

Penyuluhan Penggunaan *Nanotalcs* sebagai Penguat pada Komposit Berbasis *High Density Polyethylene (HDPE)* *Recycle*

¹Andi Rusnaenah, ¹Rizqi Siraj Hanifah

¹ Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta

Korespondensi: andiena@stmi.ac.id

Abstrak: *High density polyethylene* (HDPE) merupakan salah satu polimer yang banyak digunakan untuk produksi komponen otomotif, penggunaan material dengan skala industri berpotensi menghasilkan limbah (HDPE *recycle*). HDPE merupakan termoplastik semikristalin yang memiliki sifat mekanik yang baik, biokompatibilitas, dan dapat *recycle* dengan biaya rendah. Nanokomposit polimer menggabungkan sifat-sifat polimer dan manfaat *nanofiller* untuk meningkatkan sifat mekanik dan termal HDPE *recycle*. *Talc* merupakan mineral paling lembut, bersifat tidak larut dalam air dan sedikit larut dalam asam mineral encer, memiliki kekerasan 1 skala Mohs, umumnya *digunakan* sebagai *filler* dalam material komposit untuk mengurangi biaya produksi, meningkatkan sifat kimia/fisika dan memberikan fungsi yang baru. Penyuluhan komposit polimer dilakukan untuk meningkatkan kualitas HDPE *recycle* yang digunakan dalam membuat produk HDPE *sheet*. Penyuluhan dilakukan dengan metode ceramah dalam bentuk presentasi dan tanya jawab. Hasil penyuluhan diperoleh respon yang positif dari Industri (Mitra), meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mitra, serta dapat meningkatkan kapasitas produksi melalui spesifikasi produk yang dihasilkan dalam pengujian, perubahan komposisi bahan baku dan standarisasi produk komponen yang diproduksi (HDPE *sheet*). Hasil evaluasi diperoleh bahwa penyuluhan terkait penggunaan *micro* dan *nanotalc* untuk meningkatkan sifat termal dan mekanik komposit berbasis HDPE *recycle* penting dilakukan di Industri komponen otomotif, dan meningkatnya keberdayaan mitra, serta menjalin kemitraan dalam hal peningkatan produk dengan melakukan penelitian dan pengujian produk.

Kata Kunci : Microtalc, Nanotalc, High Density Polyethylene (HDPE), Nanokomposit

Abstract : High density polyethylene (HDPE) is one of the most widely used polymers for automotive component production, the use of industrial-scale materials with potential for waste generation (HDPE recycle). HDPE is a semichrystalline thermoplastic that has good mechanical properties, biocompatibility, and can recycle at low cost. Polymer nanocomposites combine polymer properties and nanofiller benefits to improve the mechanical and thermal properties of HDPE recycle. Talc is the softest mineral, insoluble in water and slightly soluble in dilute mineral acids, having a hardness of 1 Mohs scale, commonly used as filler in composite materials to reduce production costs, improve chemical/physical properties and provide new functions. Polymer composite reinforcement is performed to improve the quality of HDPE recycle used in making HDPE sheet products. The counseling was conducted using a method of discourse in the form of presentation and questioning. The results of the counseling were positive responses from Industry (Partners), improving partner knowledge and skills, and could increase production capacity through product specifications produced in testing, changing the composition of raw materials and standardizing produced component products (HDPE sheets). The evaluation results were obtained that counselling related to the use of micro and nanotalc to improve the thermal and mechanical properties of HDPE-based composite recycle is important in the automotive component industry, and increased partnership in terms of product enhancement by conducting product research and testing.

Keywords: Microtalc, Nanotalc, High Density Polyethylene (HDPE), Nanokomposit

PENDAHULUAN

Beberapa jenis polimer banyak digunakan untuk produksi di Industri otomotif seperti polipropilena (PP), polietilena (PE), *high density polyethylene* (HDPE), *low density polyethylene* (LDPE), akrilonitril butadiena stirena (ABS). Salah satu polimer yang banyak digunakan untuk produksi komponen otomotif di PT Laksana Teknik Makmur adalah polimer berjenis *high density polyethylene* (HDPE), penggunaan material dengan skala industri berpotensi menghasilkan limbah yang (HDPE *recycle*). Pemanfaatan limbah (HDPE *recycle*) akan menghasilkan produk dengan kualitas rendah (*not good*) (PT Laksana Teknik Makmur, 2023), sehingga diperlukan penyuluhan komposit polimer untuk meningkatkan kualitas HDPE *recycle* yang digunakan untuk membuat produk, salah satunya yaitu HDPE *sheet*. PT Laksana Teknik Makmur beralamat di Jl. Alternatif Cibubur Km. 1 No. 60, Cileungsi, Kec. Cileungsi, Kabupaten Bogor, Jawa Barat¹

