Jurnal PROTEMAN
Professional Technology and Manufacturing
Vol. 3 No. 1 (2026) 16 – 20 | ISSN: 3063-2773 (Media Online)

Pengaruh Profil Suhu dan Putaran Screw terhadap Kualitas Permukaan Selubung PVC Kabel JZ-600 5G 2.5 pada Mesin Ekstruder Maillefer M1/1

Muhammad Qori Baihaki[1], Daddy Budiman[1*], Rina[1]
[1]Program Studi Sarjana Terapan Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia
*Corresponding author: daddy@pnp.ac.id

Abstract

The outer-diameter conformity and surface quality of the PVC sheath are key acceptance criteria in cable manufacturing, and both depend on the extrusion settings. This study examined the effect of the temperature profile and screw speed on the sheath of JZ-600 5G 2.5 cable produced on a Maillefer M1/1 jacketing extruder using PVC 803 NC compound mixed with black colour masterbatch at a ratio of 95:5. A 3^2 full factorial experiment was carried out, combining three temperature profiles of the screw zones (Z1–Z4) and crosshead zones (H1–H3), namely 130–160 °C, 140–170 °C and 150–180 °C, with three screw speeds of 1.5, 3 and 6 rpm. Every 3 m of cable, each run was inspected visually and by touch for outer-diameter conformity to the customer requirement, complete coverage of the insulated cores, and surface defects. Screw speed governed the outer diameter: no run at 1.5 rpm met the diameter requirement, showing exposed cores, tearing or wrinkling, whereas runs at 6 rpm ranged from on size to markedly oversized with rough or wavy surfaces. The temperature profile governed surface smoothness: the lowest profile produced speckled or very rough surfaces with trapped air at 3 and 6 rpm, while the two higher profiles produced smooth surfaces. Only the combination of 3 rpm and the 150–180 °C profile met all criteria, and it is recommended as the initial production setting for this product on this machine.

Keywords: cable extrusion, PVC sheath, screw speed, temperature profile, surface quality

Abstrak

Kesesuaian diameter luar dan kualitas permukaan selubung PVC merupakan kriteria penerimaan utama dalam produksi kabel, dan keduanya bergantung pada setelan proses ekstrusi. Penelitian ini mengkaji pengaruh profil suhu dan putaran screw terhadap selubung kabel JZ-600 5G 2.5 yang diproduksi pada mesin ekstruder jacketing Maillefer M1/1 dengan bahan kompon PVC 803 NC yang dicampur pewarna hitam dengan rasio 95:5. Percobaan menggunakan rancangan faktorial penuh 3^2 yang mengombinasikan tiga profil suhu zona screw (Z1–Z4) dan zona crosshead (H1–H3), yaitu 130–160 °C, 140–170 °C, dan 150–180 °C, dengan tiga putaran screw, yaitu 1,5; 3; dan 6 rpm. Setiap 3 m panjang kabel, hasil tiap percobaan diperiksa secara visual dan raba terhadap kesesuaian diameter luar dengan permintaan pelanggan, ketertutupan untaian inti, dan cacat permukaan. Putaran screw paling menentukan diameter luar: tidak ada percobaan pada 1,5 rpm yang memenuhi diameter, dengan inti terlihat, selubung robek, atau berkerut, sedangkan pada 6 rpm diameter sesuai hingga jauh berlebih dengan permukaan kasar atau bergelombang. Profil suhu paling menentukan kehalusan permukaan: profil terendah menghasilkan permukaan berbintik atau sangat kasar dengan udara terjebak pada 3 dan 6 rpm, sedangkan dua profil yang lebih tinggi menghasilkan permukaan halus. Hanya kombinasi 3 rpm dengan profil 150–180 °C yang memenuhi seluruh kriteria, dan setelan ini direkomendasikan sebagai acuan awal produksi produk tersebut pada mesin ini.

