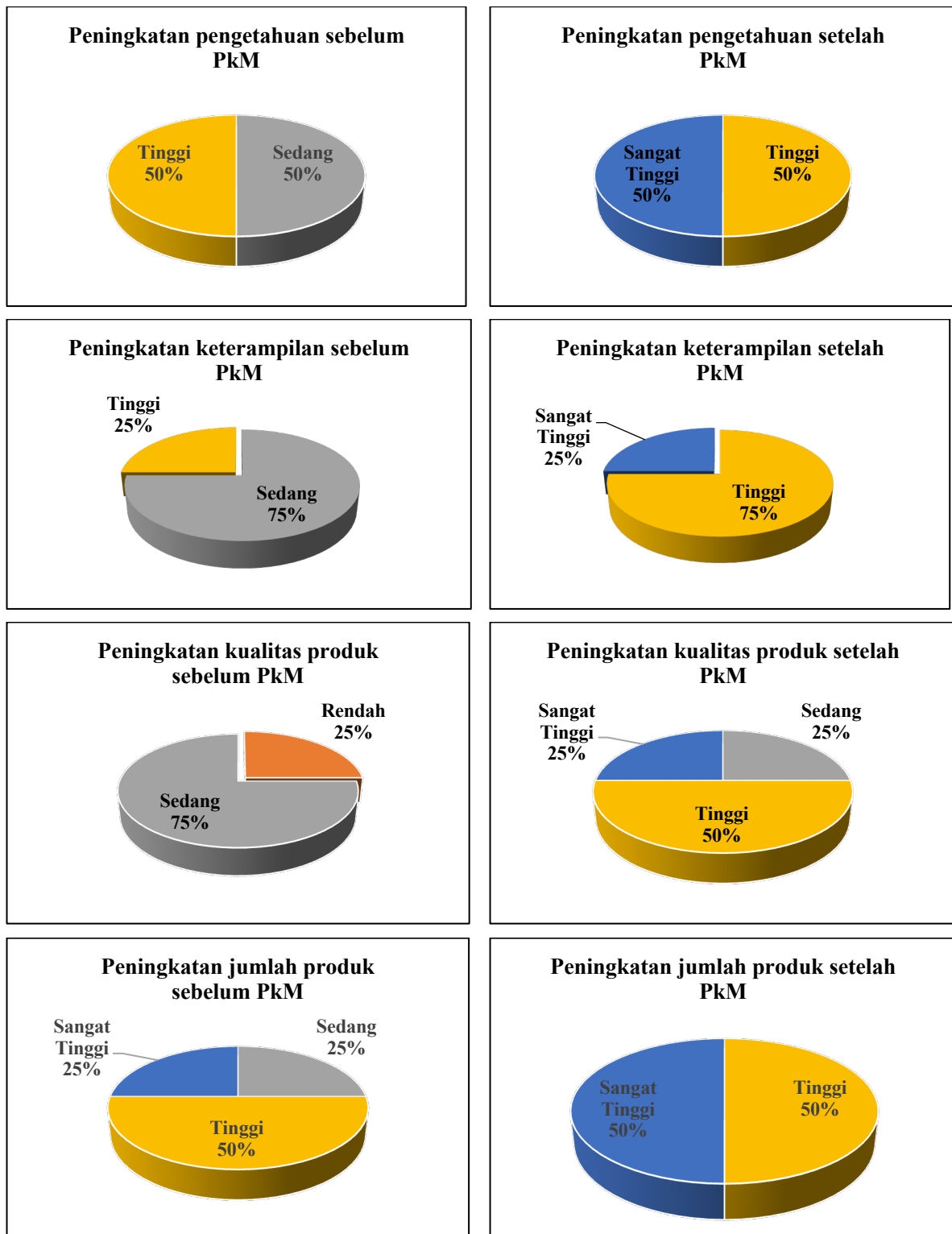
Tingkat kepuasan yang diperoleh pada kegiatan PkM bervariasi antara “puas” dan “sangat puas”. Perusahaan sangat terbuka bahkan meminta untuk dilakukan uji coba produksi dengan menambahkan aditif antioksidan primer dan sekunder sebagaimana yang disampaikan oleh tim. Pelaksanaan uji coba dilakukan setelah tiga kali kunjungan ke Perusahaan. Hasil dari uji coba menunjukkan berkurangnya produk gagal (*NG product*) dan meningkatnya siklus produksi. Adapun hasil kuisioner terkait Tingkat kepuasan mitra PkM dapat dilihat pada Gambar 3. Semua aspek mendapatkan nilai positif tanpa adanya ketidakpuasan, menunjukkan bahwa PkM telah diterapkan dengan baik. Aspek pemberdayaan masyarakat dan kesesuaian program dengan kebutuhan masyarakat mendapatkan 100% “Sangat Puas”, menandakan bahwa program dirancang dan diterapkan secara efektif. Aspek peningkatan keterampilan, daya nalar, dan penyelesaian masalah memiliki lebih banyak responden yang memilih “Puas” dibandingkan “Sangat Puas”. Ini menunjukkan adanya ruang untuk penguatan program dalam hal pendekatan yang lebih inovatif dalam pembelajaran, pelatihan yang lebih mendalam untuk meningkatkan keterampilan praktis masyarakat serta penguatan peran PkM dalam memberikan solusi bagi masalah nyata yang dihadapi masyarakat.

