

Optimasi Parameter Pengukuran Dimensi dan Defect Ubin Keramik dengan Metode Taguchi

Denny Sukma Eka Atmaja
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
dennysukma@telkomuniversity.ac.id

Muhammad Kusumawan Herliansyah
Departemen Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia
herliansyah@ugm.ac.id

Abstract— The ceramics industry in Indonesia has a large contribution to the growth of various aspects in Indonesia. But in reality, there is still an imbalance between exports and imports for ceramic products. One way is to improve the quality of the ceramic industry in Indonesia. In fact, the ceramic quality inspection process in the ceramic industry is still done manually which can make mistakes in identifying defects. In this study, the design of variable identification system of ceramics was carried out specifically in the area of ceramics and dry spot defects on ceramic surfaces using image processing. Whereas to get a low error rate against the applicable variables, a design of experiment with the Taguchi approach is carried out. The results show that 50 cm distance, 300 lux light, 1x resize and 0.06 threshold can produce an image that has the smallest error value when identifying ceramic area and dry spot defects on the ceramic surface.

Keywords—Image Processing, Quality, Ceramic, Dry spot, Taguchi

I. PENDAHULUAN

Produk industri keramik sangatlah beragam mulai dari saniter, perangkat rumah tangga, genteng dan juga keramik itu sendiri. Industri keramik ini punya kontribusi yang signifikan terhadap penyediaan kebutuhan domestik, perolehan devisa dan penyerapan tenaga kerja [4]. Dilihat dari data ekspor dan impor yang didapatkan dari [12] bahwa volume impor keramik di Indonesia sendiri masih tinggi dibandingkan volume ekspor. Salah satu faktor yang diyakini oleh Asosiasi Aneka Industri dan Keramik Indonesia (Asaki) mengapa adanya ketimpangan antar ekspor dan impor keramik dalam negeri adalah kualitas yang dimiliki.

Pada kenyataannya, mayoritas industri keramik di Indonesia dan juga di Balai Besar Keramik (BBK) pada proses inspeksi visual produk keramik masih dilakukan manual atau dengan penglihatan operator [2]. Menurut [5] apabila proses inspeksi dilakukan dengan penglihatan manusia akan mengakibatkan beberapa hal antara lain proses menjadi semakin lama dan juga tiap operator inspeksi akan memiliki kesimpulan masing masing ditambah lagi, operator inspeksi akan bergantung juga pada pengalaman dan pengetahuan yang mereka dapatkan sebelumnya.

Hal ini juga diperkuat oleh Atmaja dan Herliansyah [2] yang menyatakan bahwa butuh pengetahuan yang khusus apabila seorang manusia ingin mengidentifikasi apakah keramik tersebut merupakan keramik yang cacat atau memenuhi standar produksi jika menggunakan penglihatan mata saja. Menurut Guha [6] juga dikatakan bahwa dengan dilakukannya inspeksi secara manual maka hal yang terjadi adalah proses keseluruhan akan menjadi lama dan juga akan berpengaruh terhadap keefektifan dari para pekerjanya.

Tidak hanya itu, lingkungan sekitar layaknya suhu yang panas dan proses yang monoton dapat membuat operator inspeksi menjadi jenuh dan dapat mengakibatkan kesalahan dalam penentuan kualitas keramik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan perkembangan teknologi komputer dan juga pengolahan citra dalam melakukan kontrol kualitas permukaan keramik [2].

Terdapat berbagai macam penelitian yang menggunakan teknik pengolahan citra digital ini seperti yang dilakukan [1] pada penelitian tersebut mengklasifikasikan keramik menjadi empat kategori kualitas yang menggunakan operasi selisih piksel putih sebagai parameter penentunya. Selain itu [2] juga menerapkan teknik pengolahan citra digital dalam proses inspeksi logam yang mana menurutnya teknik ini tepat karena inspeksi logam membutuhkan proses yang cepat.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan sistem visual yang dapat digunakan untuk mengukur variabel yang mempengaruhi inspeksi kualitas permukaan keramik khususnya dalam pengukuran luas dan cacat keramik berjenis *dry spot* yang didasari dari SNI ISO 10545-2:2010 tentang prosedur inspeksi mutu permukaan keramik. Seperti yang dilakukan dalam penelitian [2] untuk mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi atau tingkat *error* yang rendah maka perlu dilakukan eksperimen terhadap variabel-variabel yang telah ditetapkan.

