



Konfigurasi Desain *Twin-Screw* untuk Meningkatkan Dispersi Pigmen pada *Colored-Masterbatch*

Ivan Andrias^{1*}, Didi Dwi Anggoro^{1,2}, Luqman Buchori^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}Corresponding author: andriasivan77@gmail.com

(Received: March 4, 2026; Accepted: April 28, 2026)

Abstract

Twin-Screw Design Configuration to Improve Pigment Dispersion in Colored-Masterbatch. Masterbatch plays a crucial role in the plastic coloring process, but achieving uniform pigment dispersion remains a challenge, particularly in formulations with high pigment content. Pigment agglomeration can degrade the visual quality and affect the rheological and functional properties of the material. This study aimed to determine the most effective twin-screw extruder design configuration in improving the pigment dispersion quality of HIPS (High-Impact Polystyrene)-based masterbatch with a pigment content of approximately 45.3%. Six variations of screw configurations were tested through different combinations of thread element designs and rotational speeds. Dispersion quality was evaluated using ash content testing, differential pressure (ΔP) in filter tests, visual observation of pigment spots on pressed sheets, and Melt Flow Rate (MFR) testing. The results showed that all configurations met the ash content limits according to the formulation, but the pigment dispersion quality differed significantly. The 4th screw configuration at a speed of 250 rpm and a barrel temperature of up to $\pm 265^\circ\text{C}$ provided the best dispersion performance with low differential pressure, minimal agglomerates, and MFR values that were within process specifications. These findings indicate that the balance of conveying and kneading functions with proper speed and temperature settings plays an important role in producing a homogeneous pigment dispersion.

Keywords: twin-screw extruder, pigment dispersion, colored-masterbatch, HIPS (high-impact polystyrene), screw configuration, melt flow rate (MFR)

Abstrak

Masterbatch berperan penting dalam proses pewarnaan plastik, namun pencapaian dispersi pigmen yang merata masih menjadi tantangan, terutama pada formulasi dengan kandungan pigmen tinggi. Aglomerasi pigmen dapat menurunkan kualitas visual serta memengaruhi sifat reologi dan fungsional material. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi desain *twin-screw extruder* yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas dispersi pigmen pada *masterbatch* berbasis HIPS (*High-Impact Polystyrene*) dengan kadar pigmen sekitar 45,3%. Sebanyak enam variasi konfigurasi *screw* diuji melalui kombinasi desain elemen ulir dan kecepatan putar yang berbeda. Kualitas dispersi dievaluasi menggunakan pengujian kadar abu, tekanan diferensial (ΔP) pada uji filter, pengamatan visual titik pigmen pada lembaran hasil pengepresan, serta pengujian *Melt Flow Rate* (MFR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh konfigurasi memenuhi batas kadar abu sesuai formulasi, tetapi kualitas dispersi pigmen berbeda secara signifikan. Konfigurasi *screw* ke-4 pada kecepatan 250 rpm dan suhu barrel hingga $\pm 265^\circ\text{C}$ memberikan kinerja dispersi terbaik dengan tekanan diferensial rendah, jumlah aglomerat minimal, serta nilai MFR yang masih sesuai spesifikasi proses. Temuan ini menunjukkan bahwa keseimbangan fungsi *conveying* dan

kneading dengan pengaturan kecepatan dan suhu yang tepat berperan penting dalam menghasilkan dispersi pigmen yang homogen.

Kata kunci: *twin-screw extruder, dispersi pigmen, colored-masterbatch, HIPS (high-impact polystyrene), konfigurasi screw, melt flow rate (MFR)*

How to Cite This Article: Andrias, I., Anggoro, D. D., & Buchori, L. (2026). Konfigurasi Desain Twin-Screw untuk Meningkatkan Dispersi Pigmen pada Colored-Masterbatch. *JPII*, 4(2), 82-87. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2026.32301>

PENDAHULUAN

Industri plastik terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan pada sektor otomotif, kemasan, elektronik dan konstruksi. *Masterbatch* menjadi komponen penting dalam proses produksi karena mengandung pigmen atau aditif berkonsentrasi tinggi yang mempermudah pewarnaan serta modifikasi sifat material dan penggunaannya memungkinkan hasil warna yang lebih homogen dalam berbagai proses manufaktur (Ferguson, 1983; Ahmed, 2017). Namun, pigmen cenderung membentuk aglomerat sehingga penyebarannya dalam matriks polimer menjadi tantangan. Ketidakefektifan dispersi dapat menimbulkan variasi warna, titik pigmen, bahkan menurunkan sifat mekanik produk akhir (Buccella, 2014; Pawlak *et al.*, 2003).

