

Proses Manufaktur Castors untuk Kebutuhan Hospital Equipment dengan Penambahan bubuk Grafit

M. Muzaini¹, Annisa Puspa Mustika², Dwi Rahmalina³, Susanto⁴

Magister Teknik Mesin,
Universitas Pancasila

Jl. Borobudur No.7, Pegangsaan, Menteng, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta.

e-mail : mmuzaini_cevest@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi ketahanan material karena menghindari Pelepasan muatan Listrik Statis (ESD) pada produk kastor roda tempat tidur yang digunakan di rumah sakit, yang berdasarkan standar tahan anti statis ISO 228822: 2011 sebesar $10^5 \Omega < R \leq 10^7 \Omega$. Proses pembuatannya menggunakan bahan mesin injeksi cetakan TPU (95% berat) + bubuk Grafit (5% berat) dan / atau bubuk Karbon Aktif (5% berat). Metode ini menggunakan Taguchi dengan 3 faktor parameter, yaitu suhu cetakan ($^{\circ}C$), energi tekanan (kg), dan arus injeksi (%) untuk faktor dugaan yang mempengaruhi nilai resistansi permukaan dengan menggunakan ortogonal array L9: 3×3 . Hasil menunjukkan roda kastor telah berhasil menurunkan nilai resistansi rata rata sebesar $10^7 \Omega$ yaitu $1.16E+07 \Omega$ untuk TPU (95wt.%) + Bubuk Grafit (5wt.%) dan $1.39E+07 \Omega$ untuk TPU (95wt.%) + Karbon Aktif (5wt.%). Nilai resistansi roda kastor ini telah sesuai dengan persyaratan ISO 22882: 201. Untuk penambahan bubuk grafit nilai kemampuan proses /Cp = 0.20, berarti $0.20 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material yang lebih optimal. Nilai kemampuan proses/Cpk = -0.49, berarti $-0.49 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material. Sedangkan untuk penambahan serbuk karbok aktif nilai kemampuan proses /Cp = 0.16, berarti $0.16 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material yang lebih optimal. Nilai kemampuan proses/Cpk = -0.56, berarti $-0.56 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material.

ABSTRACT

This research was conducted to reduce material resistance because it avoids the discharge of static electricity (ESD) on bed wheel casters used in hospitals, which are based on anti-static resistant standards ISO 228822: 2011 of $10^5 \Omega < R \leq 10^7 \Omega$. The manufacturing process uses an injection molding machine material TPU (95% by weight) + Graphite powder (5% by weight) and / or Activated Carbon powder (5% by weight). This method uses Taguchi with 3 parameter factors, namely mold temperature ($^{\circ}C$), pressure energy (kg), and injection current (%) for the alleged factors that affect the surface resistance value using orthogonal array L9: 3×3 . The results show the wheels The caster has succeeded in reducing the average resistance value by $10^7 \Omega$ ie $1.16E + 07 \Omega$ for TPU (95wt.%) + Graphite Powder (5wt.%) and $1.39E + 07 \Omega$ for TPU (95wt.%) + Activated Carbon (5wt. %). The caster wheel resistance value is in accordance with the requirements of ISO 22882: 201. For the addition of graphite powder the value of process capability / Cp = 0.20, means $0.20 < 1.00$, the process capability is low, so it is necessary to do a more optimal material composition. -0.49, meaning $-0.49 < 1.00$, the process capability is low, so it is necessary to make a material composition. As for the addition of active carbide powder the value of process capability / Cp = 0.16, means $0.16 < 1.00$, the process capability is low, so it is necessary to do a more optimal material composition. Process capability value / Cpk = -0.56, means $-0.56 < 1.00$, the process capability is low, so it is necessary to do material composition.

A. PENDAHULUAN

Kecelakaan yang disebabkan oleh *Electrostatic Discharge (ESD)* sering terjadi pada lingkungan industri manufaktur, konstruksi, pemasangan mikroprosesor, *circuit board*, komputer dan peralatan elektronik. *ESD* juga dapat terjadi di lingkungan rumah sakit seperti ketika roda kastor tempat tidur pasien bersentuhnya sepanjang lantai yang berbahan plastik, karpet polimer, karpet wol atau batu sintesis. Sehingga perencanaan pembuatan kastor harus mempunyai standar yang telah ada terutama kemampuan anti statis material sehingga dapat diterima di pasaran. Berdasarkan ISO 22882:2011 mengenai *Castors and Wheels – Requirement for castor for hospital beds* dimana resistansi anti statik pada kastor atau roda tempat tidur sebesar $10^5 \Omega < R \leq 10^7 \Omega$ (ISO, 2011) dan ISO 22884 : 2004 mengenai *castors and wheels-Requirements for Applications over* (ISO, 2004).

