

Implementasi Perancangan Eksperimen untuk Mengurangi Kecacatan di Proses Injection Molding P.T. X

Didik Wahjudi^{1*}, Roynaldo¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

*Penulis korespondensi; E-mail: dwahjudi@petra.ac.id

ABSTRAK

Sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi plastik menggunakan mesin *injection molding* di Sidoarjo. Beberapa produk yang dihasilkan adalah ember, pot, bola biopori, dan baskom. Pada proses produksinya, perusahaan tersebut sering mengalami kendala banyaknya jumlah produk yang cacat karena tidak memiliki pengaturan mesin yang tepat untuk produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaturan mesin yang tepat agar jumlah produk yang cacat dapat berkurang dan meningkatkan keuntungan perusahaan. Dari diskusi dengan pengelola perusahaan, beberapa faktor yang diduga berpengaruh adalah temperatur *nozzle* (T_{Nozzle}), temperatur leleh plastik sebelum memasuki *nozzle* (T_1), temperatur di tengah barrel (T_2), temperatur ketika biji plastik keluar dari *hopper* (T_3), tekanan injeksi, dan tekanan *clamping*. Rancangan eksperimen 2^{6-2} dengan dua replikasi dipilih karena keterbatasan sumberdaya yang tersedia untuk menerapkan rancangan faktorial penuh. Dari hasil ANOVA didapatkan bahwa faktor T_1 , T_3 , dan interaksi T_1 - T_2 paling berpengaruh terhadap kecacatan produk. Pengaturan T_{Nozzle} pada 230°C , T_1 pada 215°C , T_2 pada 190°C , T_3 pada 185°C , tekanan injeksi 90%, dan tekanan *clamping* 115 bar terbukti dapat mengurangi jumlah produk cacat secara signifikan.

Kata kunci: Pengurangan kecacatan, *injection molding*, desain faktorial fraksional.

ABSTRACT

A company engaged in the production of plastic using injection molding machines in Sidoarjo. Some of their products are buckets, pots, biopori balls, and basins. In the production process, these companies often experience problems with the large number of defective products because they do not have the right machine settings for production. This study aims to get the right machine settings so that the number of defective products can be reduced and increase company profits. From discussions with company managers, several factors that are thought to have an influence are nozzle temperature (T_{Nozzle}), plastic melting temperature before entering the nozzle (T_1), temperature in the middle of the barrel (T_2), temperature when plastic pellets exit the hopper (T_3), injection pressure, and clamping pressure. Experimental design 2^{6-2} with two replications was chosen due to limited resources available to implement a full factorial design. From the results of the ANOVA it was found that the factors T_1 , T_3 , and the interaction of T_1 - T_2 had the most influence on product defects. T_{Nozzle} settings at 230°C , T_1 at 215°C , T_2 at 190°C , T_3 at 185°C , injection pressure of 90%, and clamping pressure of 115 bar are proven to reduce the number of defective products significantly.

Keywords: Defect reduction, *injection molding*, fractional factorial design.

PENDAHULUAN

P.T. X merupakan sebuah industri yang bergerak di bidang produksi plastik hasil *injection molding*, yang dipakai sebagai sebagai produk perlengkapan rumah tangga, seperti timba plastik, ember, pot, bola biopori, dan baskom dengan bahan plastik *polypropylene* [1, 2]. Seiring berjalannya waktu, P.T. X mengalami peningkatan permintaan produk timba plastik sehingga memerlukan peningkatan kapasitas produksi. Namun seringkali P.T. X mengalami kesulitan untuk memenuhi permintaan tersebut karena terjadi kecacatan yang tinggi (antara

4 hingga 10%) disebabkan oleh terjadinya kesalahan mekanisme kerja dan pengaturan mesin. Kecacatan yang sering terjadi ialah melubernya plastik yang menyebabkan perlunya *finishing* tambahan. Selain kecacatan tersebut, dalam proses produksi juga sering terjadi cacat produk yang menyebabkan produk tidak dapat dipakai maupun diperbaiki. Kondisi-kondisi tersebut sangat merugikan P.T. X karena berdampak pada turunnya produktivitas dan meningkatnya biaya produksi.