Twin-screw extruder (TSE) banyak digunakan dalam produksi *masterbatch* karena mampu menghasilkan campuran lebih merata serta memungkinkan pengaturan elemen *screw* untuk mengoptimalkan kerja pencampuran (Gopakumar, 2005; Teixeira *et al.*, 2007). Efektivitas dispersi dipengaruhi oleh konfigurasi *screw*, kecepatan putaran, suhu *barrel* dan waktu tinggal material, terutama pada *masterbatch* berkonsentrasi tinggi yang dapat mencapai 25–90% bergantung jenis bahan (Furlan *et al.*, 2011). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa TSE memberikan kualitas dispersi lebih baik dibandingkan *single-screw* karena *shear intensity* yang lebih tinggi serta sistem *self-wiping* yang efisien (Zuilichem, 2002).

Berdasarkan latar tersebut, penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi konfigurasi elemen *screw* dalam *twin-screw extruder* terhadap kualitas dispersi pigmen pada *masterbatch* monopigmen berbasis polipropilena dengan kadar pigmen 40%. Variasi dilakukan melalui perubahan susunan *conveying element* dan *kneading block*, kemudian kualitas dispersi dievaluasi melalui uji tekanan diferensial (ΔP), pengamatan titik pigmen tak terdispersi, serta parameter pendukung lainnya untuk menentukan konfigurasi yang paling efektif dalam menghasilkan dispersi homogen.

Faktor utama yang memengaruhi dispersi dalam proses ekstrusi meliputi viskositas lelehan polimer dan gaya geser. Suhu dan kecepatan *screw* yang tepat dapat meningkatkan pembahasan pigmen serta memfasilitasi pemecahan aglomerat, tetapi *shear* berlebihan dapat

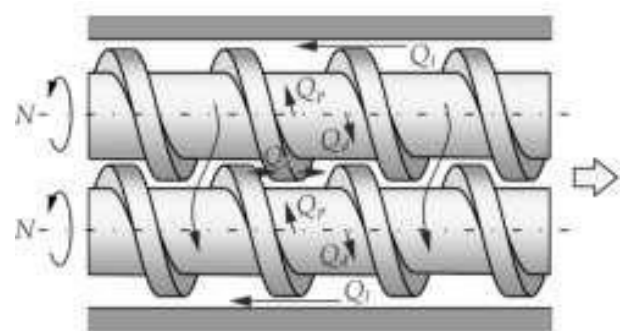
menimbulkan degradasi. Hubungan antara viskositas dan *shear force* dijelaskan melalui persamaan:

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (1)$$

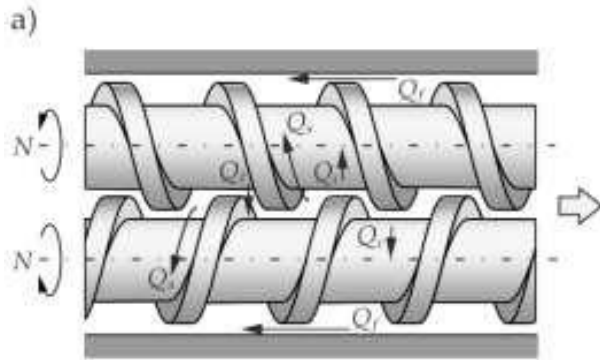
yang mana peningkatan laju geser menurunkan viskositas dan mempermudah proses dispersi. Kombinasi kontrol suhu, kecepatan *screw* dan penggunaan dispersan diperlukan untuk mencapai dispersi optimal tanpa merusak struktur material.