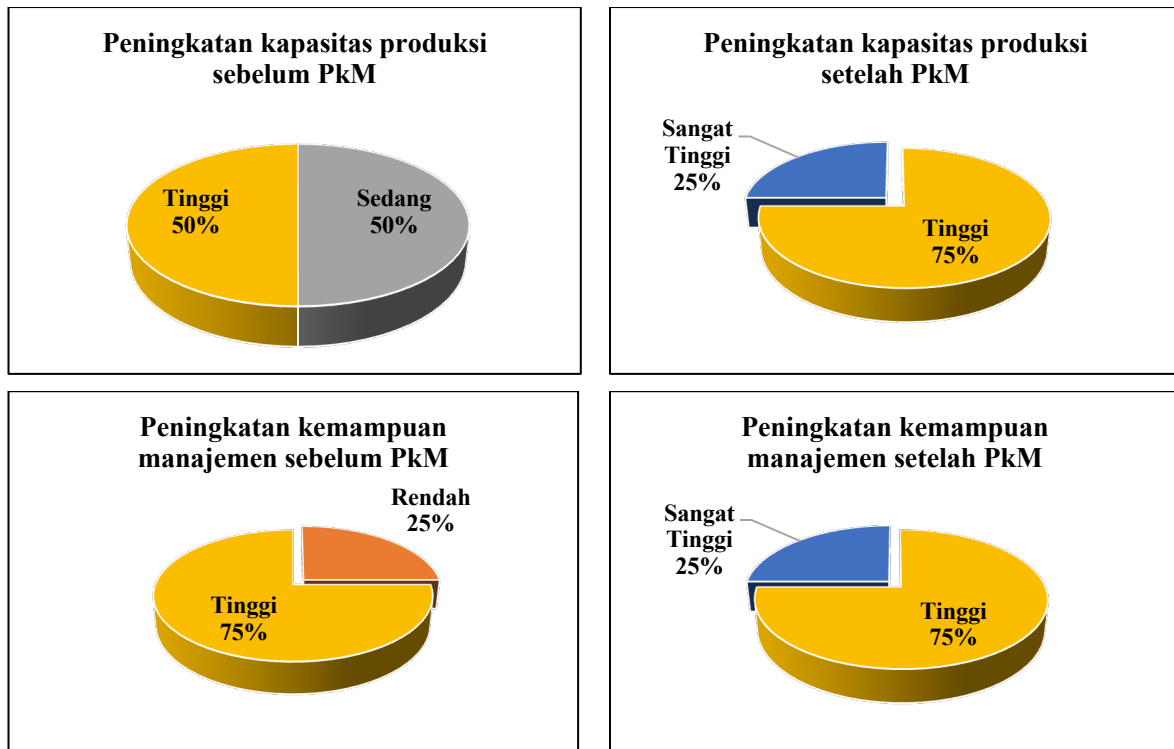
Indikator keberhasilan tahap evaluasi terhadap hasil monitoring ini diperoleh dari penyebaran Kuisioner Peningkatan Level Keberdayaan Mitra terhadap kegiatan PkM kepada perwakilan dari perusahaan. Ada 6 indikator yaitu peningkatan pengetahuan, keterampilan, kualitas produk, jumlah produk, kapasitas produksi dan kemampuan manajemen. Dari hasil kuisioner didapatkan informasi terjadi peningkatan level keberdayaan mitra pada hampir 6 indikator tersebut sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