Sehingga dalam penelitian ini juga akan dilakukan *design of experiment* yang mana akan menggunakan pendekatan metode Taguchi. Penggunaan metode ini diyakini menurut [10] bahwa dengan menggunakan Taguchi maka akan mengurangi jumlah eksperimen dengan *orthogonal array* dan juga meminimasi efek dari faktor yang tidak bisa dikontrol. Selain itu juga pada penelitian yang dilakukan [15] tentang mereduksi cacat pada *crumb rubber* telah dibuktikan bahwa dengan menggunakan Taguchi dapat menemukan faktor yang merupakan faktor optimal dalam mereduksi cacat yang ada pada *crumb rubber*.

II. LANDASAN TEORI

A. Image Processing

Pengolahan citra digital merupakan teknologi yang berkembang saat ini, banyak aplikasi pengolahan citra baik itu *hardware* maupun *software* yang tersedia dengan berbagai macam fitur [11]. Menurut Kadir dan Susanto [9] terdapat bagian penting dalam mendasari pengolahan citra digital seperti halnya pengenalan pola, penginderaan jarak jauh melalui satelit dan *machine vision*. Dalam proses pengambilan citra sendiri terdapat tiga hal yang penting antara lain pencahayaan, lensa dan kamera. Kombinasi ketiga hal tersebut dapat memberikan hasil yang maksimal terhadap kualitas citra yang diambil [7].

Telah banyak peneliti yang menggunakan teknik ini yang bertujuan untuk mengidentifikasi suatu produk. Seperti yang dilakukan [3] yang menggunakan teknik pengolahan citra digital dalam mengidentifikasi cacat pada jenis ubin polos dan bertekstur. Selain itu dalam penelitian [12] yang menggunakan teknik yang sama untuk mendeteksi cacat pada permukaan keramik. Serta yang dilakukan oleh [2] yang menggunakan teknik pengolahan citra digital pada keramik untuk mengetahui luas keramik dan cacat keramik untuk *dry spot*. Pada penelitian ini akan dilakukan hal yang sama tetapi akan ada variabel yang berbeda dan juga menggunakan pendekatan metode DOE yang berbeda.

B. Taguchi

Seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa, pada penelitian ini untuk mendapatkan respon *error* yang rendah dari variabel-variabel yang didapatkan maka dilakukan *design of experiment*. DOE yang dilakukan sendiri menggunakan pendekatan Taguchi. Menurut [14] metode taguchi ini merupakan salah satu metode yang dapat meningkatkan kualitas dengan cara meminimasi efek dari variasi yang muncul tanpa menghilangkan akar penyebab utamanya. Keuntungan lainnya dari penggunaan metode taguchi ini adalah suatu industri dapat mengurangi waktu untuk pengembangan produk baik dalam desain maupun produksi yang otomatis akan mengurangi biaya dan meningkatkan profit [17].

Terdapat beberapa peneliti yang telah menggunakan pendekatan Taguchi ketika melakukan *design of experiment* ini. Seperti halnya yang dilakukan dalam penelitian [8] dengan tujuan penelitiannya adalah meningkatkan kualitas produk plastic dengan Taguchi

dan FMEA. Pada penelitian ini, digunakan sebanyak 4 faktor dan masing-masing memiliki dua level dan menggunakan matrix *orthogonal array* L8 atau melakukan eksperimen sebanyak 27 kali. Selain itu juga terdapat penelitian yang dilakukan [13] menggunakan Taguchi dalam mengoptimasi proses CNC lathe. Terdapat 3 faktor dan masing-masing memiliki tiga level, *orthogonal array* yang digunakan adalah L9 atau sebanyak 34 kali melakukan eksperimen.

Pada penelitian ini jumlah faktor yang digunakan sebanyak 4 yaitu jarak kamera, intensitas cahaya, *resize* dan *threshold* yang mana masing-masing faktor tersebut memiliki tiga level yang berbeda diurutkan dari level *low*, *medium*, dan *high*.