Extrusion merupakan teknologi penting dalam pemrosesan polimer yang digunakan untuk menghasilkan berbagai produk seperti lembaran, pipa, film, serta untuk proses *compounding* dan granulasi. *Extruder* diklasifikasikan menjadi *single-screw*, *twin-screw* dan *multiscrew* yang mana *twin-screw* memiliki pencampuran lebih baik dibandingkan *single-screw*. Pada *single-screw*, pencampuran relatif kurang efektif, sedangkan *twin-screw* memberikan perpindahan material dan peleburan lebih cepat sehingga lebih sesuai untuk produksi dengan kebutuhan homogenitas tinggi.

Twin-screw extruder dibedakan berdasarkan arah putaran *screw* menjadi *co-rotating* dan *counterrotating*. Pada sistem *co-rotating*, aliran material dipengaruhi oleh *pressure flow* (Q_p), *drag flow* (Q_d), *leakage flow* (Q_a) dan *lateral/backflow* (Q_l), yang bekerja bersama menentukan kualitas pencampuran. Sementara pada sistem *counter-rotating* terdapat *forward flow* (Q_f), *drag flow* (Q_s), *cross-channel flow* (Q_c) dan *transverse flow* (Q_t) yang memperkuat mekanisme distribusi material selama proses berlangsung.



Gambar 1. *Co-rotating extrusion*



Gambar 2. Counter-rotating extrusion

Twin-screw extrusion memiliki variasi tingkat *intermeshing*, mulai dari *non-intermeshing* hingga *intermeshing self-wiping* yang memberikan kemampuan pencampuran optimal. Sistem ini banyak digunakan untuk polimer sensitif panas seperti PVC dan aplikasi khusus seperti *compounding*, pengisian, serta penguatan material. Dibandingkan *single-screw*, mekanisme aliran pada *twin-screw* lebih kompleks, tetapi menghasilkan pencampuran lebih homogen, devolatilisasi lebih baik, serta proses plastisasi lebih cepat.

Evaluasi kualitas dispersi pigmen dalam matriks polimer dapat dilakukan melalui dua metode utama, yaitu pengujian tekanan diferensial (ΔP) dan analisis kadar abu. Pengujian ΔP digunakan untuk mendeteksi aglomerat pigmen dalam aliran lelehan polimer dengan mengukur perbedaan tekanan sebelum dan sesudah filter halus. Nilai ΔP dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta P = P_{Upstream} - P_{Downstream} \quad (2)$$

yang mana peningkatan ΔP menandakan penyumbatan pori filter akibat aglomerat. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui hukum Darcy, dengan rumus:

$$Q = \frac{kA\Delta P}{\mu L} \quad (3)$$

yang menunjukkan bahwa penurunan permeabilitas (k) karena aglomerasi akan meningkatkan ΔP pada laju aliran tetap. Studi Safroui et al. (2017) mendukung bahwa ΔP rendah menunjukkan dispersi pigmen yang baik, sedangkan ΔP tinggi menandakan banyaknya aglomerat.

Analisis kadar abu melengkapi evaluasi ini dengan mengukur residu anorganik setelah pembakaran total komponen organik dalam sampel. Persentase kadar abu dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Ash content (\%)} = \frac{m_{ash}}{m_{sample}} \times 100 \quad (4)$$

yang mana nilai yang stabil menandakan konsistensi pemuatan pigmen dalam *masterbatch*. Metode ini banyak digunakan untuk mendeteksi ketidakhomogenan pigmen atau indikasi degradasi termal selama proses ekstrusi. Variasi nilai abu yang signifikan dapat menunjukkan kontaminasi atau kehilangan pigmen yang tidak diinginkan. Rosato & Rosato (2004) menunjukkan bahwa parameter proses seperti suhu dan geser memengaruhi residu abu terkait degradasi.