Meskipun banyak upaya dilakukan untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau kerugian akibat ESD, tetapi kenyataannya ESD masih mempengaruhi terhadap hasil produksi, biaya produksi, kualitas produk, kehandalan produk dan profitabilitas. Para ahli memperkirakan kerugian produk rata-rata karena listrik statis untuk berbagai objek sekitar 8 – 33% (Association, 2013). Terutama kerusakan di industri elektronik akibat ESD menyebabkan kerugian finansial yang sangat besar. PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan di bidang industri manufaktur yang memproduksi alat-alat dan perlengkapan rumah sakit atau kedokteran (*hospital equipment*). Salah satu komponen yang dihasilkan yaitu roda kastor berukuran 5”.

Penggunaan material penguat bubuk grafit dan/ atau bubuk karbon aktif dikarenakan material tersebut banyak terdapat di Indonesia. Bubuk grafit digunakan untuk pembuatan pensil, baterai kering, bahan pencampur pelumas, cat, bahan pembuat sikat dinamo, elektroda

untuk galvanisasi, bahan pembuatan sepatu rem kendaraan dan industri peleburan baja

Table 1. Tingkat kerugian listrik statis.

<i>Static Losses Reported</i>			
<i>Description</i>	<i>Min. Loss (%)</i>	<i>Max. Loss (%)</i>	<i>Est. Avg. Loss (%)</i>
<i>Component Manufacturers</i>	4	97	16-22
<i>Subcontractors</i>	3	70	9-15
<i>Contractors</i>	2	35	8-14
<i>User</i>	5	70	27-33

Sumber (Halperin, 1990)

Grafit mempunyai kelebihan karakteristik fisik, kimia dan mekanik yaitu ketahanan gesekan, ketahanan korosi, modulus elastisitas yang tinggi, kekuatan tekan yang tinggi, konduktor panas dan listrik yang sangat baik, dan mempunyai sifat menyerap yang baik. Sehingga dapat diperoleh *wheel out* kastor yang berkualitas dan mempunyai kemampuan anti statis yang baik (Vinson & Liou, 2000).

Berdasarkan hasil penelitian terhadap pengembangan material komposit, maka dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan optimasi proses manufaktur *wheel out* kastor anti statik dari material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) 95 wt.% berpenguat bubuk grafit 5wt.% dan/ atau bubuk karbon aktif 5wt.% dengan melakukan setting parameter proses produksi cetak injeksi (Barick & Tripathy, 2011)

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mendapatkan setting parameter proses yang optimal dari 3 parameter yang digunakan, yaitu temperatur cetakan (*mold temperatur*), gaya tekan (*holding press*) dan aliran injeksi (*injection flow*) dan meminimalkan cacat-cacat produk *wheel out* kastor 5” yang dihasilkan, dengan melakukan proses pencampuran yang homogen.

B. KAJIAN PUSTAKA

Electrostatic Discharge (ESD) dapat didefinisikan loncatan muatan listrik statis dari suatu objek ke objek yang lain karena adanya beda potensial listrik diantara kedua objek tersebut (Halperin, 1990). Loncatan atau perpindahan muatan listrik terjadi secara cepat sehingga menghasilkan arus listrik sangat tinggi, akibatnya energi panas yang dihasilkan pun tinggi yang dapat membakar atau melelehkan objek yang dikenainya. Sebaliknya, jika perpindahan muatan terjadi secara lambat karena adanya material yang resistan pada objek, maka arus listrik dan energi yang dihasilkan lebih rendah, sehingga cukup aman dan tidak merusak objek yang terkena.