Kata kunci: ekstrusi kabel, selubung PVC, putaran screw, profil suhu, kualitas permukaan

Diterima Redaksi : 19-09-2025 | Selesai Revisi : 08-11-2026 | Diterima : 08-11-2026

1. Pendahuluan

Kabel listrik merupakan komponen utama untuk menyalurkan energi listrik pada instalasi rumah, gedung, maupun industri, sehingga mutunya harus memenuhi standar yang berlaku. Salah satu parameter yang wajib dipenuhi pada setiap instalasi listrik adalah nilai tahanan isolasi [1]. Suhu berpengaruh besar terhadap kinerja kabel: kenaikan suhu meningkatkan tahanan penghantar dan rugi daya [2], serta memengaruhi kinerja isolasi kabel berbahan PE dan PVC [3]. PVC sendiri banyak digunakan sebagai bahan isolasi dan selubung kabel, dan terus dikembangkan, antara lain untuk aplikasi kabel tegangan menengah [4].

Selain sifat listrik, mutu kabel juga dinilai dari kesesuaian dimensi dan kondisi permukaan selubung luarnya. Cacat seperti permukaan kasar, bergelombang, berkerut, robek, atau adanya udara terjebak dapat membuat kabel tidak memenuhi spesifikasi pelanggan sehingga tidak layak didistribusikan. Di banyak lini produksi, pemeriksaan permukaan kabel masih dilakukan secara visual oleh operator, sementara sistem inspeksi visual otomatis mulai dikembangkan untuk industri kabel [5].

Mutu selubung hasil ekstrusi ditentukan oleh parameter proses. Pada ekstruder ulir tunggal, putaran screw menentukan laju keluaran lelehan, sedangkan profil suhu sepanjang barel dan kepala (crosshead) menentukan kondisi pelelehan serta aliran lelehan di dalam die [6], [7]. Pengaruh putaran screw dan setelan suhu barel terhadap homogenitas suhu lelehan juga telah dikaji [8]. Pada proses pelapisan kawat (wire coating) dengan PVC, tebal lapisan bergantung pada parameter proses, termasuk suhu dan kecepatan ekstruder [9]. Ikam [10] menunjukkan bahwa cacat selubung kabel optik dapat dihindari melalui pemilihan ukuran tip dan die, kecepatan lini, serta suhu ekstruder yang tepat.

Setelan proses yang tepat bersifat spesifik terhadap bahan, konstruksi produk, dan mesin, sehingga hasil pada satu produk tidak dapat langsung diterapkan pada produk lain. Penelitian [10] berfokus pada kabel optik dengan variasi tooling dan kecepatan lini, sedangkan pemetaan kombinasi profil suhu dan putaran screw terhadap kesesuaian diameter dan cacat permukaan selubung PVC pada lini produksi industri belum banyak dilaporkan. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh profil suhu dan putaran screw terhadap kesesuaian diameter luar dan kualitas permukaan selubung PVC kabel JZ-600 5G 2.5 pada mesin ekstruder Maillefer M1/1, serta menentukan kombinasi setelan yang memenuhi seluruh kriteria mutu. Hasilnya diharapkan menjadi acuan setelan awal produksi dan memberi gambaran pola pengaruh kedua faktor tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan, Peralatan, dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada lini jacketing mesin ekstruder Maillefer M1/1 di Prysmian Group Kft MKM, Kistelek, Hongaria. Produk yang diuji adalah kabel JZ-600 5G 2.5. Bahan selubung adalah kompon PVC 803 NC yang dicampur pewarna hitam dengan rasio 95:5, sedangkan bahan masukan berupa untaian inti berinsulasi sesuai dokumen produksi. Mesin memiliki empat zona pemanas sepanjang screw (Z1–Z4) dan tiga zona pemanas pada crosshead (H1–H3). Suhu setiap zona dan putaran screw dipantau secara real-time melalui sensor mesin yang ditampilkan pada panel kendali (HMI). Peralatan pendukung meliputi gunting kabel untuk pengambilan sampel, sarung tangan, dan kacamata keselamatan.