Pengembangan nanokomposit polimer telah banyak yang meneliti, hal tersebut dianggap sebagai jalur yang mendorong terciptanya kemajuan material, dengan keunggulan yang menggabungkan sifat-sifat polimer dan manfaat *nanofiller*. Konsep penggunaan *nanofiller* untuk meningkatkan sifat spesifik polimer, seperti sifat mekanik, termal, kimia, dan lain-lain². Ada sejumlah besar penelitian yang melaporkan keuntungan penekanan pada sifat mekanik kekakuan dan kekuatan poliolefin dengan penambahan partikel anorganik, seperti *talc*, mika, kalsium karbonat, serat kaca dimensi mikrometri. Namun, hal ini biasanya diperlukan untuk menambahkan sejumlah besar pengisi ke polimer untuk diperoleh hasil yang diinginkan. Hal ini umumnya menyebabkan peningkatan kepadatan, penurunan keuletan, penurunan ketangguhan, dan peningkatan atau penurunan viskositas leleh, akibatnya penurunan kualitas dalam kemampuan proses mikrokompisit³⁻⁹.

HDPE merupakan termoplastik semikristalin penting dengan berbagai macam aplikasi karena kemampuan proses yang mudah, sifat mekanik yang baik, biokompatibilitas, ketahanan kimia yang baik, kemampuan daur ulang dengan biaya rendah. Perkembangan teknologi baru melibatkan HDPE dapat menghasilkan material yang canggih, dengan keunggulan sifat polimer, mendukung luasnya penggunaan dan persaingan dengan polimer lain².

Talc adalah magnesium silikat hidrat dengan komposisi kimia $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ atau $H_2Mg_3(SiO_3)_4$. Kata "talk" berasal dari Bahasa arab yang menunjuk pada warna putih. Selain putih talk juga ada yang berwarna hijau, abu-abu, coklat atau tidak berwarna. *Talc* merupakan mineral paling lembut, bersifat tidak larut dalam air dan sedikit larut dalam asam mineral encer, memiliki kekerasan Mohs skala 1, geometri pipihnya (mewakili permukaan basal 90% dari total permukaan) bersifat hidrofobik^{2,10-11}. Umumnya *talc* dipakai sebagai *filler* dalam material komposit untuk mengurangi biaya produksi, meningkatkan sifat kimia dan fisika serta memberikan fungsi yang baru. Digunakan secara luas dalam industri seperti kertas, cat, keramik, kosmetik dan polimer¹¹. Keberadaan *talc* memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat material (komposit HDPE/*talc*)¹².

Banyak penelitian ilmiah melaporkan penggunaan material ukuran nano dengan satu, dua dan tiga dimensi dikompositkan dengan HDPE untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisika. Karbon satu dimensi *nanotube* dengan modulus elastisitas dan kuat tarik yang luar biasa, hal tersebut menawarkan prospek perbaikan substansial untuk HDPE. Kelemahan utamanya adalah tingginya biaya produksi *nanotube*, proses pemurnian yang lambat, selain itu kecenderungan tinggi untuk membentuk aglomerat dalam matriks polimer². Penelitian Mehrjerdi (2013) menghasilkan komposit HDPE/*nanoclay/carbon black*, penambahan karbon black menurunkan resistensi *impact* hingga 34%, namun penambahan talk hingga 8% berat dapat mengembalikan nilai tersebut mendekati nilai HDPE murni¹³. Penelitian Savini dkk., (2021) menunjukkan bahwa nanotalc amorf dapat digunakan sebagai pengisi berkinerja tinggi untuk meningkatkan kualitas keuletan sistem polimer¹⁴. Penelitian Malyuta (2023), membuat komposit HDPE *recycle/talc* diperoleh

peningkatan kekuatan tarik hingga 20,4%, kekakuan elastis hingga 93,5%, dan penurunan regangan hingga 50% dengan peningkatan kandungan *talc*. Hal tersebut menunjukkan bahwa HDPE *recycle* bisa menjadi alternatif yang layak untuk digunakan dalam aplikasi struktural volume besar¹⁵.