Berdasarkan Gambar 4, terdapat peningkatan signifikan dalam setiap aspek setelah PkM dibandingkan sebelumnya. Kegiatan PkM memberikan peningkatan pengetahuan yang signifikan. Sebelumnya tidak ada responden dengan kategori “Sangat Tinggi”, tetapi setelah PkM, 50% responden mencapai kategori tersebut. Sebelum PkM, mayoritas responder hanya berada di tingkat “Sedang” dalam hal keterampilan. Setelah PkM, tidak ada lagi yang berada di tingkat “Sedang”, menunjukkan bahwa pelatihan dalam PkM berhasil meningkatkan keterampilan. Peningkatan kualitas produk juga mengalami perubahan. Sebelum PkM, tidak ada responden yang menilai kualitas produknya “Tinggi” atau “Sangat Tinggi”. Setelah PkM, 75% responden berada di kategori “Tinggi” dan “Sangat Tinggi”, menunjukkan peningkatan kualitas produk. Tidak ada lagi kategori “Sedang” setelah PkM dengan proporsi yang berada di kategori “Sangat Tinggi” meningkat menjadi 50%. Ini menunjukkan bahwa produksi meningkat setelah PkM diterapkan. Sebelum PkM, separuh responden masih berada di tingkat “Sedang”. Setelah PkM, semua naik ke kategori “Tinggi” dan “Sangat Tinggi”. Ini menunjukkan bahwa PkM berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas produksi. Sama dengan tren sebelumnya, tidak ada lagi yang berada di tingkat “Sedang” setelah PkM. Peningkatan pada kategori “Tinggi” menunjukkan bahwa mitra telah mengalami peningkatan dalam aspek manajerial setelah mengikuti PkM.

Secara keseluruhan, kegiatan PkM di Perusahaan ini berhasil meningkatkan keberdayaan mitra dengan hasil yang sangat positif di semua aspek yang diukur. Beberapa rekomendasi sebagai tindak lanjut dari kegiatan PkM ini antara lain pendampingan lanjutan dalam aspek manajerial,

seperti pengelolaan bisnis dan keuangan. Selain itu, diperlukan juga evaluasi berkala untuk melihat apakah peningkatan ini tetap berkelanjutan. Serta rekomendasi yang terakhir adalah pelatihan lanjutan untuk memastikan bahwa mitra bisa terus berkembang.





Gambar 4 Hasil survei Peningkatan Level Keberdayaan Mitra terhadap kegiatan PkM di perusahaan

Kesimpulan

Program PkM ini berhasil mengurangi produk cacat dan meningkatkan efisiensi produksi di salah satu Perusahaan produsen komponen polimer berbasis polipropilena dengan biaya rendah. Selain itu, program ini mendukung prinsip ekonomi sirkular melalui penggunaan kembali bahan daur ulang secara optimal. Penambahan antioksidan terbukti menjadi solusi yang efektif, dengan potensi pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan keberlanjutan industri plastik.

Pernyataan Bebas Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa naskah ini terbebas dari segala bentuk konflik kepentingan dan diproses sesuai ketentuan dan kebijakan jurnal yang berlaku untuk menghindari penyimpangan ketika publikasi dalam berbagai bentuknya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada perusahaan sebagai mitra PkM yang telah bersedia meluangkan waktu dan tempat serta Politeknik STMI Jakarta yang telah memberikan bantuan dana hingga terselenggaranya kegiatan PkM ini.

