

TESIS

**OPTIMALISASI EKSTRAKSI KANDUNGAN
TANIN DAN ABSORBANSI DARI BIJI PINANG
SEBAGAI PEWARNA ALAM BATIK
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**



Disusun oleh:

**ISNAINI
18916118**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

**OPTIMALISASI EKSTRAKSI KANDUNGAN
TANIN DAN ABSORBANSI DARI BIJI PINANG
SEBAGAI PEWARNA ALAM BATIK
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**



**Tesis Untuk Memperoleh Gelar Magister
Pada Program Pasca Sarjana Magister Teknik Industri
Fakultas Teknologi
Industri Universitas Islam
Indonesia**

**ISNAINI
18916118**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah robbil'aalamiin, segala puji kami haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala kemurahan dan kasih sayang yang tiada terhingga. Penulis bersyukur dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Optimalisasi Ekstraksi Kandungan Tannin Dan Absorbansi dari Biji Pinang Sebagai Pewarna Alam Batik Menggunakan Metode Taguchi”

Tesis ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Magister Teknik Industri, Jurusan teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Penulis mendapatkan banyak bantuan dari banyak pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini kami berterima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Winda Nur Cahyo, ST.,MT.,Ph.D, Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc, selaku dosen pembimbing satu yang telah berkenan memberikan bimbingan, saran dan waktunya untuk menyelesaikan tesis ini.
4. Bapak Ir. Ali Parkhan, MT, selaku dosen pembimbing dua yang telah mendukung dan membantu dalam berbagai hal sehingga tesis ini dapat diselesaikan.

5. Bapak dan Ibu Dosen beserta staf, Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang senantiasa mendidik penulis dalam menyelesaikan perkuliahan.
6. Kedua Orang Tua yang telah memberikan curahan kasih sayang dan doa kepada penulis.
7. Euis Laela, istriku tercinta yang telah dengan sabar menemani penulis dan atas kasih sayang dan support yang tidak terhingga
8. Salsabila Berliana Putri Isnaini, Nayyara Putri Isnaini, Kenzie Habibie Putra Isnaini, anak- anak yang sholeh dan sholehah penyemangat dan penyejuk hati penulis
9. Kepala Balai Besar Kerajinan dan Batik beserta seluruh staf, yang telah memberikan izin dan memberikan support kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebut satu per satu yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan tesis ini.

Penulis sadar, masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Juni 2022

Penulis

Isnaini

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**OPTIMALISASI EKSTRAKSI KANDUNGAN TANIN DAN ABSORBANSI
DARI BIJI PINANG SEBAGAI PEWARNA ALAM BATIK
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**


TESIS



Yogyakarta, Agustus 2022

Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing 1


Dr. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc

Dosen Pembimbing 2


Ir. Ali Parkhan, MT

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**OPTIMALISASI EKSTRAKSI KANDUNGAN TANIN DAN ABSORBANSI
DARI BIJI PINANG SEBAGAI PEWARNA ALAM BATIK
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

TESIS

Disusun Oleh:

Isnaini

18916118

Telah dipertahankan di depan Sidang Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Master Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 22 Juli 2022



Tim Penguji

Dr. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc
Ketua / Pembimbing 1

Ir. Ali Parkhan, MT
Pembimbing 2

Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.
Anggota 1

Dr. Dwi Handayani., S.T., M.Sc.
Anggota 2

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Industri
Program Pascasarjana Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., IPM.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan penulis tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan ditulis dalam daftar pustaka

Yogyakarta, 8 Agustus 2022

Penulis



Isnaini

ABSTRAK

Sampai saat ini perajin batik belum mempunyai standar kualitas ekstraksi warna alam, terutama pewarnaan menggunakan biji pinang. Proses ekstraksi biji pinang yang tidak baik menyebabkan produk batik mempunyai ketahanan luntur yang rendah/ warna batik yang cepat pudar atau luntur. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan ekstraksi pewarna alami dari biji pinang. Peneliti ingin mengetahui setting level optimal dari faktor-faktor yang berpengaruh pada ekstraksi biji pinang serta mengetahui peningkatan kualitas produk ekstrak setelah dilakukan percobaan dengan menggunakan metode Taguchi. Faktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah berat biji pinang, volume pelarut, suhu ekstraksi dan lama ekstraksi. Sedangkan variabel respon adalah kandungan tanin dan absorbansi. Dari hasil penelitian diketahui bahwa kandungan tannin meningkat 6.56 % dan absorbansi meningkat sebanyak 0.0098 AU dari yang biasa dilakukan oleh perajin batik.