Tabel 2. Tegangan yang dihasilkan akibat ESD

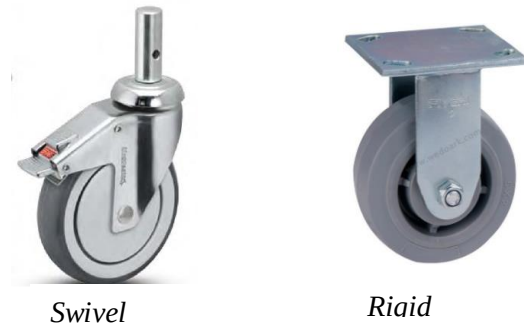
Level Tegangan dan Tipe Pembangkit Statik		
Sarana Pembangkit	10 – 25% RH	65 – 90% RH
Berjalan di karpet	35.000 Volt	1.500 Volt
Berjalan di ubin vinil	12.000 Volt	250 Volt
Bekerja di meja	6.000 Volt	100 Volt
Poli Bag diangkat dari meja	20.000 Volt	1.200 Volt
Kursi dengan busa uretan	18.000 Volt	1.500 Volt

Catatan : RH = Relative Humidity
Sumber (Halperin, 1990)

Kastor adalah perangkat roda yang dipasang pada suatu objek lebih besar sehingga dapat mendukung beban dan meneruskan gerakan objek secara aman dan mudah. Kastor digunakan pada objek-objek seperti galangan kapal, otomotif, kereta api, pesawat terbang, *crane*, troli, peralatan furnitur, kursi roda, tempat tidur dan lain-lain. Bahan roda diantaranya yaitu besi cor, plastik, karet, *polyurethan*, baja tempa, stainless steel, aluminium dan masih banyak lagi.

Jenis kastor ada 2 tipe, yaitu :

1. *Swivel Castor* (Kastor Putar)
Kastor yang memungkinkan bergerak dalam berbagai arah (360 derajat).
2. *Rigid Castor* (Kastor Kaku)
Kastor yang hanya memungkinkan dapat bergerak maju dan mundur saja.



Gambar 1. Tipe Kastor

Sumber (Coble, 2003)

Berdasarkan beberapa katalog, kastor yang digunakan untuk peralatan-peralatan di rumah sakit dan kesehatan diantaranya terbuat dari material : *Thermoplastic Rubber*, *Nylon Black*, *Polyurethane Black*, *Anti-Static Black Rubber*, *Neoprene Rubber*, *Grey Thermoplastic Rubber (TPR)* dan *Thermoplastic Polyurethane (TPU)*(Coble, 2003)

Grafit adalah bentuk alami karbon (C) dengan struktur kristal heksagonal. Grafit mempunyai sifat penghantar panas dan listrik yang baik, resistan terhadap panas, resistan terhadap bahan kimia, resistan terhadap korosi dan resistan terhadap asam, serta bisa sebagai pelumas (Maus & Galic, 1989)

Tabel 3. Spesifikasi material grafit

Massa jenis / Berat molekul	P	1.900 (g/cm ³)
Titik Cair / titik beku	T _m	3,652 – 3,697 (°C)
<i>Tensile Strenght</i>	σ _{ts}	4.8 – 76 (M.Pa)
<i>Electrical conductivity</i>	K	3x10 ⁴ – 2x10 ⁵ (Ωm ⁻¹)

Sumber ("Catalogue Injection Moulding Machine Sumitomo Shi Demag,")

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya absorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Pada proses aktivasi juga terbentuk pori-pori baru karena adanya pengikisan atom karbon melalui oksidasi atau pemanasan (Kołodzyńska, Krukowska, & Thomas, 2017).

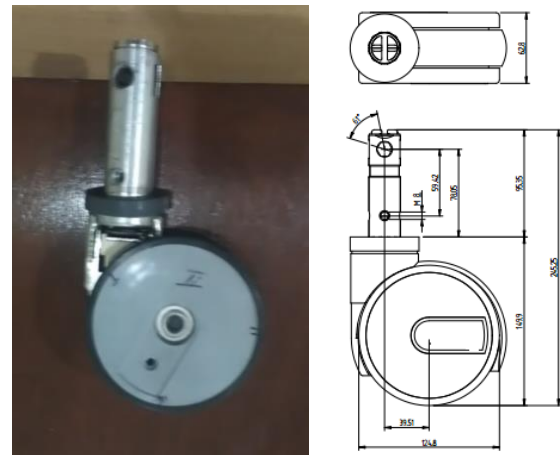
Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrokristalin). Karbon aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun atas lapisan bidang datar dimana atom-atom karbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanan atom-atom heksagonal. Karbon aktif terdiri dari 87% - 97% karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan (Kołodzyńska et al., 2017)