Daftar Pustaka

Abd El-Wahab, M., & El-Desouky, M. G. (2022). Study the effect of antioxidants on biological activity and on homopolypropylene; mechanical and physical properties. *Journal of*

- the Indian Chemical Society*, 99(12), 100764.
<https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100764>
- Achukwu, E. O., Owen, M. M., Shuib, S. Bin, Umar, A., Abdulmalik, A. O., Danladi, A., Dauda, B. M., Romli, A. Z., Ishiaku, U. S., & Hazizan, A. M. (2023). Effect of reprocessing on the service life properties of glass fiber-reinforced in-house polypropylene waste composites. *Advanced Manufacturing: Polymer and Composites Science*, 9(1).
<https://doi.org/10.1080/20550340.2023.2195317>
- Allen, N. S., & Edge, M. (2021). Perspectives on additives for polymers. 1. Aspects of stabilization. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 27(1), 5–27.
<https://doi.org/10.1002/vnl.21807>
- Alsabri, A., Tahir, F., & Al-Ghamdi, S. G. (2022). Environmental impacts of polypropylene (PP) production and prospects of its recycling in the GCC region. *Materials Today: Proceedings*, 56(April), 2245–2251. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.574>
- ASTM Internatiaonal. (2010). *ASTM D1238 Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*. <https://doi.org/10.1520/D1238-20.10.1520/D1238-23.2>
- Banerjee, S., Singh, P., Singh, V. P., & Samanta, S. (2023). *INFLUENCE OF THE REPROCESSING CYCLES ON THE PROPERTIES OF POLYPROPYLENE*. 12(3), 229–245.
- Bispo, S. J. L., Freire Júnior, R. C. S., Barbosa, J. F., Silva, C. C. da, & Cöuras Ford, E. T. L. (2022). Recycling of polypropylene and curaua fiber-based ecomposites: Effect of reprocessing on mechanical properties. *Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 57(2), 75–83. <https://doi.org/10.1177/0309324721997652>
- Brito, J., Hlushko, H., Abbott, A., Aliakseyeu, A., Hlushko, R., & Sukhishvili, S. A. (2021). Integrating Antioxidant Functionality into Polymer Materials: Fundamentals, Strategies, and Applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13(35), 41372–41395. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c08061>
- Carraher Jr., C. E. (2020). Free-Radical Chain Polymerization (Addition Polymerization). *Carraher's Polymer Chemistry*, 219–254. <https://doi.org/10.1201/b15405-10>
- Catic, I. (1991). Polymer testing. In *Polimeri (Zagreb)* (Third Edition, Vol. 12, Issues 3–4). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9781569908075.fm>
- Dhawan, A., Kumar, V., Parmar, V. S., & Cholli, A. L. (2012). Antioxidant Polymers: Synthesis, Properties, and Applications. In *Antioxidant Polymers: Synthesis, Properties, and Applications*. <https://doi.org/10.1002/9781118445440.ch13>
- DIN. (2005). Plastics — Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics. *International Standard, Fourth Edi*, 2; 12.
- Garcia-Vazquez, H. D., Martinez-Hernandez, H. D., Trujillo-Barragan, M., Mondragon-Flores, E., Rodriguez-Juarez, M. E., Millan-Malo, B. M., Villada-Villalobos, J. A., & Rodriguez-Garcia, M. E. (2023). Impact of thermomechanical reprocessing

- conditions on polypropylene composites made from automotive waste parts: A path to a circular economy. *Polymer Engineering and Science*, 63(7), 2031–2042. <https://doi.org/10.1002/pen.26343>
- Gdoutos, E., & Konsta-Gdoutos, M. (2024). Tensile Testing. In *Solid Mechanics and its Applications* (Vol. 275). https://doi.org/10.1007/978-3-031-45990-0_1
- Gijsman, P., & Fiorio, R. (2023). Long term thermo-oxidative degradation and stabilization of polypropylene (PP) and the implications for its recyclability. *Polymer Degradation and Stability*, 208(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110260>
- Gijsman, P., Hensen, G., & Mak, M. (2021). Thermal initiation of the oxidation of thermoplastic polymers (Polyamides, Polyesters and UHMwPE). *Polymer Degradation and Stability*, 183, 109452. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109452>
- Grause, G., Chien, M. F., & Inoue, C. (2020). Changes during the weathering of polyolefins. *Polymer Degradation and Stability*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109364>
- Hernández-Fernández, J., Rayón, E., López, J., & Arrieta, M. P. (2019). Enhancing the Thermal Stability of Polypropylene by Blending with Low Amounts of Natural Antioxidants. *Macromolecular Materials and Engineering*, 304(11), 1–13. <https://doi.org/10.1002/mame.201900379>
- Hinczica, J., Messiha, M., Koch, T., Frank, A., & Pinter, G. (2022). Influence of Recyclates on Mechanical Properties and Lifetime Performance of Polypropylene Materials. *Procedia Structural Integrity*, 42(2019), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.12.017>
- Hisham A. Maddah. (2016). Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. *American Journal of Polymer Science*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01>
- Hoang, C. N., & Le, N. T. H. X. (2022). Application of Antioxidant in BOPP book cover recycling. *Science and Technology Development Journal*, 25(3), 2469–2480. <https://doi.org/10.32508/stdj.v25i3.3955>
- Hu, X., Zhao, M., & Huang, H. (2010). Modification of Pineapple Peel Fiber as Metal Ion Adsorbent through Reaction with Succinic Anhydride in Pyridine and Dimethyl Sulfoxide Solvents. *Water Environment Research*, 82(8), 733–741. <https://doi.org/10.2175/106143009x12529484816150>
- Karian, H. G. (2021). Polypropylene: Structure, Properties, Manufacturing Processes, and Applications. In *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, Revised and Expanded*. <https://doi.org/10.1201/9780203911808-7>
- Musajan, D., Mamatjan, M., Beken, R., & Yimit, M. (2020). Impact of natural antioxidant systems on the oxidation resistance and mechanical properties of polypropylene. *Polish Journal of Chemical Technology*, 22(1), 68–74. <https://doi.org/10.2478/pjct-2020-0010>