III. METODOLOGI

Pada penelitian ini, terdapat 4 tahapan utama untuk mencapai tujuan penelitian yang diinginkan. Empat tahap ini antara lain yang pertama adalah tahapan penentuan variabel-variabel yang berpengaruh dalam mengidentifikasi luas keramik dan cacat *dry spot* pada permukaan keramik. Pada tahap yang pertama ini variabel yang ingin didapatkan adalah berupa faktor beserta level tiap faktor yang berpengaruh. Dalam penentuan faktor dan level ini, penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Faktor yang digunakan adalah intensitas cahaya, jarak kamera, *resize* dan *threshold*, masing-masing memiliki tiga level. Untuk lebih jelasnya dapat melihat Tabel I.

TABEL I FAKTOR BESERTA LEVELNYA

Faktor	Level		
	<i>Low</i>	<i>Mid</i>	<i>High</i>
Intensitas Cahaya	300 lx	600 lx	900 lx
Jarak Kamera	50 cm	75 cm	100 cm
<i>Resize</i>	0.9 x	1 x	1.1 x
<i>Threshold</i>	0.03	0.05	0.06

Untuk penentuan level dari faktor intensitas cahaya dan jarak kamera didasari dari standar yang diberlakukan pada perindustrian keramik di Indonesia yang tertulis pada SNI ISO 10545-2:2010. Selain itu juga, untuk kedua faktor lainnya yaitu *resize* dan juga *threshold* dalam menentukan level faktor tersebut didasari dari hasil percobaan yang dilakukan dalam penelitian sebelumnya, sehingga didapatkan pada ketiga level tersebut dengan faktor *resize* dan *threshold* didapatkan citra memiliki nilai *error* yang rendah daripada perlakuan level di luar tiga level tersebut. Dan di dalam penelitian ini, faktor-faktor tersebut akan dikombinasikan dengan faktor yang lain sehingga mendapatkan nilai *error* yang minimum dalam mengidentifikasi luas keramik dan cacat *dry spot* dengan pengolahan citra.

Tahapan yang selanjutnya adalah tahapan *design of experiment* yang dalam hal ini menggunakan metode Taguchi. Di dalam taguchi sendiri setelah diketahui akan faktor beserta level yang mempengaruhi nilai respon maka akan dilanjutkan ke penentuan *orthogonal array*. Terdapat berbagai macam kombinasi *orthogonal array*. Kombinasi ini di sesuaikan pada jumlah faktor dan level yang ada. Pada penelitian ini, faktor dan level yang diteliti berjumlah 4 faktor dan 3 level. Dengan kombinasi *orthogonal array* didapatkan dua kesimpulan jumlah eksperimen yaitu L9 dan L27. Dari kedua kesimpulan ini, peneliti menggunakan kombinasi L27 yang menyatakan bahwa jumlah eksperimen yang dilakukan adalah sebanyak 27 kali. Hasil dari *orthogonal array* inilah yang menjadi acuan percobaan dalam mencari kombinasi faktor dan level yang optimal sehingga mendapatkan nilai *error* yang minimum. Untuk mendapatkan manakah kombinasi faktor dan level yang optimal maka dalam Taguchi digunakan *S/N ratio* sebagai *decision making*.

Tahapan ketiga adalah pengolahan citra digital dari hasil citra yang diambil dari masing masing eksperimen yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Terdapat beberapa proses yang dilakukan dalam pengolahan citra digital ini sehingga akan didapatkan nilai *error* yang didapatkan ketika dibandingkan dengan data acuan. Proses pengolahan citra tersebut antara lain adalah melakukan *resize* pada citra, mengkonversi citra dari RGB menjadi *grayscale*, memberikan nilai *threshold*, melakukan pemotongan citra sehingga dapat diambil bagian yang diidentifikasi sebagai cacat dan terakhir adalah perhitungan luas dari keramik dan cacat *dry spot* yang dihitung dari citra yang diambil sebelumnya. Untuk membantu proses pengolahan citra digital ini, dalam penelitian ini terdapat *Graphical User Interface* (GUI) untuk mempermudah dalam proses pengolahan citra digital.