Metode desain eksperimen telah banyak dipakai untuk memperbaiki kualitas produk, misalnya penelitian oleh [3-6]. Melalui desain eksperimen dapat

diperoleh informasi faktor mana yang berpengaruh pada kualitas produk dan bagaimana memilih pengaturan yang paling tepat untuk mengurangi kecacatan produk. Namun sayangnya belum ada upaya terstruktur yang dilakukan oleh P.T. X untuk mengurangi kecacatan produksinya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor mana saja yang berpengaruh signifikan terhadap kecacatan produk dan pengaturan parameter bagaimana yang akan meminimalisir kecacatan produk melalui penerapan metode desain eksperimen.

Wawancara pendahuluan dilakukan dengan pihak pengelola perusahaan untuk mengidentifikasi beberapa faktor yang diduga berpengaruh pada hasil proses *injection molding*. Faktor-faktor yang diduga berpengaruh pada kecacatan adalah T_{nozzle} (temperatur pada *nozzle* untuk melelehkan biji plastik saat mau dilakukan injeksi), T_1 (temperatur leleh plastik pada saat sebelum memasuki *nozzle*), T_2 (temperatur pada tengah *barrel* untuk memanaskan biji plastik yang lewat), T_3 (temperatur ketika biji plastik keluar dari *hopper* untuk masuk ke *barrel*), tekanan injeksi, dan tekanan *clamping*. Enam faktor tersebut yang menjadi fokus dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Di awal penelitian, peneliti melakukan observasi dan wawancara dengan kepala produksi untuk mencari masalah utama yang terjadi pada P.T. X. Montgomery [7] merekomendasikan langkah-langkah sebagai berikut dalam melakukan eksperimen untuk memperbaiki kualitas produk. Setelah permasalahan teridentifikasi, peneliti perlu menentukan variabel respon yang akan diteliti. Selanjutnya, peneliti menentukan faktor yang diduga berpengaruh pada variabel respon, jumlah level, dan *range* dari setiap faktor. Dari informasi tersebut, peneliti dapat memilih rancangan eksperimen yang akan dipakai dengan memperhatikan julan eksperimen yang memungkinkan dilakukan. Langkah berikutnya adalah melakukan eksperimen sesuai dengan rancangannya dan menganalisis data yang diperoleh dari eksperimen. Langkah terakhir ialah menarik kesimpulan dan memberikan rekomendasi terhadap penyelesaian permasalahan yang ada [7].

Pada penelitian ini, ada enam faktor yang diduga berpengaruh, yaitu T_{nozzle} (temperatur pada *nozzle* untuk melelehkan biji plastik saat mau dilakukan injeksi), T_1 (temperatur leleh plastik pada saat sebelum memasuki *nozzle*), T_2 (temperatur pada tengah *barrel* untuk memanaskan biji plastik yang lewat), T_3 (temperatur ketika biji plastik keluar dari *hopper* untuk masuk ke *barrel*), tekanan injeksi, dan tekanan *clamping*. Variabel respon yang akan dipakai adalah persentase kecacatan dari total produksi. Hasil eksperimen akan dianalisis dengan ANOVA setelah terlebih dulu dilakukan pengujian IIDN (Identik, Independen, Distribusi Normal)

terhadap data. Bila sudah diketahui faktor mana yang berpengaruh dan tidak, *main effect plot* dan *interaction plot* dipakai untuk memilih parameter pengaturan yang terbaik. Untuk membuktikan faktor dan parameter yang ditemukan adalah terbaik maka perlu dilakukan uji validasi. Hasil uji validasi tersebut dibandingkan dengan respon prediksi dari model regresi dengan memakai *one sample test* [8, 9].