Berdasarkan analisis yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan beberapa permasalahan mitra, yaitu pada aspek material, produk, dan ekonomi. Bahan baku HDPE *recycle* kualitas rendah menyebabkan produk yang dihasilkan banyak *not good* (NG), hal ini berefek pada jumlah produksi menurun namun biaya produksi meningkat.

METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PkM) dilaksanakan di PT Laksana Teknik Makmur yang bergerak di bidang otomotif. Pelaksanaan penyuluhan ini menggunakan metode teknik presentasi materi sifat-sifat terkait HDPE, *micro* dan *nanotalc*, komposit, dan proses pembuatan komposit HDPE/*micro* atau *nanotalc*, dan pengujian komposit, kemudian dilanjutkan dengan tanya jawab. Pelaksanaan PkM dilakukan beberapa tahapan kegiatan yang terdiri dari 4 (empat) tahap yaitu persiapan, pelaksanaan, evaluasi program dan pelaporan.

Tabel 1: Komposisi nanokomposit

Sampel	HDPE	<i>Microtalc</i>		<i>Nanotalc</i>	
	% (m/m)	% (m/m)	% (v/v)	% (m/m)	% (v/v)
HDPE	100.00				
HDPE/MT	99.00	1.00	0.33		
HDPE/NT	99.00			1.00	0.47

Tahap Persiapan

Tahapan persiapan dilakukan dengan peninjauan (*survei*) langsung ke industri melalui metode wawancara terkait permasalahan yang dihadapi, survei langsung limbah HDPE, studi literatur untuk menyusun konsep pemecahan permasalahan mitra, pengajuan usulan penyuluhan (PkM), menyusun bahan penyuluhan/presentasi berupa *power point*, koordinasi jadwal dan persiapan penyuluhan tim dengan mitra.

Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan dilakukan dengan metode ceramah melalui media presentasi terkait penggunaan *micro* dan *nanotalc* untuk meningkatkan sifat termal dan mekanik HDPE *recycle* sebagai bentuk salah satu pemecahan masalah yang dihadapi mitra. Selanjutnya dilakukan diskusi dan tanya jawab untuk memberi kesempatan kepada mitra menanyakan hal yang belum dipahami atau kemungkinan ada beberapa hal yang menjadi hambatan dalam penerapan di Industri.

Tahap Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan dengan mendistribusikan kuesioner secara bertahap ke industri untuk mengetahui dan mengontrol hasil kegiatan PkM yang telah dilakukan, sehingga dapat membandingkan

kondisi mitra sebelum dan setelah pelaksanaan kegiatan. Skala penilaian menggunakan skor peningkatan keberdayaan dan skor kepuasan mitra dengan skala penilaian pada Tabel 2 dan Tabel 3

Tabel 2: Skor Peningkatan Keberdayaan

Skala Angka	Kriteria
0 – 20	Sangat Rendah
21 – 40	Rendah
41 – 60	Sedang
61 – 80	Tinggi
81 - 100	Sangat Tinggi

Tabel 3: Skor Kepuasan Mitra

Skala Angka	Kriteria
1	Tidak Penting
2	Kurang Penting
3	Cukup Penting
4	Penting
5	Sangat Penting

Evaluasi program diolah menggunakan persamaan analisis data kuantitatif berdasarkan hasil skor penilaian yang diberikan oleh mitra dengan persamaan berikut:

$$Rerata = \frac{Skor\ penilaian\ mitra}{Skor\ maksimal\ penilaian}$$

Tahap Pelaporan

Tahap pelaporan dilakukan dengan penyusunan laporan PkM yang telah dilakukan, seminar melalui presentasi terkait proses dan hasil PkM, dan *letter of acceptance*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan PkM dilakukan pada hari jumat tanggal 04 Agustus 2023 dan diikuti oleh 3 perwakilan karyawan Industri. PkM penyuluhan penggunaan *micro* dan *nonotalc* untuk meningkatkan

kualitas material HDPE *recycle* ini dilakukan dengan 4 (empat) tahap, yaitu persiapan, pelaksanaan, evaluasi program dan pelaporan.