Tahapan terakhir adalah melakukan analisa statistika dari hasil nilai respon yang didapatkan dari pengolahan citra sebelumnya. Analisa yang dilakukan terdiri dari analisa kenormalan data dengan menguji menggunakan Kolmogorov-Smirnov, selanjutnya dilakukan pengujian kesignifikan faktor yang berpengaruh terhadap respon untuk mengetahui faktor manakah yang memiliki signifikansi terhadap perhitungan nilai respon dan terakhir adalah *post hoc* test untuk melakukan pengujian lanjut terhadap pengujian signifikansi.

IV. HASIL PEMBAHASAN DAN DISKUSI

A. Design of Experiment

Dapat diketahui bahwa pada penelitian ini faktor yang berpengaruh terhadap nilai respon ada empat faktor dengan masing masing memiliki tiga level. Dari kombinasi faktor dan level ini didapatkan *orthogonal array* yang digunakan adalah L27 yang memiliki jumlah kombinasi eksperimen sebanyak 27 kali. Pada Tabel II menunjukkan kombinasi eksperimen yang dihasilkan dari *orthogonal array*.

TABEL II KOMBINASI EKSPERIMEN

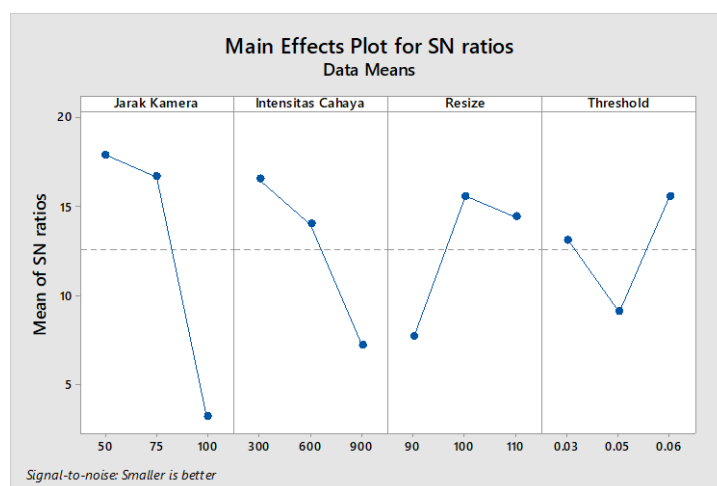
No	Jarak Kamera	Intensitas Cahaya	Resize	Threshold
1	50	300	90	0.03
2	50	300	90	0.03
3	50	300	90	0.03
4	50	600	100	0.05
5	50	600	100	0.05
6	50	600	100	0.05
7	50	900	110	0.06
8	50	900	110	0.06
9	50	900	110	0.06
10	75	300	100	0.06
11	75	300	100	0.06
12	75	300	100	0.06
13	75	600	110	0.03
14	75	600	110	0.03
15	75	600	110	0.03
16	75	900	90	0.05
17	75	900	90	0.05
18	75	900	90	0.05
19	100	300	110	0.05
20	100	300	110	0.05
21	100	300	110	0.05
22	100	600	90	0.06
23	100	600	90	0.06
24	100	600	90	0.06
25	100	900	100	0.03
26	100	900	100	0.03
27	100	900	100	0.03

Dari 27 kombinasi percobaan tersebut, dilakukan keseluruhan untuk mendapatkan nilai luas keramik dan juga diameter cacat *dry spot* pada permukaan keramik. Untuk mendapatkan nilai luas keramik dan diameter cacat *dry spot* dilakukan proses pengolahan citra yang mengikuti kombinasi hasil *orthogonal array*. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut.