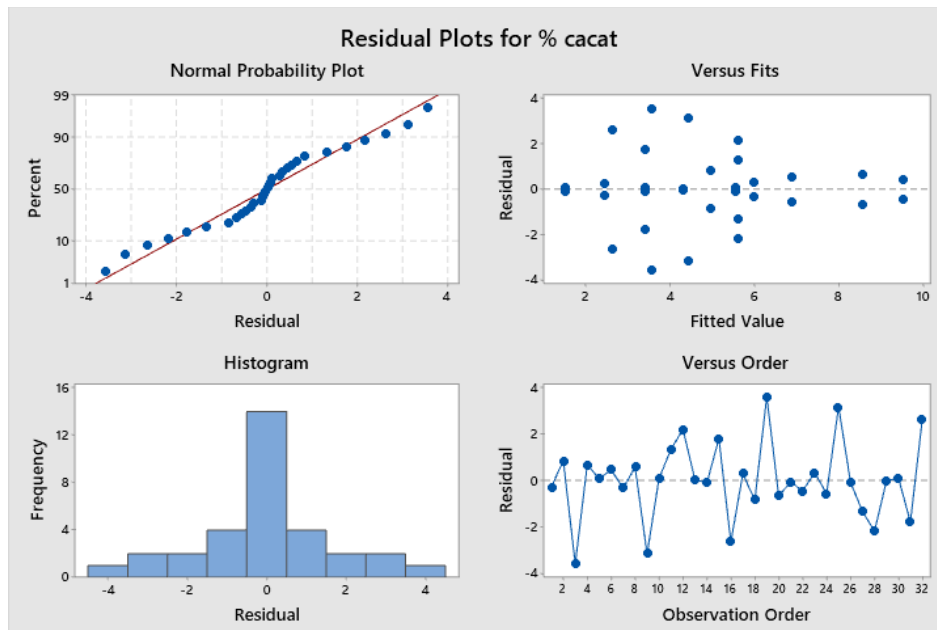
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada enam faktor yang diduga berpengaruh pada tingkat kecacatan produk. Enam faktor tersebut bersama dengan *range* parameternya diberikan pada Tabel 1. Bila eksperimen dilakukan dengan rancangan dua level faktorial penuh, maka diperlukan 64 kali percobaan. Rancangan ini tidak dapat dilaksanakan dalam penelitian ini karena perusahaan hanya memberikan waktu selama 3 hari untuk melakukan eksperimen. Mengingat batasan tersebut fraksi $\frac{1}{4}$ dengan resolusi IV yang dapat mengurangi jumlah percobaan dari 64 kali menjadi 16 kali dipilih. Dalam rancangan resolusi IV berarti *main effect* dikaburkan dengan interaksi 3 faktor yang lain, sedangkan interaksi 2 faktor dikaburkan dengan interaksi 2 faktor lain. Oleh karenanya, perlu diperhatikan faktor mana yang akan ditempatkan sebagai faktor E dan F, di mana interaksi dua faktor E-F akan dikaburkan dengan interaksi dua faktor lainnya. Dari pertimbangan tersebut, maka faktor T_3 (temperatur ketika biji plastik keluar dari *hopper* untuk masuk ke *barrel*) dan tekanan *clamping* berturut-turut dijadikan sebagai faktor E dan F karena kemungkinan terjadinya interaksi dua faktor antara keduanya dapat dikatakan tidak ada. Setiap kombinasi dilakukan replikasi 2 kali agar estimasi dari *experimental error* dapat diperoleh.

Tabel 1. Faktor dan *range* setiap faktor

Faktor	Level	
	(-1)	(1)
A (T_1)	215°C	225°C
B (T_{nozzle})	230°C	240°C
C (Tekanan injeksi)	90%	99%
D (T_2)	190°C	200°C
E (T_3)	170°C	185°C
F (Tekanan <i>clamping</i>)	110 bar	115 bar

Gambar 1 memberikan hasil pengujian IIDN (Identik, Independen, Distribusi Normal) dari *residuals*. Dari Gambar 1.a, dan 1.c, terlihat bahwa distribusi dari *residuals* tidak menyimpang jauh dari asumsi distribusi normal. Dari Gambar 1.b, terlihat bahwa sebaran *residuals* terhadap *fitted values* cukup identik. Demikian pula dari plot *residuals* terhadap *observation order* (Gambar 1.d.) tidak terlihat adanya *auto correlation*, yang melanggar asumsi independensi.