C. METODE PENELITIAN

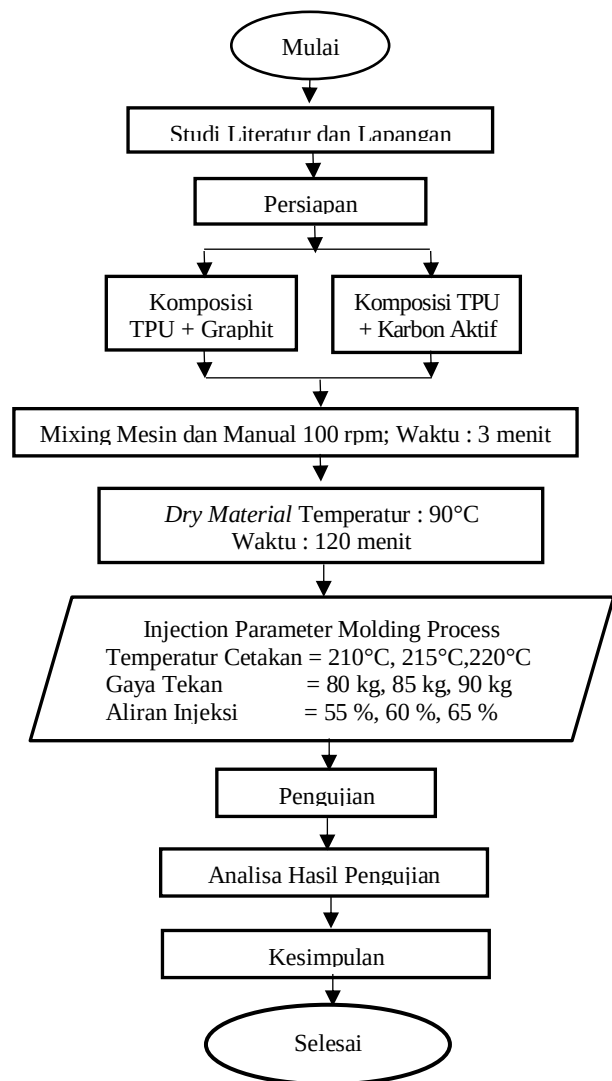
Sistematika penelitian dilakukan sebagai langkah-langkah yang dilakukan oleh peneliti dalam melakukan penelitian terhadap objek yang diteliti dengan membuat *flow chart* sehingga dapat mengontrol apabila ada ketidaksesuaian yang terjadi. Komponen roda kastor terdiri dari 2 komponen utama, yaitu bagian *wheel in* dan bagian *wheel out*, dimana proses pembuatan dengan menggunakan mesin cetak injeksi. Penelitian ini hanya membahas proses pembuatan *wheel out* saja, karena bagian inilah yang bersentuhan langsung dengan lantai sehingga mampu menghantarkan listrik statik.

Tabel 4. Dimensi roda kastor

No	Nama	Dimensi (mm)	Berat (gr)
1	<i>Wheel in</i>	Ø 114 x 26,5	91,6
2	<i>Wheel out</i>	Ø 125 x 33	97



Gambar 2. Gambar kastor



Gambar 3. Flowchart Penelitian

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini *wheel out* kastor dibuat dengan cara mencampur TPU dengan

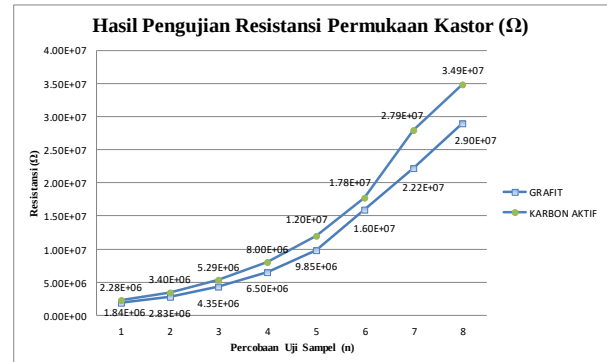
dua jenis penguat yang berbeda, yaitu bubuk grafit dan/ atau bubuk karbon aktif. Komposisi yang digunakan yaitu TPU (95 wt.%) + bubuk grafit (5 wt.%) dan TPU (95 wt.%) + bubuk karbon aktif (5 wt.%), serta dilakukan proses manufaktur menggunakan cetak injeksi dengan menggunakan 3 faktor setting parameter yaitu temperatur cetakan, gaya tekan dan aliran cetakan.