Hubungan antara kedua parameter ini terletak pada pengaruh ukuran dan distribusi partikel pigmen terhadap aliran dan residu material. Aglomerat besar meningkatkan viskositas lokal dan menurunkan permeabilitas filter sehingga ΔP meningkat, sementara distribusi pigmen tidak merata dapat memengaruhi kadar abu. Sebaliknya, dispersi yang baik menghasilkan ΔP rendah serta kadar abu stabil, menandakan pigmen terdistribusi baik dan sesuai formulasi. Oleh karena itu, kombinasi ΔP dan kadar abu dapat digunakan sebagai indikator terpercaya dalam menilai kualitas dispersi pada *masterbatch*, sebagaimana diterapkan dalam studi dispersi *masterbatch* berpigmen tinggi oleh Safroui et al. (2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konfigurasi *twin-screw* terhadap kualitas dispersi pigmen dalam *high-concentration colored-masterbatch*, mengevaluasi hubungan parameter operasional *twin-screw* yang meliputi kecepatan putar, jenis elemen ulir dan konfigurasi pencampuran terhadap homogenitas distribusi pigmen dalam resin, serta menilai efektivitas konfigurasi *twin-screw* dalam meningkatkan efisiensi proses pencampuran *masterbatch*.

METODE PENELITIAN

Masterbatch monopigmen dengan muatan pigmen sekitar 45,3% dibuat untuk mengamati kualitas dispersi menggunakan resin HIPS ATECH 1173 (TOPLA) sebanyak 134,39 gram sebagai bahan dasar. Semua bahan dicampur terlebih dahulu dalam *mixer* pada kecepatan 300 rpm dengan HIPS yang memiliki densitas $\pm 1,04 \text{ g/cm}^3$, indeks alir leleh 5–10 g/10 menit ($200^\circ\text{C}/5 \text{ kg}$), serta suhu leleh $210\text{--}250^\circ\text{C}$. Formulasi terdiri dari BLACK 305 M (0,19 g), Ultramarine Blue 15:1 (0,66 gram), TiO_2 TR-288 (125,01 gram) sebagai pigmen utama, *Decanedioic acid* dan IRGANOX 1010 masing-masing 1,37 gram sebagai antioksidan dan penstabil termal, serta Zn-Stearat 15 gram sebagai agen pelumas. Pigmen BLACK 305 M dan Ultramarine Blue 15:1 dipilih karena memiliki dispersi serta kestabilan warna yang baik, sementara TiO_2 memberikan opasitas tinggi sebagai warna dasar. Aditif pendukung membantu mencegah degradasi akibat panas selama pemrosesan, sedangkan pelumas meningkatkan aliran dan penyebaran pigmen dalam matriks polimer.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *twin screw extruder* Yuyang Machine Ltd tipe TSE40 yang berfungsi sebagai mesin utama untuk proses pencampuran dan pengolahan *masterbatch*. *Extruder* ini memiliki rasio L/D 74, torsi spesifik $8,2 \text{ Nm/cm}^3$ dengan daya motor 30 kW (400 rpm), serta mampu beroperasi hingga kecepatan maksimum 400 rpm. Mesin dilengkapi dengan cetakan datar (*die*) berisi 5 lubang berdiameter 2 mm untuk menghasilkan *strand* yang kemudian dipotong dengan granulator menjadi butiran. Variabel yang diuji meliputi konfigurasi susunan elemen *screw* serta

kecepatan putar (RPM) dengan tujuan mengevaluasi pengaruhnya terhadap kualitas dispersi pigmen. Dalam percobaan digunakan 3 jenis konfigurasi *screw*, masing-

masing diuji pada dua kecepatan RPM berbeda sehingga menghasilkan total 6 konfigurasi proses sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Konfigurasi *twin screw*

<i>Barrel Zone</i>	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	A	H	rpm	<i>Side Feeder</i> (rpm)
T (°C)	140	160	180	190	210	235	240	250	265	210	180	190	-	-
<i>Screw Config 1</i>	99N	99N	80R	60R	60L	99N	60R	60R	60L	99N	99N	99N	200	15
<i>Screw Config 2</i>	99N	99N	80R	60R	60L	99N	99N	60R	60L	99N	99N	99N	200	15
<i>Screw Config 3</i>	99N	99N	99N	80R	80L	99N	99N	60L	60L	99N	99N	99N	200	15
<i>Screw Config 4</i>	99N	99N	80R	60R	60L	99N	60R	60R	60L	99N	99N	99N	250	20
<i>Screw Config 5</i>	99N	99N	80R	60R	60L	99N	99N	60R	60L	99N	99N	99N	250	20
<i>Screw Config 6</i>	99N	99N	99N	80R	80L	99N	99N	60L	60L	99N	99N	99N	250	20