Gambar 1. Hasil uji kenormalan dari residuals

Tabel 2. Analysis of Variance Pendahuluan

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	142.123	9.4749	1.84	0.118
Linear	6	67.877	11.3129	2.20	0.097
T1	1	31.567	31.5673	6.14	0.025
T nozzle	1	4.702	4.7024	0.91	0.353
Tekanan injeksi	1	0.188	0.1875	0.04	0.851
T2	1	8.963	8.9631	1.74	0.205
T3	1	20.107	20.1065	3.91	0.065
Tekanan clamping	1	2.351	2.3506	0.46	0.509
2-Way Interactions	7	72.588	10.3698	2.02	0.116
T1*T nozzle	1	4.014	4.0144	0.78	0.390
T1*Tekanan injeksi	1	1.067	1.0666	0.21	0.655
T1*T2	1	36.067	36.0670	7.02	0.018
T1*T3	1	12.714	12.7140	2.47	0.135
T1*Tekanan clamping	1	5.452	5.4520	1.06	0.318
T nozzle*T2	1	6.149	6.1494	1.20	0.290
T nozzle*Tekanan clamping	1	7.125	7.1248	1.39	0.256
3-Way Interactions	2	1.657	0.8285	0.16	0.853
T1*T nozzle*T2	1	1.657	1.6571	0.32	0.578
T1*T nozzle*Tekanan clamping	1	0.000	0.0000	0.00	0.999
Error	16	82.260	5.1412		
Total	31	224.383			

Setelah semua asumsi model terpenuhi dari hasil pengujian IIDN di atas, analisis dapat dilanjutkan dengan uji *analysis of variance (ANOVA)* untuk menentukan faktor mana saja yang berpengaruh terhadap kecacatan. Dengan bantuan Minitab, didapat Tabel ANOVA pendahuluan seperti yang diberikan oleh Tabel 2.

Dari Tabel 2 tersebut didapat hanya faktor T₁ dan interaksi dua faktor T₁-T₂ yang signifikan (*P-Value* < 0.05). Sedangkan faktor T₃ agak signifikan dengan *P-Value* = 0.065. Dengan menghilangkan faktor-faktor dan interaksi faktor yang tidak signifikan, peneliti mendapatkan Tabel ANOVA lanjutan sebagaimana diberikan oleh Tabel 3.

Dari hasil *analysis of variance* lanjutan didapat bahwa faktor T₁, T₃, dan interaksi dua faktor T₁-T₂

berpengaruh signifikan terhadap persentase kecacatan produk dengan *P-Value* kurang dari 0.05. Setelah didapatkan faktor yang paling mempengaruhi response perlu dilakukan penentuan parameter dari pengaturan mesin. Parameter pengaturan mesin bisa didapatkan dengan menganalisis dari *main effect plot* dan *interaction plot* yang oleh Minitab.

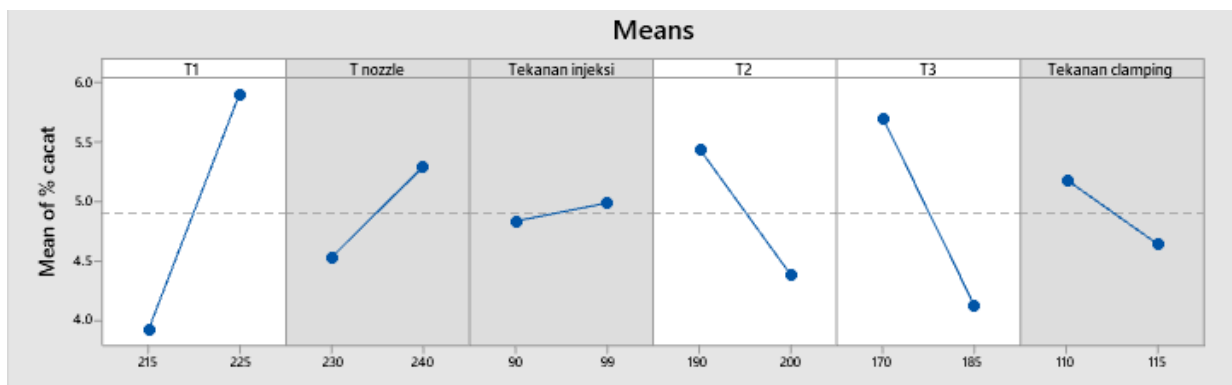
Dari *main effect plot* yang diberikan oleh Gambar 2, kecacatan yang rendah diperoleh dengan memilih parameter T₁ pada 215°C, T₂ pada 200°C, dan T₃ pada 185°C. Namun, perlu dicatat bahwa *main effect* T₂ tidak signifikan, sedangkan interaksi dua faktor T₁-T₂ yang signifikan. Oleh karena itu, penentuan parameter T₂ lebih didasarkan pada hasil *interaction plot* T₁-T₂ yang diberikan oleh Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa kecacatan terendah