- Hasil dalam menghitung luas keramik didapatkan bahwa nilai error yang tertinggi ketika dilakukan pada eksperimen no 19, 20 dan 21. Dimana didapatkan nilai error sebesar 65.09%. Sedangkan untuk eksperimen yang memberikan nilai error yang rendah adalah no 4, 5 dan 6 dengan nilai error sebesar 0.3%.
- Hasil yang didapatkan dalam menghitung diameter cacat *dry spot* pada permukaan keramik bahwa nilai error tertinggi muncul ketika melakukan percobaan no 16-18 dan 22-27 dimana cacat tidak bisa terdeteksi pada percobaan ini. Untuk nilai error terendah sendiri terjadi pada eksperimen no 10-15 dengan nilai sebesar 6.62%.

B. SN Ratio

Setelah mendapatkan keseluruhan nilai respon dari luas keramik dan diameter *dry spot* maka dilakukan SN Ratio guna mengetahui kombinasi faktor manakah yang memberikan nilai respon yang paling optimal dalam mengidentifikasi luas keramik dan cacat *dry spot*. SN Ratio ini merupakan bagian dari Taguchi dalam melakukan pencarian kondisi yang optimal dengan pendekatan statistika. Dalam penelitian ini, perhitungan SN Ratio dibantu dengan menggunakan Minitab. Hasil dari SN Ratio dapat dilihat pada Gambar 1. Kesimpulan dari SN Ratio adalah selalu mencari kondisi yang tinggi yang mana ditunjukkan pada jarak kamera 50 cm, intensitas cahaya 300 lux, *resize* 1 x dan *threshold* 0.06. Kombinasi inilah yang memberikan nilai respon paling optimal.

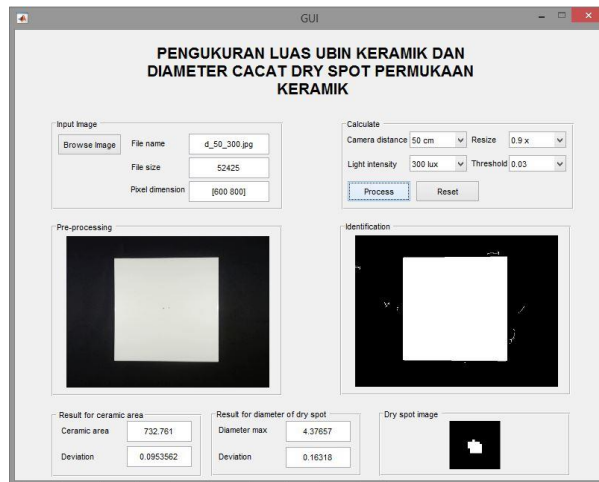


Gambar 1. Hasil SN Ratio

C. Perancangan Graphical User Interface (GUI)

Dalam penelitian ini dilakukan juga perancangan Graphical User Interface (GUI) dengan menggunakan software MATLAB untuk memudahkan melakukan pengolahan citra digital. Dapat dilihat pada Gambar II yang mana merupakan interface yang ditunjukkan ketika melakukan pengolahan citra digital. Dalam GUI tersebut terdapat beberapa informasi yang bisa didapatkan. Pertama adalah luas keramik beserta nilai errornya dan juga diameter *dry spot* beserta nilai errornya. Pada GUI tersebut dapat dilakukan pengaturan faktor dan level yang telah diidentifikasi sebelumnya dan untuk

melakukan kombinasi faktor dan level yang ada pada GUI tersebut haruslah mengikuti kombinasi yang telah ditunjukkan oleh *orthogonal array*.



Gambar 2. Tampilan GUI

D. Analisis Statistika

1. Uji Normalitas

Pengujian normalitas ini dilakukan untuk mengetahui apakah sebaran data normal atau tidak dan juga untuk menentukan kelanjutan penggunaan pengujian statistika parametrik atau non parametrik guna pengujian selanjutnya. Dalam hal ini pengujian normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dimana hasil dapat dilihat pada Tabel III. Dari hasil tersebut nilai Sig. baik dari luas keramik maupun diameter *dry spot* didapatkan bahwa keduanya kurang dari α yaitu 0.01 dimana α sendiri nilainya 0.05. Hal ini berarti memberikan keputusan bahwa data tidak normal dimana apabila keputusan data tidak normal maka untuk pengujian statistika selanjutnya digunakan uji non parametrik.