Pengukuran *ash content* dilakukan untuk menentukan kadar residu anorganik pada *masterbatch* setelah proses pembakaran total terhadap komponen organik. Sampel *masterbatch* ditimbang sekitar ± 20 gram lalu dimasukkan ke dalam cawan porselen bersih dan dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 550°C selama ± 2 jam. Setelah pembakaran selesai, *furnace* dibiarkan mendingin sebelum sampel diambil dan didinginkan kembali dalam desikator, kemudian ditimbang untuk memperoleh massa abu. Sisa padatan yang tertinggal merupakan abu yang menjadi dasar perhitungan kadar anorganik dalam material. Nilai kadar abu dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Ash content (\%)} = \frac{m_{\text{ash}}}{m_{\text{sample}}} \times 100 \quad (5)$$

dengan m_{ash} sebagai massa residu anorganik dan m_{sample} sebagai massa awal sampel.

Pengukuran tekanan diferensial (ΔP) bertujuan mengevaluasi tingkat dispersi pigmen melalui hambatan aliran material dalam sistem filtrasi. Proses dilakukan menggunakan mesin Delta P dari The Japan Steel Works, Ltd., dengan memasukkan 3 kg *masterbatch* ke dalam *hopper* untuk kemudian dilewatkan melalui filter logam berlapis mesh 80/50/80 mikron. Selama ekstrusi, mesin mencatat peningkatan tekanan diferensial yang terjadi akibat penyumbatan pori filter oleh pigmen yang belum terdispersi sempurna. Nilai ΔP yang tinggi menunjukkan aglomerasi pigmen atau kontaminan padat, yang berpotensi menurunkan kualitas visual maupun performa pemrosesan. Parameter dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta P = P_{\text{Upstream}} - P_{\text{Downstream}} \quad (6)$$

yang mana hasil umumnya dinyatakan dalam Bar/menit atau Bar/kg.

Pengukuran dispersi pigmen dilakukan untuk mendeteksi aglomerat dalam bentuk titik warna (*dots*) pada lembaran hasil *hot press*. Sekitar ± 5 gram sampel dilelehkan dalam cetakan 10×10 cm menggunakan mesin *hot press* hingga terbentuk film berketebalan seragam. Setelah proses pendinginan, permukaan film diamati menggunakan *lup* untuk menghitung jumlah *dot* sebagai indikator homogenitas warna. Metode ini bersifat kualitatif tetapi sangat efektif untuk memvisualisasikan

sebaran pigmen pada *masterbatch*. Semakin banyak *dot* yang ditemukan, semakin buruk tingkat dispersi pigmen dalam matriks polimer.

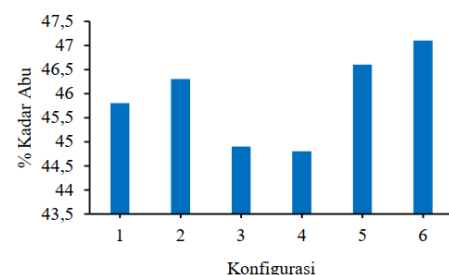
Pengukuran viskositas *Melt Flow Rate* (MFR) dilakukan menggunakan Melt Flow Indexer Dynisco sesuai standar ASTM D1238 Method A. Sampel dipanaskan pada 230°C selama 5 menit untuk mencapai kondisi leleh, kemudian diberi beban 2,16 kg agar material mengalir melalui orifis standar. Lelehan yang keluar ditimbang berdasarkan interval waktu untuk mengetahui massa aliran material. Nilai MFR dihitung menggunakan rumus:

$$\text{MFR} = \frac{W}{t} \times 600 \quad (7)$$

yang mana W sebagai massa lelehan dan t sebagai waktu alir aktual. Parameter ini digunakan untuk menganalisis viskositas leleh dan mendeteksi perubahan struktur polimer akibat proses ekstrusi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