Persiapan Kegiatan

Tahap persiapan ini dilakukan dengan beberapa kegiatan diantaranya:

Kegiatan *survei*

Survei dilakukan melalui wawancara langsung ke mitra untuk mengidentifikasi permasalahan dan kebutuhan perusahaan. Limbah HDPE yang melimpah membuat mitra ingin memanfaatkan material tersebut. Limbah HDPE memiliki kualitas rendah dari HDPE virgin sehingga pemanfaatan kembali tanpa peningkatan kualitas menimbulkan masalah pada produk atau menyebabkan banyak yang *not good* (NG) atau kembali menjadi limbah. Hal ini berdampak pada biaya produksi meningkat namun kapasitas produksi untuk produk menggunakan material HDPE (HDPE *sheet*) menurun.

Menyusun Konsep Pemecahan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah pada industri, selanjutnya menyusun konsep pemecahan masalah yang diawali dengan studi literatur, koordinasi dengan mitra terkait data-data yang belum didapatkan atau yang diperlukan saat wawancara, dan studi banding. Berdasarkan hasil kegiatan *survey* diperoleh bahwa sifat HDPE yang dibutuhkan untuk produk HDPE *sheet* yaitu memiliki sifat termal dan mekanik yang sama atau mendekati HDPE virgin.

Salah satu penguat yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat tersebut pada HDPE *recycle* yaitu *talc*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *talc* dapat meningkatkan sifat termal dan mekanik HDPE. *Talc* sintesis memiliki permukaan yang dapat membentuk ikatan SiO₂ dan MgO serta gugus -OH, untuk menghasilkan bahan sintetik dengan karakter hidrofilik. Ada sejumlah besar penelitian yang melaporkan keuntungan penekanan pada sifat mekanik dan kekuatan poliolefin dengan penambahan partikel anorganik seperti *talc*. Konsep penggunaan *micro* dan *nanotalc* untuk meningkatkan sifat spesifik polimer seperti mekanik, termal, bahan kimia, antara lain karena banyak pengembangan penelitian yang menunjukkan peningkatan kualitas HDPE dengan penguat *talc*.

Pengusulan tema penyuluhan

Berdasarkan studi literatur, studi banding dan koordinasi dengan mitra, maka konsep pemecahan masalah yang diusulkan yaitu penggunaan *micro* dan *nanotalc* sebagai penguat untuk meningkatkan sifat termal dan mekanik komposit berbasis HDPE *recycle*. Pengusulan tema penyuluhan disambut baik oleh pihak mitra.

Membuat Bahan Penyuluhan/Presentasi

Selanjutnya menyusun bahan penyuluhan dalam bentuk *powerpoint* dengan materi tentang sifat-sifat dan aplikasi *micro* dan *nanotalc*, komposit polimer, metode komposit HDPE/*micro* dan atau *nanotalc* serta hasil pengujiannya.

Koordinasi Jadwal Penyuluhan

Jadwal penyuluhan dikoordinasikan dengan mitra setelah bahan presentasi selesai dibuat. Pihak mitra menentukan jadwal penyuluhan menyesuaikan jadwal kerja di Industri sehingga tidak mengganggu karyawan dalam bekerja.

Pelaksanaan Kegiatan

Tahap pelaksanaan dilakukan dengan metode ceramah melalui presentasi materi dan diskusi atau tanya jawab selama 2 jam yang dihadiri oleh perwakilan PT. Laksana Teknik Makmur. Terdapat beberapa metode pendekatan yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan PkM di PT. Laksana Teknik Makmur meliputi:

Penyuluhan

Pelaksanaan PkM dilakukan dengan presentasi materi terkait penggunaan *micro* dan *nanotalc* sebagai penguat pada komposit berbasis HDPE *recycle*. Penggunaan talc sebagai penguat pada komposit meningkatkan sifat termal dan mekanik komposit HDPE/*talc*. Nanokomposit polimer memiliki keunggulan, yaitu menggabungkan sifat-sifat polimer dengan memanfaatkan *nanofiller* yang berpotensi meningkatkan sifat spesifik polimer, seperti sifat mekanik dan termal dengan berbagai aplikasi

Materi yang disampaikan diharapkan dapat memberikan peningkatan pengetahuan dan pemahaman untuk selanjutnya dapat diterapkan oleh PT Laksana Teknik Makmur dalam kegiatan produksinya.

Diskusi serta Tanya Jawab

Setelah presentasi dilanjutkan dengan tanya jawab atau diskusi dengan perwakilan mitra. Tanya jawab terkait metode komposit dan pengalaman-pengalaman mitra menghadapi berbagai kendala produksi. Hal yang memungkinkan menjadi kendala apabila biaya bahan baku *talc* mahal, sehingga dibutuhkan perhitungan terlebih dahulu atau kemungkinan akan dilakukan uji coba sebelum akhirnya diproduksi dengan skala industri.