TABEL III HASIL UJI NORMALITAS

Data	Sig.	Keputusan
Luas Keramik	0.01	Tidak normal
Diameter <i>dry spot</i>	0.01	Tidak normal

2. Kruskal Wallis

Kruskal wallis merupakan salah satu uji non parametrik untuk menguji nilai signifikansi dari faktor-faktor yang diteliti. Pada Tabel IV menunjukkan hasil dari uji Kruskal Wallis untuk perhitungan nilai respon pada luas keramik. Dimana dari empat faktor yang ada, hanyalah faktor jarak kamera saja yang menunjukkan adanya signifikansi terhadap nilai respon. Hal ini dapat dilihat dari nilai P value nya yang lebih dari α (0.05) yaitu bernilai 0.0.

TABEL IV HASIL UJI KRUSKAL WALLIS LUAS KERAMIK

Faktor	P value
Jarak Kamera	0
Intensitas Cahaya	0.65
Resize	0.15
Threshold	0.15

Selanjutnya, perhitungan Kruskal Wallis untuk perhitungan nilai respon pada diameter *dry spot* permukaan keramik didapatkan dari empat faktor, terdapat tiga faktor yang signifikan. Ini dapat dilihat dari nilai P value nya yang kurang dari α (0.05). Faktor-faktor tersebut antara lain jarak kamera, intensitas cahaya dan *resize*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel V.

TABEL V HASIL UJI KRUSKAL WALLIS CACAT *DRY SPOT*

Faktor	P value
Jarak Kamera	0.03
Intensitas Cahaya	0.04
Resize	0.04
Threshold	0.35

3. *Pairwise comparison*

Uji *pairwise comparison* ini merupakan salah satu uji lanjutan dari uji Kruskal Wallis yang menunjukkan adanya faktor yang signifikan. Dengan adanya uji lanjutan ini maka ingin diketahui spesifik di level manakah yang signifikan terhadap nilai respon. Untuk hasil KW dari perhitungan luas keramik, diketahui bahwa jarak kamera merupakan faktor satu-satunya yang signifikan. Pada Tabel VI menunjukkan bahwa dengan uji lanjutan ini didapatkan bahwa terdapat dua level yang signifikan berbeda yaitu jarak 50-100 dan jarak 75-100 dimana dibuktikan dengan nilai α yang kurang dari 0.05 dengan nilai 0.001.

TABEL VI HASIL UJI LANJUTAN LUAS KERAMIK

Jarak Kamera	P value
50-75	1
50-100	0.001
75-100	0.001

Selanjutnya untuk hasil KW dari perhitungan diameter *dry spot* pada permukaan keramik diketahui terdapat tiga faktor yang signifikan. Setelah dilakukan uji lanjutan dari ketiga faktor tersebut, pada Tabel VII hanyalah faktor jarak kamera saja yang menyatakan bahwa di level tertentu terdapat perbedaan yang signifikan dikarenakan nilai P value nya kurang dari α (0.05). Level tersebut adalah pada jarak 50-100 dan 75-100. Sedangkan untuk level pada faktor lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan karena hasil P value nya yang lebih besar dari α .

TABEL VII HASIL UJI LANJUTAN CACAT *DRY SPOT*

Jarak Kamera	P value	Intensitas Cahaya	P value	Resize	P value
50-75	1	300-600	1	110-100	1
50-100	0.006	300-900	0.053	110-90	0.053
75-100	0.016	600-900	0.208	100-90	0.208

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa terdapat empat faktor yang mempengaruhi inspeksi keramik khususnya dalam luas keramik dan cacat *dry spot* permukaan keramik menggunakan pengolahan citra digital yaitu antara lain adalah jarak kamera, intensitas cahaya, *resize* dan *threshold*. Dengan menggunakan pengolahan citra ini

didapatkan tingkat *error* terendah sebesar 0.3% untuk luas keramik dan 6.62% untuk cacat *dry spot*.

Dalam penelitian ini juga dilakukan *design of experiment* dengan pendekatan Taguchi untuk mendapatkan kombinasi faktor dan level yang optimum ketika melakukan pengolahan citra digital untuk mencari luas keramik dan diameter cacat *dry spot* yaitu jarak kamera 50 cm, intensitas cahaya 300 lux, *resize* 1 x dan *threshold* 0.06.