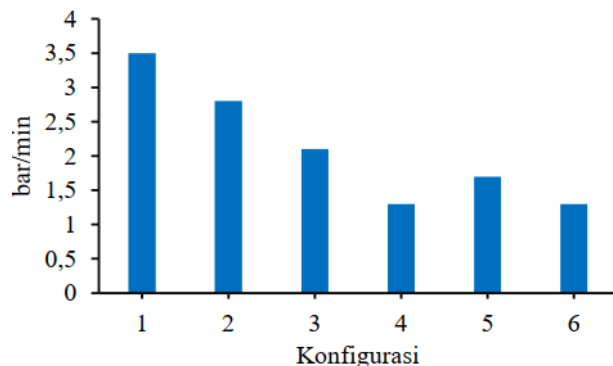
Hasil pengukuran kadar abu (*ash content*) pada enam konfigurasi *screw* menunjukkan variasi kecil, tetapi seluruhnya masih berada dalam rentang mutu yang ditetapkan, yaitu 43–49%. Konfigurasi 3 dan 4 memiliki nilai paling rendah dan hampir sama, masing-masing 44,9% dan 44,8%, sementara nilai tertinggi terdapat pada Konfigurasi 6 sebesar 47,1%. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa desain *screw* berpengaruh terhadap komposisi akhir produk dan berpotensi memengaruhi kualitas dispersi. Temuan tersebut menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai hubungan konfigurasi *screw* dengan performa *masterbatch*.



Gambar 3. Pengaruh konfigurasi *screw* terhadap kadar abu *masterbatch*

Perbedaan kecil pada nilai *ash content* dipengaruhi oleh interaksi material dengan konfigurasi *screw*, khususnya intensitas *shear*, distribusi panas dan efisiensi pencampuran selama ekstrusi. Konfigurasi dengan pencampuran lebih intens, seperti Konfigurasi 6 dengan nilai tertinggi 47,1%, cenderung meningkatkan penyebaran pigmen dan dapat menyebabkan sedikit degradasi polimer sehingga persentase abu meningkat. Meski terdapat variasi pada rentang 44,8–47,1%, seluruh hasil masih berada di bawah batas mutu 49%, menandakan bahwa semua konfigurasi *screw* tetap menghasilkan *masterbatch* sesuai spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa fluktuasi kadar abu lebih merefleksikan perbedaan karakteristik pencampuran pada tiap desain daripada indikasi ketidaksesuaian proses.

Pengujian tekanan diferensial menunjukkan variasi performa dispersi antar konfigurasi *screw*, dengan nilai berkisar 3,5 hingga 1,3 bar/menit. Hanya beberapa konfigurasi seperti 4, 5 dan 6 yang berada di bawah batas mutu <2 bar/menit, menandakan dispersi pigmen yang lebih baik. Temuan ini menegaskan bahwa desain *screw* berperan besar dalam memengaruhi efektivitas *compounding* dan perlu dianalisis lebih lanjut.

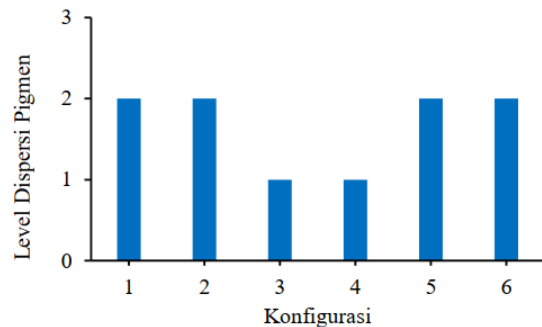


Gambar 4. Pengaruh konfigurasi *screw* terhadap tekanan diferensial

Nilai ΔP pada uji filtrasi mencerminkan tingkat aglomerasi pigmen yang mana tekanan tinggi menandakan penyumbatan filter akibat dispersi yang kurang optimal. Berdasarkan data, Konfigurasi 4–6 memenuhi standar mutu dengan $\Delta P < 2$ bar/menit, sedangkan Konfigurasi 1–3 menunjukkan aglomerasi lebih besar. Dengan demikian, konfigurasi dengan ΔP rendah lebih direkomendasikan karena mampu menghasilkan proses lebih stabil dan dispersi pigmen yang lebih baik.