Pengujian resistansi permukaan dilakukan di laboratorium fisika, LIPI Puspitex Serpong dikarenakan peralatan uji di Laboratorium PT. MAK, Kalasan, Yogyakarta tidak dapat mendeteksi nilai besaran resistansi *wheel out* kastor. Peralatan yang digunakan untuk mengukur resistansi *wheel out* kastor di PT. MAK adalah Kyoritsu 3007A, *Digital Insulation Continuity Tester with Backlight* dengan tegangan AC = 600 V, yang dapat mengukur resistansi material antara 20MΩ s.d 2000MΩ. Tetapi setelah dilakukan percobaan untuk melakukan pengukuran nilai besaran resistansi tidak dapat terdeteksi dengan alat tersebut

Tabel 5. Hasil pengujian resistansi permukaan *wheel out* kastor

Percobaan	Resistansi Permukaan <i>Wheel Out</i> Kastor (Ω)	
	TPU (95 wt.%) + Bubuk Grafit (5wt.%)	TPU (95 wt.%) + Bubuk Karbon Aktif (5 wt.%)
1	1.84E+06	2.28E+06
2	2.83E+06	3.40E+06
3	4.35E+06	5.29E+06
4	6.50E+06	8.00E+06
5	9.85E+06	1.20E+07
6	1.60E+07	1.78E+07
7	2.22E+07	2.79E+07
8	2.90E+07	3.49E+07
Rata-Rata	1.16E+07	1.39E+07

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan Penambahan penguat grafit lebih baik dibandingkan dengan penambahan karbon aktif, yaitu sebesar $1.16E+07 \Omega > 1.39E+07 \Omega$ dengan selisih sebesar 0.23Ω .



Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan penguat terhadap nilai resistansi permukaan

Analisa Resistansi *Wheel Out* Kastor Berbahan TPU (95 wt.%) + Serbuk Grafit (5 wt.%)

Tabel 6. Nilai deviasi standar TPU (95 wt.%) + Serbuk Grafit (5 wt.%)

No	Nilai Resistansi (Xi)	Mean (X)	(Xi - X)	(Xi - X) ²
1	1.84E+06	1.16E+07	-9.72E+06	9.45E+13
2	2.83E+06	1.16E+07	-8.73E+06	7.63E+13
3	4.35E+06	1.16E+07	-7.21E+06	5.20E+13
4	6.50E+06	1.16E+07	-5.07E+06	2.57E+13
5	9.85E+06	1.16E+07	-1.72E+06	2.96E+12
6	1.60E+07	1.16E+07	4.39E+06	1.92E+13
7	2.22E+07	1.16E+07	1.06E+07	1.13E+14
8	2.90E+07	1.16E+07	1.75E+07	3.05E+14
Jumlah Total	9.25E+07			6.88E+14
Mean (X)	1.16E+07			

Mencari nilai tengah (mean) dari nilai resistansi material

$$Mean(X) = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{9.25 * 10^7}{8} = 1.16 * 10^7$$

Mencari nilai standar deviasi (σ) dari nilai resistansi material

$$Standar deviasi (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{(n - 1)}} = \sqrt{\frac{6.88 * 10^{14}}{(8 - 1)}} = 9.92 * 10^6$$

Mencari nilai standar deviasi (σ) dari nilai resistansi material

$$Standar deviasi (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{(n - 1)}} = \sqrt{\frac{6.88 * 10^{14}}{(8 - 1)}} = 9.92 * 10^6$$

Mencari nilai batas atas dan batas bawah dengan *confidence interval* 95% maka di peroleh nilai $Z = 1.96$, maka

$$\text{Batas atas} = \bar{X} + Z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Batas atas} = 1.16 * 10^7 + 1.96 * \frac{9.92 * 10^6}{\sqrt{8}}$$

$$\text{Batas atas} = 1.84 * 10^7$$

$$\text{Batas bawah} = \bar{X} - Z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Batas bawah} = 1.16 * 10^7 - 1.96 * \frac{9.92 * 10^6}{\sqrt{8}}$$