Tabel 3. Analysis of Variance lanjutan

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	96.704	24.176	5.11	0.003
Linear	3	60.637	20.212	4.27	0.014
T1	1	31.567	31.567	6.68	0.016
T2	1	8.963	8.963	1.90	0.180
T3	1	20.107	20.107	4.25	0.049
2-Way Interactions	1	36.067	36.067	7.63	0.010
T1*T2	1	36.067	36.067	7.63	0.010
Error	27	127.679	4.729		
Lack-of-Fit	11	45.419	4.129	0.80	0.637
Pure Error	16	82.260	5.141		
Total	31	224.383			

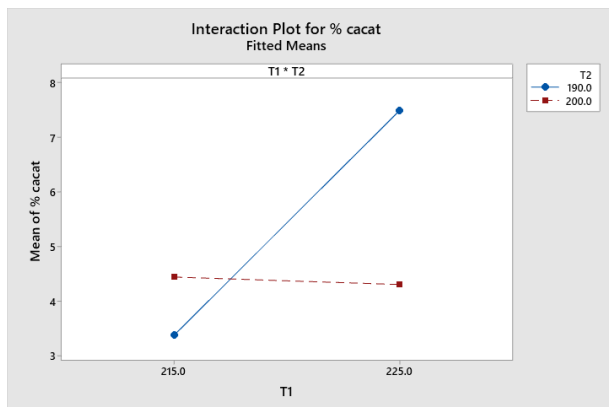
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.17459	43.10%	34.67%	20.07%



Gambar 2. Main Effect Plot

diperoleh dengan mengatur T_1 pada 215°C dan T_2 pada 190°C. Parameter yang lain bisa dipilih berdasarkan pertimbangan kepraktisan ataupun penghematan energi karena pengaruh faktor-faktor tersebut tidak signifikan. Dengan demikian, T_{Nozzle} dapat diset pada 230°C, tekanan injeksi pada 90%, dan tekanan clamping pada 115 bar. Tabel 4 memberikan rekomendasi pengaturan untuk mendapatkan tingkat kecacatan yang rendah.



Gambar 3. Interaction Plot

Tingkat kecacatan pada pengaturan dengan parameter yang dipilih dapat diperoleh dari Minitab. Minitab memberikan prediksi tingkat kecacatan

sebesar 2.587% untuk pengaturan parameter T_1 pada 215°C, T_2 pada 200°C, dan T_3 pada 185°C. Selanjutnya untuk mengkonfirmasi hasil prediksi ini, peneliti melakukan eksperimen validasi sebanyak 32 kali dengan memakai pengaturan mesin seperti pada Tabel 4. Dari hasil eksperimen 32 kali tersebut didapatkan angka rata-rata kecacatan sebesar 2.772% dengan standar deviasi sebesar 1.538. *One sample test*, yang bertujuan untuk menguji apakah nilai prediksi (yang dipakai untuk pembandingan) berbeda secara signifikan dengan rata-rata dari sampel yang diuji [10], menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan dari keduanya ($P\text{-Value} = 0.546$) sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai standar deviasi sebesar 1.538 menunjukkan data yang kurang konsisten. Hal ini menunjukkan adanya faktor-faktor lain yang berpengaruh pada tingkat kecacatan tetapi tidak dikendalikan pada eksperimen ini.