Kualitas dispersi pigmen dinilai melalui jumlah titik pigmen tak terdispersi pada *film press*, yang mencerminkan efektivitas pemecahan aglomerat selama proses pencampuran. Hasil menunjukkan bahwa Konfigurasi 3 dan 4 memiliki dispersi terbaik, sedangkan Konfigurasi 1, 2, 5 dan 6 menghasilkan aglomerasi lebih tinggi. Perbedaan ini menunjukkan bahwa desain *screw*

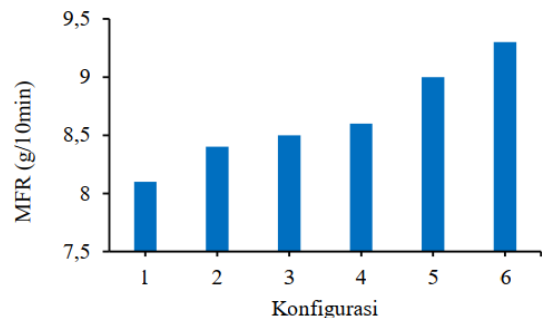
sangat memengaruhi intensitas geser dan pola aliran yang menentukan keberhasilan dispersi.



Gambar 5. Pengaruh konfigurasi *screw* terhadap *disperse pigment*

Dispersi pigmen dalam polimer bergantung pada *shear force* dan pola aliran yang dihasilkan *screw* selama ekstrusi, yang menentukan efektivitas pemecahan aglomerat (*dispersive mixing*) dan distribusi partikel dalam matriks (*distributive mixing*). Hasil menunjukkan bahwa Konfigurasi 3 dan 4 memberikan performa terbaik dengan jumlah *dot* rendah serta level dispersi paling halus karena mampu menghasilkan geser yang cukup tanpa menciptakan zona stagnasi. Sebaliknya, Konfigurasi 1, 2, 5 dan 6 memunculkan lebih banyak *dot* akibat dispersi yang kurang optimal dan kemungkinan terjadinya *reagglomeration*. Dengan batas kualitas <40 *dot*, hanya Konfigurasi 3 dan 4 yang memenuhi standar, menegaskan pentingnya pemilihan konfigurasi *screw* yang tepat untuk menghasilkan dispersi pigmen yang stabil dalam *masterbatch*.

Pengujian *Melt Flow Rate* (MFR) menunjukkan variasi viskositas lelehan *masterbatch* pada enam konfigurasi *screw* dengan nilai berkisar dari 8,1 hingga 9,3 g/10 min. MFR yang lebih tinggi menandakan viskositas lebih rendah sehingga konfigurasi *screw* terbukti memengaruhi karakter aliran material. Perbedaan ini menunjukkan bahwa desain *screw* berperan penting dalam menentukan kemudahan proses *masterbatch* pada tahap pengolahan berikutnya.