$$\text{Batas bawah} = 0.47 * 10^7$$

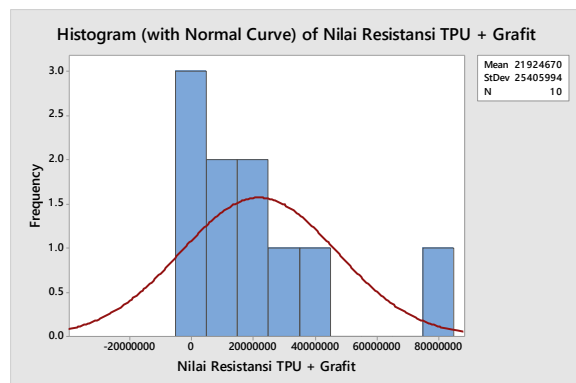
Dengan menggunakan minitab versi 18 trial diperoleh data sebagai berikut :

Histogram (with Normal Curve) of Nilai Resistansi TPU + Grafit

Descriptive Statistics: Nilai Resistansi TPU + Grafit

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar
Nilai Resistansi TPU + G	10	0	21924670	8034081	25405994	6.45465E+14	115.88

Variable	Sum	Minimum	Maximum
Nilai Resistansi TPU + G	219246700	1844700	83721000



Gambar 5. Diagram kurva normal TPU (95 wt.%) + Serbuk Grafit (5 wt.%)

Kesimpulan dari data diatas, yaitu :

1. Berdasarkan *individual chart* dan *moving range chart* terhadap 10 kali pengukuran sampel, diperoleh 1 data yang diatas *range* yaitu pada ukuran 83,721,000 Ω diatas nilai resistansi yang di iijinkan.

2. Nilai kemampuan proses $/Cp = 0.20$, berarti $0.20 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material yang lebih optimal
Nilai kemampuan proses/ $Cpk = -0.49$, berarti $-0.49 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material

Analisa Resistansi *Wheel Out* Kastor Berbahan TPU (95 wt.%) + Serbuk Karbon Aktif (5 wt.%)

Tabel 7. Nilai deviasi standar TPU (95 wt.%) + Serbuk Karbon Aktif (5 wt.%)

No	Nilai Resistansi (Xi)	Mean (X)	(Xi - X)	(Xi - X) ²
1	2.28E+06	1.39E+07	-1.17E+07	1.36E+14
2	3.40E+06	1.39E+07	-1.05E+07	1.11E+14
3	5.29E+06	1.39E+07	-8.66E+06	7.49E+13
4	8.00E+06	1.39E+07	-5.94E+06	3.53E+13
5	1.20E+07	1.39E+07	-1.95E+06	3.81E+12
6	1.78E+07	1.39E+07	3.82E+06	1.46E+13
7	2.79E+07	1.39E+07	1.40E+07	1.95E+14
8	3.49E+07	1.39E+07	2.10E+07	4.40E+14
Jumlah Total	1.12E+08			1.01E+15
Mean (X)	1.39E+07			

Mencari nilai tengah (mean) dari nilai resistansi material

$$\text{Mean}(X) = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{1.12 * 10^8}{8} = 1.39 * 10^7$$

Mencari nilai standar deviasi (σ) dari nilai resistansi material

$$\text{Standar deviasi}(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{(n - 1)}} = \sqrt{\frac{1.01 * 10^{15}}{(8 - 1)}} = 1.20 * 10^7$$

Mencari nilai batas atas dan batas bawah dengan *confidence interval* 95% maka di peroleh nilai $Z = 1.96$, maka

$$\text{Batas atas} = \bar{X} + Z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Batas atas} = 1.39 * 10^7 + 1.96 * \frac{1.20 * 10^7}{\sqrt{8}}$$

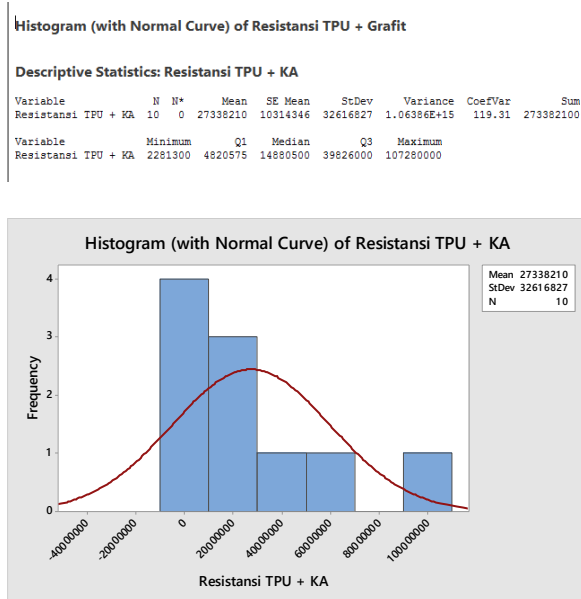
$$\text{Batas atas} = 2.23 * 10^7$$

$$\text{Batas bawah} = \bar{X} - Z * \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Batas bawah} = 1.39 * 10^7 - 1.96 * \frac{1.20 * 10^7}{\sqrt{8}}$$