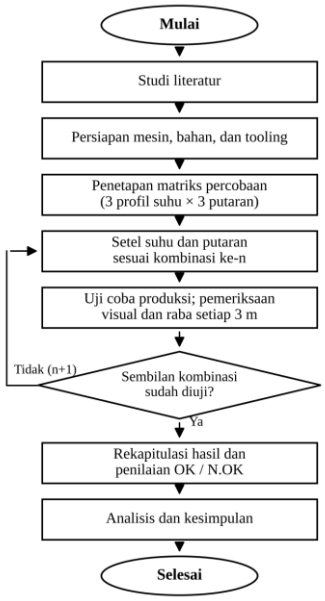
2.2 Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan rancangan faktorial penuh 3^2 dengan dua faktor yang masing-masing terdiri atas tiga level, sehingga diperoleh sembilan kombinasi percobaan. Faktor pertama adalah profil suhu (S1, S2, dan S3) yang dinaikkan 10 °C pada setiap zona dari satu level ke level berikutnya, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Faktor kedua adalah putaran screw sebesar 1,5; 3; dan 6 rpm.

Tabel 1. Level profil suhu setiap zona (°C)

Profil	Z1	Z2	Z3	Z4	H1	H2	H3
S1	130	135	140	145	150	155	160
S2	140	145	150	155	160	165	170
S3	150	155	160	165	170	175	180

Penomoran percobaan mengikuti urutan profil suhu lalu putaran: Percobaan Ke-1 sampai Ke-3 memakai profil S1, Ke-4 sampai Ke-6 profil S2, dan Ke-7 sampai Ke-9 profil S3, masing-masing pada putaran 1,5; 3; dan 6 rpm. Parameter lain, yaitu tooling (tip dan die), tegangan lini pada pay-off dan take-up, serta bahan, diatur sesuai dokumen produksi dan tidak divariasikan. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3 Prosedur Uji Coba

Uji coba dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Menyiapkan dokumen produksi dan peralatan.
2. Memanaskan mesin pada suhu siaga 120 °C.
3. Menyiapkan untaian inti berinsulasi serta bahan PVC 803 NC dan pewarna hitam dengan rasio 95:5.
4. Mengatur tegangan lini pada pay-off dan take-up, lalu memasang tip dan die.
5. Melakukan bleeding PVC selama 10 menit hingga diperoleh warna hitam yang merata.
6. Mengatur suhu setiap zona dan putaran screw sesuai kombinasi percobaan, lalu menjalankan mesin.
7. Menghentikan mesin setiap 3 m panjang kabel untuk pemeriksaan dan pengambilan sampel.
8. Mengulangi langkah 6 dan 7 untuk kombinasi berikutnya hingga kesembilan kombinasi selesai diuji.

2.4 Kriteria Penilaian Mutu

Mutu selubung dinilai melalui pemeriksaan visual dan raba (physical check) pada sampel, sesuai praktik pengendalian mutu di lini produksi. Tiga kriteria

digunakan: (a) diameter luar berada dalam toleransi permintaan pelanggan; (b) selubung menutup untaian inti secara sempurna, yaitu inti tidak terlihat dan selubung tidak robek; dan (c) permukaan halus tanpa bintik, gelombang, benjolan, kerutan, atau udara terjebak. Sampel dinyatakan OK apabila ketiga kriteria terpenuhi dan N.OK apabila salah satu kriteria tidak terpenuhi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Coba

Ringkasan hasil kesembilan percobaan disajikan pada Tabel 2. Dari sembilan kombinasi, hanya Percobaan Ke-8 (profil S3, 3 rpm) yang memenuhi seluruh kriteria.