Gambar 6. Pengaruh konfigurasi *screw* terhadap viskositas *masterbatch*

Variasi nilai MFR dipengaruhi oleh tingkat degradasi polimer akibat *shear* dan temperatur selama ekstrusi yang mana *shear force* tinggi dapat menurunkan berat molekul dan meningkatkan MFR. Konfigurasi *screw* yang lebih agresif seperti Konfigurasi 6 menunjukkan MFR tertinggi, mengindikasikan degradasi lebih besar, sedangkan Konfigurasi 1 dan 2 memiliki MFR lebih rendah karena aliran lebih stabil. Sebagian besar konfigurasi (1–5) masih berada dalam kisaran mutu ideal 7–9 g/10 min, sementara Konfigurasi 6 melewati batas sehingga viskositasnya terlalu rendah dan berpotensi menurunkan sifat mekanik produk. Oleh karena itu, konfigurasi selain Konfigurasi 6 lebih direkomendasikan untuk menghasilkan *masterbatch* dengan viskositas yang stabil dan sesuai standar.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi *screw* berpengaruh signifikan terhadap kualitas dispersi pigmen pada *colored-masterbatch* berbasis HIPS yang mana konfigurasi *screw* ke-4 pada kecepatan 250 rpm dan suhu *barrel* hingga $\pm 265^{\circ}\text{C}$ memberikan kinerja dispersi paling stabil dengan tekanan diferensial rendah, aglomerat minimal dan nilai MFR yang masih sesuai spesifikasi. Dispersi pigmen yang baik dicapai melalui keseimbangan fungsi *conveying* dan *kneading* serta pengaturan kecepatan dan suhu yang tepat tanpa menyebabkan degradasi polimer berlebihan. Konfigurasi *screw* ke-4 direkomendasikan sebagai acuan proses dan penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi variasi desain *kneading block*, karakterisasi dispersi yang lebih mendalam, serta penerapan pada jenis resin dan pigmen yang berbeda guna memastikan konsistensi kinerja proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. (1983). *Colouring of Plastics: Theory and Practice*. Van Nostrand Reinhold.
- Buccella, M. (2014). Color masterbatches for polyamide 6 fibers: Optimization of compounding and spinning processes. Physical-chemical characterization of industrial products. *Doctoral dissertation*. University of Trento).
- Ferguson, W. J. (1983). *Plastic and Rubber International*, (6), 32.
- Furlan, L. G., Ferreira, C. I., Dal Castel, C., Santos, K. S., Mello, A. C. E., Liberman, S. A., Oviedo, M. A. S., & Mauler, R. S. (2011). Effect of processing conditions on the mechanical and thermal properties of high-impact polypropylene nanocomposites. *Materials Science and Engineering A*, 528(22–23), 6715–6718.
- Gopakumar, T. G. (2005). Compounding of nanocomposites by thermokinetic mixing. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(1), 352–363.
- Jakopin, S. (1973). American Chemical Society – *Division of Organic Coatings & Plastics Chemistry*, 144.
- Matthews, G. (1972). *Vinyl and Allied Polymers* (Vol. 2). Butterworth.
- Osswald, T. A., & Menges, G. (2012). *Materials Science of polymers for Engineers* (3rd Ed.). Hanser Publishers.
- Pawlak, A., Morawiec, J., Piorkowska, E., & Galeski, A. (2003). Polypropylene nanocomposites – preparation and properties. *Solid State Phenomena*, 94, 335–338.
- Rosato, D. V., & Rosato, D. V. (2004). *Extruding Plastics: A Practical Processing Handbook*. Springer.
- Safraoui, L., Benhadou, A., Haddout, A., Benhadou, M., & Rhrich, F. (2017). Influence of twin- screw configuration on the dispersion quality of high-concentration colored masterbatch. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(4), 266–276.
- Santos, K. S., Liberman, S. A., Oviedo, M. A. S., & Mauler, R. S. (2009). Optimization of the mechanical properties of polypropylene-based nanocomposite via the addition of a combination of organoclays. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(8), 1199–1209.
- Spalding, M. A., Chhabra, R. P., & Campbell, G. A. (2018). *Handbook of Polymer Processing*. Wiley.
- Sultan, G., Giusti, E., Schneider, S., & Tondini, F. (2014). *Identification of colored-masterbatch process-parameter with greater influence on pigment dispersion and color perception*.
- Teixeira, C., Faria, R., Covas, J., & Gaspar-Cunha, A. (2007). Modelling flow and heat transfer in co-rotating twin-screw extruders. In *10th ESAFORM Conference on Material Forming*. AIP Publishing.
- van Zuilichem, D. J., Kuiper, E., Stolp, W., & Jager, T. (1999). Mixing effects of constituting elements of mixing screws in single and twin-screw extruders. *Powder Technology*, 106, 147–159.
- Yazdani, H., Smith, B. E., & Hatami, K. (2016). Multi-walled carbon nanotube-filled polyvinyl chloride composites: Influence of processing method on dispersion quality, electrical conductivity and mechanical properties. *Composites Part A*, 82, 65–77.