Evaluasi Kegiatan

Pelaksanaan PkM oleh Dosen dan Mahasiswa Politeknik STMI Jakarta dievaluasi melalui pengisian kuisioner terhadap industri. Tahap evaluasi dilakukan untuk mengetahui kemanfaatan penyuluhan yang telah dilakukan, dengan membandingkan kondisi Industri sebelum dan sesudah pelaksanaan PkM.

Keberhasilan kegiatan penyuluhan dapat dimonitoring melalui peningkatan keberdayaan serta tanggapan harapan atau kepentingan dan kinerja atau kepuasan direalisasikan melalui kuisioner kepuasan mitra yang diberikan, hasil kuisioner tersebut disajikan pada Gambar 3. Sementara kuisioner tahap pertama untuk peningkatan level keberdayaan mitra terhadap pelaksanaan PkM disajikan pada Gambar 4 oleh dosen Politeknik STMI Jakarta.



Gambar 1 & 2 . Kegiatan Penyuluhan & HDPE Sheet

Analisis Data

Berdasarkan hasil evaluasi penilaian kepentingan dan kepuasan mitra, maka dapat disimpulkan bahwa kegiatan PkM penting untuk dilakukan di industri komponen otomotif dengan besaran nilai rata-rata untuk bobot kepentingan dan kepuasan masing-masing pada skala 3.4 (tiga koma empat) dan 4 (empat). Tingginya nilai kekepuasan mitra menunjukkan materi yang disampaikan sesuai dengan kebutuhan Mitra dan mendapatkan pengetahuan yang dibutuhkan mitra.



Gambar 3 & 4: Evaluasi penilaian kepentingan dan kepuasan Mitra, Evaluasi penilaian peningkatan keberdayaan Mitra

Adapun hasil evaluasi penilaian untuk peningkatan keberdayaan mitra, juga menunjukkan nilai yang tinggi baik sebelum maupun setelah pelaksanaan PkM. Meskipun demikian, ada peningkatan nilai setelah pelaksanaan PkM. Nilai masing-masing sebelum dan setelah PkM yaitu sebesar 61.00 dan 77.00.

Tabel 4: Rerata penilaian tingkap keberdayaan Mitra

Rata – rata Keseluruhan Kegiatan	Nilai	Keterangan
Sebelum	61,00	Tinggi
Setelah	77,00	Tinggi

Adanya peningkatan nilai setelah pelaksanaan PkM menunjukkan adanya kebermanfaatan PkM pada industri. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi kepuasan industri setelah pelaksanaan PkM diantaranya:

- a. Materi penyuluhan
Adanya kesesuaian kebutuhan industri dengan materi penyuluhan dapat meningkatkan kepuasan mitra. Kemampuan pelaksana kegiatan untuk identifikasi masalah dan menyelesaikan masalah pada industri hal ini berdampak baik pada Industri.
- b. Kualitas Produk
Produk yang dihasilkan setelah pelaksanaan PkM sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan Industri
- c. Kapasitas produksi
kapasitas produksi meningkat karena produk tidak ada yang *not good* (NG) akibat dari kualitas bahan baku meningkat.
- d. Menjalin kemitraan dalam hal peningkatan produk dengan melakukan penelitian dan pengujian produk yang dihasilkan di Politeknik STMI Jakarta.

Pelaporan Kegiatan

Pada tahap pelaporan, pelaksana kegiatan menyusun laporan PkM, baik laporan kemajuan maupun laporan akhir, yang disertai dengan dokumentasi. Dokumentasi yang dilaporkan berupa foto dan video pelaksanaan PkM. Selain hal tersebut PkM juga disertai target luaran kegiatan PkM ketika pelaksanaan kegiatan telah selesai dilaksanakan, berupa publikasi pada media masa cetak atau *online*.