Tabel 2. Matriks percobaan dan hasil pemeriksaan selubung

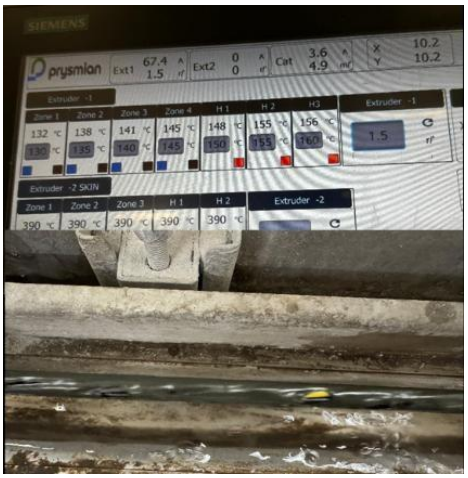
Ke-	Profil suhu	Putaran (rpm)	Diameter luar dan ketertutupan inti	Kondisi permukaan dan cacat	Status
1	S1	1,5	Sangat kecil; untaian inti terlihat jelas	Halus, tanpa gelembung udara	N.OK
2	S1	3	Hampir sesuai; untaian inti sedikit terlihat	Sedikit berbintik, agak kasar	N.OK
3	S1	6	Sesuai	Sangat kasar; terlihat udara terjebak	N.OK
4	S2	1,5	Tidak sesuai permintaan	Sangat halus; selubung robek	N.OK
5	S2	3	Sesuai	Sangat halus; penampang sedikit bergelombang	N.OK
6	S2	6	Sedikit di atas toleransi	Sangat halus; beberapa benjolan, sedikit bergelombang	N.OK
7	S3	1,5	Di bawah toleransi	Penampang berkerut	N.OK
8	S3	3	Sesuai	Halus, tanpa cacat yang terlihat	**OK**
9	S3	6	Jauh di atas toleransi	Sangat halus; penampang sangat bergelombang	N.OK

Panel mesin menampilkan suhu setelan dan suhu aktual setiap zona. Nilai yang terbaca pada panel di Gambar 2–4 dirangkum dalam Tabel 3. Selisih suhu aktual terhadap setelan berada pada rentang −4 °C hingga +4 °C. Selisih ini lebih kecil daripada beda 10 °C antarlevel profil suhu, sehingga ketiga level suhu tetap terbedakan dengan jelas selama percobaan.

Tabel 3. Suhu setelan/aktual pada panel mesin (°C)

Zona	Ke-1 (1,5 rpm)	Ke-8 (3 rpm)	Ke-9 (6 rpm)
Z1	130/132	150/154	150/154
Z2	135/138	155/158	155/158
Z3	140/141	160/161	160/161
Z4	145/145	165/166	165/166
H1	150/148	170/171	170/170
H2	155/155	175/175	175/175
H3	160/156	180/178	180/178

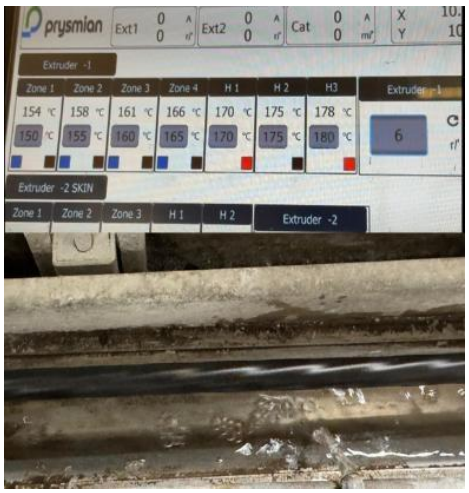
Keterangan: dibaca dari panel HMI pada Gambar 2–4.



Gambar 2. Panel mesin dan kabel hasil Percobaan Ke-1 (S1, 1,5 rpm)



Gambar 3. Panel mesin dan kabel hasil Percobaan Ke-8 (S3, 3 rpm)



Gambar 4. Panel mesin dan kabel hasil Percobaan Ke-9 (S3, 6 rpm)

3.2 Pengaruh Putaran Screw terhadap Diameter Luar

Tabel 2 menunjukkan bahwa putaran screw paling menentukan kesesuaian diameter luar. Pada 1,5 rpm

tidak ada percobaan yang memenuhi diameter: pada Ke-1 diameter sangat kecil hingga untaian inti terlihat jelas, pada Ke-4 diameter tidak sesuai permintaan dan selubung robek, dan pada Ke-7 diameter di bawah toleransi dengan penampang berkerut. Pada 3 rpm diameter hampir sesuai hingga sesuai, sedangkan pada 6 rpm diameter sesuai hingga jauh melebihi toleransi.