Hasil yang didapat juga diperkuat dengan melakukan analisa statistika dan didapatkan bahwa untuk pengolahan citra terhadap luas keramik faktor jarak kamera memiliki nilai yang signifikan terhadap nilai respon, sedangkan pengolahan citra diameter cacat *dry spot* terdapat tiga faktor yang signifikan terhadap nilai respon yaitu jarak kamera, intensitas cahaya dan *resize*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afandi, A. S., Prihandoko dan beralya, 2010, Klasifikasi Kualitas Keramik menggunakan Metode Deteksi Tepi Laplacian of Gaussian dan Prewitt, Proceeding Seminar Ilmiah Nasional KOMMIT, 27.
- [2] Atmaja, D. S. E. dan Herliansyah, M. K., 2015, Optimasi Proses Pengukuran Dimensi dan Defect Ubin Keramik menggunakan Pengolahan Citra Digital dan Full Factorial Design, Jurnal TeknoSains, Volume 4 Halaman 101-198.
- [3] Boukuvalas, C., Kittler, J., Marik, R., Mirmehdi, M. dan Petrou, M., 1998, Ceramic Tile Inspection for Color and Structural Defect, I.E.E.E Transactions on Pattern Analysis and Machine vision Intelligence, Vol. 14, no. 1.
- [4] Departemen Perindustrian, 2009, Roadmap Industri Keramik, Direktorat Jendral Industri Agro dan Kimia, Jakarta.
- [5] Elbehriy, H., Hefnawy, A. dan Elewa, M., 2005, Surface Defects Detection for Ceramic Tiles using Image Processing and Morphological Techniques, Proceeding of World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol 5, pp 158-160, ISSN 1307-6884.
- [6] Guha, Prithwijit, 2001, *Automated Visual Inspection of Steel Surface, Texture Segmentation and Development of a Perceptual Similarity Measure*, Thesis, Kanpur: Indian Institute of Technology.
- [7] Iqbal, M., Madenda, S., & Kerami, D., 2009, Sistem Pencitraan untuk Menangkap Citra Polarisasi. Jurnal: Konferensi Nasional SENTIA.
- [8] Iswanto, A., Rambe, A. J., & Ginting, E., 2013, Aplikasi Metode Taguchi Analysis dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk Perbaikan Kualitas Produk di PT. XYZ, e-Jurnal Teknik Industri FT USU Vol.2 No.2
- [9] Kadir, A. dan Susanto, A., 2013, Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [10] Kivak, Turgay, 2014, *Optimization of Surface Roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts, Measurement* 50 19-28.
- [11] Putra, Darma, 2010, Pengolahan Citra Digital, Penerbit Andi, Yogyakarta
- [12] Putri, Anggie P., Rachmat, Haris dan Atmaja, D. S. E., 2017, Design of Automation System for Ceramic Surface Quality Control Using Fuzzy Logic Method at Balai Besar Keramik (BBK), MATEC Web of Conference 135, DOI: 10.1051/mateconf/201713500053
- [13] Sidi, P., & Wahjudi, M. T., 2013, Aplikasi Metoda Taguchi untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan pada Proses Bubut CNC, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.2.

- [14] Sukma, H., D., 2016, Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 pada Bubut CNC dengan Metode Taguchi, Skripsi, Jember: Universitas Jember.
- [15] Telaumbanua, Adventhinus, dkk., 2013, Analisis Pengendalian Kualitas dengan Pendekatan Metode *Taguchi* pada PT Asahan Crumb Rubber, Jurnal Teknik Industri FT USU, Vol. 3 No. 5.
- [16] Yazdchi, M., dkk, 2009, *Steel Surface Defect Detection Using Texture Segmentation Based on Multifractal Dimension*, *International Conference on Digital Image Processing*.
- [17] Zhang, Julie Z., Chen, Joseph C., Kirby, E. Daniel, 2007, Surface Roughness Optimization in an End-Milling Operation using the Taguchi Design Method, Journal of Materials Processing Technology, 233-239.