Tabel 4. Pengaturan Mesin Direkomendasikan

No.	Faktor	Parameter
1	A (T_1)	215°C
2	B (T_{Nozzle})	230°C
3	C (Tekanan injeksi)	90%
4	D (T_2)	190°C
5	E (T_3)	185°C
6	F (Tekanan clamping)	115 bar

Tabel 5. *One Sample Test*

N	Mean	Std. Dev.	95% CI for μ	P-value
32	2.772	1.538	(2.217, 3.326)	0.546

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang dilakukan pada P.T. X ditemukan faktor yang berpengaruh terhadap respon adalah T_1 , T_3 , dan interaksi T_1 - T_2 . Dari *main effect* dan *interaction plot* didapatkan pengaturan mesin terbaik adalah T_1 (temperatur leleh plastik sebelum memasuki nozzle) pada 215°C , T_2 (temperatur di tengah barrel) pada 190°C , T_3 (temperatur ketika biji plastik keluar dari *hopper*) pada 185°C . Untuk faktor yang tidak berpengaruh signifikan pada model ini disarankan T_{Nozzle} (Temperatur Nozzle) diset pada 230°C , tekanan injeksi pada 90%, dan tekanan *clamping* pada 115 bar. Pengaturan tersebut mampu menurunkan kecacatan di P.T. X menjadi 2.772% dan yang tidak banyak berbeda dari nilai prediksi model regresi, yaitu sebesar 2.587%.

Kelemahan yang teridentifikasi dalam penelitian ini ialah rendahnya R^2 *adjusted* yang sebesar 34.67% (Tabel 3). R^2 *adjusted* yang rendah menunjukkan adanya faktor-faktor lain yang belum teridentifikasi di dalam model. Oleh karena itu, peneliti menyarankan untuk penelitian berikutnya untuk mengidentifikasi faktor-faktor lain yang belum diteliti pada penelitian ini, misalnya jenis, bahan dan ketrampilan operator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] LAB Technology Indonesia. *Karakteristik Polypropylene*. LAB Technology Indonesia. <https://labtech-indonesia.com/karakteristik-polypropylene/> (accessed 28 February, 2021).
- [2] Z. A. Hendrastianto. *Plastik: Pengertian, Sejarah, Jenis, Proses Pembuatan, dan Bahan Baku*. <https://foresteract.com/plastik/> (accessed 28 February, 2021).
- [3] R. Alimin, D. Wahjudi, H. Gunawan, and P. Putra Poernomo, Regression Equations to Determine the Stages of Electric Current in Electrical Discharge Machining (EDM) According to the Level of Desired Surface Roughness with Shortest Processing Time, *E3S Web of Conferences*, vol. 130, 2019, doi: 10.1051/e3sconf/201913001024.
- [4] S. Tjitro, S. S. Gan, and H. Marwanto, Optimasi Waktu Siklus Pembuatan Kursi Dengan Proses injection Moulding, *Jurnal Poros*, vol. 9, no. 4, pp. 1-10, 2010.
- [5] S.-S. Gan, S. Tjitro, and D. A. P. Santoso, *Aplikasi Metode Desain Faktorial Untuk Mengoptimalkan Proses Pembuatan Ember Plastik*, presented at the Seminar Nasional Teknik Mesin 5, Surabaya, Indonesia, 2010.
- [6] R. Alimin, D. Wahjudi, H. Gunawan, and P. P. Poernomo, *Regression Equations to Determine the Stages of Electric Current in Electrical Discharge Machining (EDM) According to the Level of Desired Surface Roughness with Shortest Processing Time*, presented at the The 1st International Conference on Automotive, Manufacturing, and Mechanical Engineering (IC-AMME 2018), Bali, Indonesia, 2019.
- [7] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, Ninth Edition ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2017.
- [8] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 7th Edition ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2019.
- [9] J. L. Devore, *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, Ninth Edition ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2016.
- [10] Nuryadi, T. D. Astuti, E. S. Utami, and M. Budiantara, *Dasar-dasar Statistik Penelitian*. Yogyakarta: Sibuku Media, 2017.