KESIMPULAN

Secara umum penyelenggaraan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan judul "Penyuluhan Penggunaan *Nanotalcs* sebagai Penguat pada Komposit Berbasis *High Density Polyethylene* (HDPE) *Recycle*" diterima dengan baik dan mendapatkan respon yang positif dari Mitra. Penyuluhan penggunaan *microtalcs* dan *nanotalcs* sebagai penguat untuk meningkatkan sifat *thermal* dan mekanik komposit berbasis HDPE *Recycle ini*, meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mitra, serta dapat meningkatkan kapasitas produksi melalui peningkatan spesifikasi produk yang dihasilkannya dalam pengujian, pengubahan komposisi bahan baku dan standarisasi produk komponen yang diproduksi khususnya komposit *HDPE sheet*. Mitra mengusulkan untuk menjalin kemitraan dalam hal peningkatan kualitas material HDPE *recycle* dan mencari formula perekat melalui penelitian dan pengujian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada tim pengabdian kepada masyarakat Program Studi Teknik Kimia Polimer. Ucapan terima kasih juga kepada Politeknik STMI Jakarta dan Kementerian Perindustrian yang telah memberikan dukungan serta motivasi sehingga kegiatan penyuluhan penggunaan Nanokomposit dapat diselenggarakan dengan baik. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada industri otomotif sebagai penyedia fasilitas pendukung dalam penyelenggaraan penyuluhan yang telah dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Laksana Teknik. <https://www.laksanatekhnismakmur.com/>. laksanatekhnismakmur.
2. Savini G, Oréface RL. Comparative study of HDPE composites reinforced with microtalcs and nanotalcs: high performance filler for improving ductility at low concentration levels. Vol. 9, Journal of Materials Research and Technology. Elsevier Editora Ltda; 2020. p. 16387–98.
3. Hadal RS, Misra RDK. The influence of loading rate and concurrent microstructural evolution in micrometric talc- and wollastonite-reinforced high isotactic polypropylene composites. Materials Science and Engineering: A. 2004 Jun 15;374(1–2):374–89.

4. Kuelpmann A, Osman MA, Kocher L, Suter UW. Influence of platelet aspect ratio and orientation on the storage and loss moduli of HDPE-mica composites. *Polymer (Guildf)*. 2005 Jan 12;46(2):523–30.
5. Liao CZ, Tjong SC. Mechanical and thermal performance of high-density polyethylene/alumina nanocomposites. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*. 2013 May 1;52(6):812–25.
6. Makhlof A, Satha H, Frihi D, Gherib S, Seguela R. Optimization of the crystallinity of polypropylene/submicronic-talc composites: The role of filler ratio and cooling rate. *Express Polym Lett*. 2016 Mar 1;10(3):237–47.
7. Yuan Q, Jiang W, An L, Li RKY, Jiang Z. Mechanical and thermal properties of high-density polyethylene toughened with glass beads. *J Appl Polym Sci*. 2003 Aug 22;89(8):2102–7.
8. Sepet H, Aydemir B, Tarakcioglu N. Evaluation of mechanical and thermal properties and creep behavior of micro- and nano-CaCO₃ particle-filled HDPE nano- and microcomposites produced in large scale. *Polymer Bulletin*. 2020 Jul 1;77(7):3677–95.
9. Kalantar Mehrjerdi A, Åkesson D, Skrifvars M. Influence of talc fillers on bimodal polyethylene composites for ground heat exchangers. *J Appl Polym Sci*. 2020 Nov 10;137(42).
10. Jadhav NR, Paradkar AR, Salunkhe NH, Karade RS, Mane GG. TALC: A VERSATILE PHARMACEUTICAL EXCIPIENT. *World J Pharm Pharm Sci [Internet]*. 2013;2(6):4639–60. Available from: www.wjpps.com
11. Yousfi M, Livi S, Dumas A, Le Roux C, Crépin-Leblond J, Greenhill-Hooper M, et al. Use of new synthetic talc as reinforcing nanofillers for polypropylene and polyamide 6 systems: Thermal and mechanical properties. *J Colloid Interface Sci*. 2013 Aug 1;403:29–42.
12. Kalantar Mehrjerdi A, Bashir T, Skrifvars M. Melt rheology and extrudate swell properties of talc filled polyethylene compounds. *Heliyon*. 2020 May 1;6(5).
13. Mehrjerdi AK, Adl-Zarrabi B, Cho SW, Skrifvars M. Mechanical and thermo-physical properties of high-density polyethylene modified with talc. *J Appl Polym Sci*. 2013 Aug 15;129(4):2128–38.
14. Savini G, Oréface RL. Super ductility in HDPE/EVA blends triggered by synthetic amorphous nanotalc. *Journal of Polymer Research*. 2021 Jan 1;28(1).
15. Malyuta DAI, Matteson KL, Ryan C, Berry MP, Bajwa D. An investigation into the tensile properties of recycled high-density polyethylene (rHDPE) blended with talc filler. *Results in Materials*. 2023 Mar 1;17.