Kecenderungan ini sejalan dengan prinsip kekekalan massa pada lini ekstrusi selubung. Luas penampang selubung ditentukan oleh laju keluaran massa lelehan dan kecepatan lini [6]:

$$A_s = (\pi/4)(D^2 - d^2) = Q_m / (\rho \cdot v) \quad (1)$$

dengan A_s luas penampang selubung (m^2), D diameter luar kabel (m), d diameter untaian inti sebelum diselubungi (m), Q_m laju keluaran massa ekstruder (kg/s), ρ massa jenis PVC (kg/m^3), dan v kecepatan lini (m/s).

Pada ekstruder ulir tunggal, laju keluaran meningkat seiring kenaikan putaran screw [6]. Dengan parameter lini lain yang tidak divariasikan, kenaikan putaran menambah volume lelehan per satuan panjang kabel sehingga diameter luar membesar. Pada 1,5 rpm lelehan tidak cukup untuk membentuk selubung dengan tebal yang dibutuhkan, sehingga inti terlihat dan selubung yang tipis mudah robek atau berkerut. Sebaliknya, pada 6 rpm kelebihan lelehan menghasilkan diameter berlebih dan penampang bergelombang. Pada 6 rpm diameter juga cenderung membesar seiring kenaikan suhu (Ke-3 sesuai, Ke-6 sedikit lebih, Ke-9 sangat berlebih). Kecenderungan ini diduga berkaitan dengan perubahan perilaku aliran lelehan terhadap suhu [7] dan perlu dikonfirmasi dengan pengukuran laju keluaran pada penelitian lanjutan.

3.3 Pengaruh Profil Suhu terhadap Kondisi Permukaan

Profil suhu paling berpengaruh terhadap kehalusan permukaan. Pada profil terendah S1, permukaan sedikit berbintik dan agak kasar pada 3 rpm (Ke-2), serta sangat kasar dengan udara terjebak pada 6 rpm (Ke-3). Pada profil S2 dan S3, permukaan halus hingga sangat halus pada semua putaran. Cacat yang masih muncul pada kedua profil ini berupa gelombang, benjolan, kerutan, atau robekan yang menyertai ketidaksesuaian diameter, bukan kekasaran permukaan.

Pola ini dapat dijelaskan dari kondisi pelelehan. Suhu barel yang rendah menghasilkan lelehan dengan viskositas tinggi dan pelelehan yang belum sempurna, sehingga permukaan selubung menjadi kasar [6]. Kenaikan putaran screw mempersingkat waktu tinggal bahan di dalam barel dan memengaruhi homogenitas suhu lelehan [8], sehingga cacat pada profil S1 makin berat dari 3 rpm (Ke-2) ke 6 rpm (Ke-3). Hal ini sejalan dengan hasil Ke-1: pada profil S1 dengan putaran terendah 1,5 rpm, waktu tinggal yang lebih panjang menghasilkan permukaan halus tanpa gelembung udara, meskipun diameternya tidak memenuhi.

3.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu dan Keterbatasan

Setelan terbaik penelitian ini (Z1–Z4 = 150–165 °C dan H1–H3 = 170–180 °C pada 3 rpm) berada pada rentang yang sejalan dengan Ikam [10], yang memperoleh selubung kabel optik tanpa cacat pada suhu zona screw 130–175 °C dan zona crosshead 180–185 °C. Pada kedua penelitian, suhu zona crosshead diatur lebih tinggi daripada zona screw. Perbedaannya, Ikam [10] memvariasikan tooling dan kecepatan lini, sedangkan penelitian ini memvariasikan putaran screw dengan tooling tetap.

Penilaian mutu dalam penelitian ini bersifat kualitatif melalui pemeriksaan visual dan raba. Selain itu, hasil terbaik diperoleh pada profil suhu tertinggi yang diuji, sehingga belum dapat dipastikan bahwa profil S3 merupakan batas optimum. Penelitian lanjutan disarankan mengukur diameter luar, tebal selubung, dan kekasaran permukaan secara kuantitatif, serta menguji rentang suhu yang lebih lebar dengan tetap memperhatikan batas degradasi termal PVC.