$$\text{Batas bawah} = 0.56 * 10^7$$

Dengan menggunakan minitab versi 18 trial diperoleh data sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram kurva normal TPU (95 wt.%) + Serbuk Karbon Aktif (5 wt.%)

Kesimpulan dari data diatas, yaitu :

1. Berdasarkan individual chart dan moving range chart terhadap 10 kali pengukuran sampel, dapat disimpulkan bahwa hanya terdapat 1 data yang diatas range yaitu pada ukuran 107,280,000 Ω diatas nilai resistansi yang di ijinakan.
2. Nilai kemampuan proses $C_p = 0.16$, berarti $0.16 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material yang lebih optimal Nilai kemampuan proses $C_{pk} = -0.56$, berarti $-0.56 < 1.00$ maka kemampuan proses rendah, sehingga perlu dilakukan komposisi material.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data hasil penelitian yang diperoleh dari pembuatan *wheel out* kastor berbahan komposit TPU (95 wt.%) dan bubuk grafit (5 wt.%) dan atau bubuk karbon aktif (5 wt.%), maka dapat disimpulkan pencampuran antara material TPU Desmopan + TPU Isothane dilakukan dengan mesin pencampur (*mixer*) *Hopper Dryer Tipe HHS 100E-B* sesuai dengan standar PT. XYZ.

Penguat grafit atau karbon aktif harus dipanaskan terlebih dahulu dalam mesin pemanas material untuk mengurangi kadar

kelembaban. Kemudian TPU dicampurkan dengan penguat grafit/karbon aktif selama 3 menit sambil di mixer manual agar bercampur secara homogen. Hal lain yaitu Penambahan material penguat bubuk grafit (5 wt.%) dan atau bubuk karbon aktif (5 wt.%) menghasilkan resistansi permukaan rata-rata sebesar $10^7 \Omega$. Dimana nilai penguat bubuk grafit (5 wt.%) mempunyai nilai resistansi rata-rata $2.19E+07 \Omega$ dan nilai penguat bubuk karbon aktif rata-rata $2.73E+07 \Omega$. Nilai ini telah sesuai dengan persyaratan nilai resistansi (R) untuk kastor anti statik, yaitu $10^5 \leq R \leq 10^7 \Omega$.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Association, E. (2013). Fundamentals of electrostatic discharge, part one: An introduction to ESD. *ESD Association, Rome, NY*.
- Barick, A. K., & Tripathy, D. K. (2011). Preparation, characterization and properties of acid functionalized multi-walled carbon nanotube reinforced thermoplastic polyurethane nanocomposites. *Materials Science and Engineering: B*, 176(18), 1435-1447.
- Catalogue Injection Moulding Machine Sumitomo Shi Demag. <http://www.sumitomo-shi-demag.us/index.html>.
- Coble, S. (2003). Materials data book. *Cambridge University Engineering Department*.
- Halperin, S. (1990). *Guidelines for static control management*. Paper presented at the Proc. Eurostat Conf.
- ISO. (2004). IS/ISO 22884, Castor and Wheel- Requirement for Applications Over 1.1 m/s (4 km/h) and up to 4.4 m/s (16 km/h).
- ISO. (2011). ISO 22882, Castor and Wheel- Requirement for castor for hospital bed.
- Kołodźńska, D., Krukowska, J. a., & Thomas, P. (2017). Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and

- commercial active carbon. *Chemical Engineering Journal*, 307, 353-363.
- Maus, S. M., & Galic, G. J. (1989). Method for injection molding articles: Google Patents.
- Vinson, J. E., & Liou, J. J. (2000). Electrostatic discharge in semiconductor devices: protection techniques. *Proceedings of the IEEE*, 88(12), 1878-1902.