DAFTAR ISI

TESIS	I
DAFTAR ISI	V
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Batasan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
BAB II	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Penelitian Terdahulu	8
2.2. Posisi penelitian	13
2.3. Batik	17
2.4. Pewarna alami	19
2.5. Tanaman pinang (A. catechu)	21
2.6. Kualitas	22
2.7. Metode Taguchi	26
BAB III	42
METODE PENELITIAN	42
3.1. Rancangan penelitian	42
3.2. Langkah-langkah penelitian	43
BAB IV	52
HASIL PENELITIAN	52
4.1. Pelaksanaan Eksperimen	52
4.2. Pengumpulan data	56
4.3. Analisis Data	56
BAB 5	83

PEMBAHASAN.....	83
BAB VI.....	87
KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
6.1. Kesimpulan.....	87
6.2. Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....	89



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

United Nations (UNESCO) telah menetapkan Batik sebagai warisan budaya asli milik bangsa Indonesia atau Warisan Kemanusiaan untuk Budaya Lisan dan nonbendawi pada tanggal 2 Oktober 2009. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia, “Batik adalah kerajinan tangan sebagai hasil pewarnaan secara perintang menggunakan malam (lilin batik) panas sebagai perintang warna dengan alat utama pelekat lilin batik berupa canting tulis dan atau canting cap untuk membentuk motif tertentu yang memiliki makna” (BSN, 2014). Pada awalnya, sebelum ditemukan zat warna sintetis, para pengrajin batik menggunakan pewarna alam. Setelah ditemukan pewarna sintetis, para pengrajin beralih menggunakan pewarna sintetis yang lebih cepat dan lebih praktis. Saat ini, pewarna sintetis merupakan salah satu penyumbang polusi air terbesar. Hal ini seperti diungkapkan oleh Mirjalili dkk (Viana, Pagnan and Ayres, 2015). Untuk mengatasi permasalahan polusi akibat pewarna sintetis perlu dibangun sarana pengolahan limbah yang cukup besar dan sangat efektif. Pengolahan limbah seperti ini sulit diterapkan untuk perajin batik, karena membutuhkan biaya pembangunan dan perawatan yang mahal. Hal lain yang dapat ditempuh adalah dengan mengganti pewarna sintetis dengan pewarna yang lebih ramah lingkungan. Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap lingkungan telah mendorong peningkatan penggunaan produk yang ramah lingkungan (Gamedze, Hunter and

Zwane, 2018). Saat ini, yang dipandang dapat mengganti pewarna sintetis yang bersifat *toxic* adalah pewarna alam (Nair *et al.*, no date)(Hasan *et al.*, 2017)(Gokarneshan, 2018). Untuk itu diperlukan eksplorasi dan pemanfaatan pewarna alami yang lebih ramah lingkungan.

Pewarna alami untuk batik semakin mendapat perhatian dari masyarakat. Hal ini terjadi karena dianggap pewarna alam tersebut ramah lingkungan (Hossain, Rahman and Nurunnesa, 2018), beresiko rendah terhadap kesehatan manusia dan dapat diurai oleh alam. Di sisi lain, sumber pewarna alam masih banyak yang bisa di gali dan dimanfaatkan. Pemakaian limbah produksi juga pantas dipertimbangkan untuk pewarnaan batik.

Batik dengan pewarna alami mempunyai nilai lebih yang disukai oleh pecinta batik, yaitu dalam hal:

- Harmonisasi warna. Warna yang dihasilkan dari batik dengan pewarna alami mempunyai tingkat harmonisasi yang baik. setiap warna membawa nuansa lembut dan harmonis (Fatima, Grover and Paul, 2007).Di kalangan pecinta batik, batik dengan pewarna alami mempunyai keunikan warna, sehingga produk batik ini mempunyai pangsa pasar tersendiri. Para pecinta batik rela mengeluarkan uang lebih mahal karena mempunyai ciri khas yang berbeda.
- Batik pewarna alami cocok untuk kulit yang sensitif. Pewarna alami sangat cocok untuk kulit sensitif karena tidak mengandung produk berbahaya, batik dengan pewarna alami dapat cocok untuk semua jenis kulit (Alamsyah, 2018).
- Sifat antimikroba. Untuk sebagian pewarna alami, mempunyai sifat antimikroba. Telah banyak penelitian yang dilakukan yang membuktikan

bahwa pewarna alami dapat mempunyai sifat antimikroba, sehingga produk ini dapat memberikan perlindungan anti-bakteri untuk membantu mencegah bau dan penumpukan jamur pada produk tekstil juga untuk mengurangi pertumbuhan bakteri penyebab bau badan yang tidak diinginkan (Kasiri and Safapour, 2014)(Bhuyan, Gogoi and Kalita, 2016)(Ren et al., 2016).