4. Kesimpulan

Berdasarkan sembilan kombinasi percobaan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Putaran screw merupakan faktor yang paling menentukan kesesuaian diameter luar selubung. Pada 1,5 rpm tidak ada percobaan yang memenuhi diameter (inti terlihat, selubung robek, atau berkerut), pada 6 rpm diameter sesuai hingga jauh melebihi toleransi, sedangkan 3 rpm memberikan diameter yang paling mendekati permintaan pelanggan.
2. Profil suhu merupakan faktor yang paling menentukan kehalusan permukaan. Profil terendah (130–160 °C) menghasilkan permukaan berbintik dan kasar serta udara terjebak pada 3 dan 6 rpm, sedangkan profil 140–170 °C dan 150–180 °C menghasilkan permukaan halus.
3. Satu-satunya kombinasi yang memenuhi seluruh kriteria adalah putaran 3 rpm dengan suhu Z1 = 150 °C, Z2 = 155 °C, Z3 = 160 °C, Z4 = 165 °C, H1 = 170 °C, H2 = 175 °C, dan H3 = 180 °C (Percobaan Ke-8). Setelan ini direkomendasikan sebagai acuan awal produksi kabel JZ-600 5G 2.5 pada mesin Maillefer M1/1.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prysmian Group Kft MKM, Kistelek, Hongaria, atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan untuk melaksanakan uji coba produksi dalam penelitian ini.

Daftar Rujukan

[1] A. R. Machdi, "Analisa kelayakan sistem instalasi listrik melalui pengujian nilai tahanan isolasi dan tahanan bumi," Jurnal Teknik: Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK, vol. 17, no. 1, 2016, doi: 10.33751/teknik.v17i1.910.

[2] K. R. Dewi, Suyitno, and N. H. Yuninda, "Pengaruh peningkatan suhu dan besaran arus terhadap tahanan

penghantar kabel listrik tegangan rendah jenis NYM," Journal of Electrical Vocational Education and Technology, vol. 4, no. 1, pp. 35–40, 2019, doi: 10.21009/JEVET.0041.06.

[3] G. Koç and Ö. Işık, "The effect of temperature and current on the insulation performance of PE and PVC power cables: A finite element approach," Energies, vol. 18, no. 6, Art. no. 1366, 2025, doi: 10.3390/en18061366.

[4] A. Elbasiony, "Enhancing the performance of optoelectronic potential of CuO/Al nanoplats in a PVC for medium voltage cables applications," Journal of Thermoplastic Composite Materials, vol. 38, 2024, doi: 10.1177/08927057241251835.

[5] L. Massa, B. Ferreira, and T. Vieira, "Real-time visual quality inspection system for automotive cable manufacturing," in Anais Estendidos do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais (SBESC), 2024, pp. 21–24, doi: 10.5753/sbesc_estendido.2024.243634.

[6] C. Rauwendaal, Polymer Extrusion, 5th ed. Munich, Germany: Carl Hanser Verlag, 2014.

[7] B. Vergnes and J.-F. Agassant, "Modélisation des écoulements dans les filières d'extrusion," Techniques de l'Ingénieur, AM3655, 2008.

[8] C. Abeykoon, M. McAfee, K. Li, A. L. Kelly, and E. C. Brown, "Monitoring the effect of operating conditions on melt temperature homogeneity in single-screw extrusion," in Proc. 68th Annu. Tech. Conf. Society of Plastics Engineers (ANTEC 2010), vol. 2, 2010, pp. 1210–1217.

[9] R. Kozan and B. Cirak, "Prediction of the coating thickness of wire coating extrusion processes using artificial neural network (ANN)," Modern Applied Science, vol. 3, no. 7, 2009.

[10] B. Ikam, "Pengaruh temperatur dan line speed pada proses pembuatan kabel optik yang mengalami kecacatan di selubung kabel pada mesin extruder," Jurnal Teknik Mesin, vol. 5, no. 2, pp. 37–49, 2016, doi: 10.22441/jtm.v5i2.709.