- Oktariani, E., Arina, H., & Christine, R. (2023). Penyuluhan Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Sebagai Penguat Polipropilena Di Pt. Laksana Teknik Makmur. *Aptekmas*, 6(1), 101–105. <http://dx.doi.org/10.36257/aps.vxixpp101-105>
- Pfaendner, R. (2022). Restabilization – 30 years of research for quality improvement of recycled plastics review. *Polymer Degradation and Stability*, 203(July), 110082. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.110082>
- Rychlý, J., Mosnáčková, K., Rychlá, L., Fiedlerová, A., Kasza, G., Nádor, A., Osváth, Z., Stumphauer, T., Szarka, G., Czaníková, K., Chmela, Š., Iván, B., & Mosnáček, J. (2015). Comparison of the UV stabilisation effect of commercially available processing stabilizers Irganox HP 136 and Irganox 1010. *Polymer Degradation and Stability*, 118, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.04.007>
- Schyns, Z. O. G., & Shaver, M. P. (2021). Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review. *Macromolecular Rapid Communications*, 42(3), 1–27. <https://doi.org/10.1002/marc.202000415>
- Sergi, C., Tirillò, J., Iacovacci, C., & Sarasini, F. (2023). Influence of reprocessing cycles on the morphological, thermal and mechanical properties of flax/basalt hybrid polypropylene composites. *Sustainable Materials and Technologies*, 36(April). <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00648>
- Shubhra, Q. T. H., Alam, A. K. M. M., & Quaiyyum, M. A. (2013). Mechanical properties of polypropylene composites: A review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(3), 362–391. <https://doi.org/10.1177/0892705711428659>
- Subramanian, M. N. (2015). Basics of Polymers. In *Momentum Press Engineering*.
- Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., & Vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973–1976. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0054>
- Ullah, J., Harkin-Jones, E., McIlhagger, A., Magee, C., Tormey, D., Dave, F., Sherlock, R., & Dixon, D. (2022). The effect of masterbatch pigments on the crystallisation, morphology, and shrinkage behaviour of Isotactic Polypropylene. *Journal of Polymer Research*, 29(5). <https://doi.org/10.1007/s10965-022-03028-z>
- von Vacano, B., Reich, O., Huber, G., & Türkoglu, G. (2023). Elucidating pathways of polypropylene chain cleavage and stabilization for multiple loop mechanical recycling. *Journal of Polymer Science*, 61(16), 1849–1858. <https://doi.org/10.1002/pol.20230121>
- Wypch, G. (2016). Handbook of Polymer. In *Handbook of Thermoplastics: Second Edition*.
- Xia, H., Gao, H., Zhang, Y., Wang, Z., Song, L., Liu, L., Tian, X., Huang, X., & Yu, Q. (2021). Natural antioxidant from bamboo leaves for the processing stability of polypropylene. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 146(4), 1657–1665. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10115-0>