Eksplorasi bahan alam untuk dimanfaatkan sebagai bahan pewarna dilakukan dengan mempertimbangkan sifat tahan luntur dan kekuatan warna. Sifat tahan luntur warna sangat perlu diperhatikan untuk mendapatkan pewarna alam yang baik. Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi kondisi warna akibat adanya perlakuan pengguna, seperti pencucian, penyeterikaan, terpapar cahaya matahari, dll (Deo, Sarkar and Kumari, 2018). Salah satu kendala dalam penerapan zat warna alam pada tekstil adalah sifat tahan luntur yang masih rendah. Sifat tahan luntur yang rendah mengakibatkan warna kain mudah pudar. Kekuatan warna berikatan dengan kain juga masih rendah. Usaha untuk meningkatkan kekuatan warna dan sifat tahan luntur telah banyak dilakukan. Perlakuan pada kain katun menggunakan sinar gamma dapat mengurangi jumlah mordan. Kekuatan warna melekat pada kain dipengaruhi oleh pH pada waktu pencelupan atau pewarnaan. Pewarnaan kain wol dengan pewarna alami teh, sangat terpengaruh pada kondisi pH larutan. pH larutan berpengaruh pada karakteristik warna, sifat tahan luntur, sifat perlindungan terhadap UV dan kemampuan sifat antimikroba pada pewarnaan wol (Ren *et al.*, 2016; Souissi *et al.*, 2018). Optimalisasi ekstraksi zat warna dipengaruhi oleh temperatur ekstraksi (Roy *et al.*, 2018)(Gamedze, Hunter and Zwane, 2018)(Ghasemi, Mashhadi and Azimi-Amin,

2018)(Elksibi *et al.*, 2014), rasio berat bahan tanaman dan air (Gamedze, Hunter and Zwane, 2018)(Ahmed, Eltahir and Saeed, 2018)(Kumar and Prabha, 2018), dan waktu ekstraksi (Gamedze, Hunter and Zwane, 2018)(Haddar, Baaka, *et al.*, 2014)(Deo, Sarkar and Kumari, 2018).

Pada penelitian ini memanfaatkan biji pinang (*Areca catechu L.*) untuk digunakan sebagai pewarna alam batik. Tanaman ini merupakan tanaman perdu yang mudah tumbuh di sekitar kita. Biji pinang dipilih karena tanaman ini mengandung sejumlah komponen termasuk di dalamnya adalah *alkaloids, flavonoids, tannins, triterpenes, fatty acids and others*, sebagaimana ditulis oleh Peng dan kawan-kawan (Peng *et al.*, 2015) . Untuk dapat mengkomersilkan aplikasi pewarna alam biji pinang pada kain batik, diperlukan teknik ekstraksi yang sesuai dan terstandarisasi agar mendapatkan pewarna alam yang optimal. Kandungan dalam biji pinang yang sangat mempengaruhi dalam pewarnaan kain adalah tanin. Tanin dilaporkan sebagai zat yang penting dalam pewarnaan alami, terutama untuk pewarnaan tekstil dalam nuansa coklat (Hong, 2018). Dengan adanya tanin maka pewarnaan tekstil menjadi lebih baik dalam ketahanan lunturnya (Ali *et al.*, 2010).

Optimasi dalam ekstraksi zat warna alam memegang peranan yang sangat penting. Mengoptimalkan variabel ekstraksi merupakan faktor utama dalam menghasilkan warna alam yang baik. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya produksi (Gamedze, Hunter and Zwane, 2018). Kondisi optimum pada proses ekstraksi zat warna alam membuat proses pewarnaan kain menjadi lebih efektif. Optimasi membantu memilih parameter yang perlu

diperhatikan saat melakukan ekstraksi (Deo, Sarkar and Kumari, 2018). Hasil penelitian Deo dan kawan-kawan menunjukkan bahwa konsentrasi bahan alam mempengaruhi hasil ekstraksi yang diperoleh. Meningkatnya konsentrasi bahan alam menandakan peningkatan hasil yang diperoleh. Pada perlakuan variasi waktu, peningkatan waktu ekstraksi menghasilkan peningkatan kuantitas warna.

Desain eksperimen (DOE) adalah alat yang sangat penting untuk secara signifikan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk eksperimental penyelidikan, karena efektif dalam menyelidiki efek beberapa faktor pada kinerja serta untuk mempelajari pengaruh faktor individu untuk menentukan faktor mana memiliki lebih banyak pengaruh ataupun yang kurang memberikan pengaruh. Banyak peneliti menggunakan beberapa metode dalam melakukan optimasi, antara lain menggunakan *Metode Response Surface Methodologi* (Parra-Campos and Ordóñez-Santos, 2019)(Haddar, Ben Ticha, *et al.*, 2014)(Gamedze, Hunter and Zwane, 2018)(Rajha *et al.*, 2014)(Nazari *et al.*, 2014). Metode lain yang digunakan dalam melakukan optimalisasi ekstraksi dapat menggunakan desain eksperimental Taguchi (P. D. Patil, Rao, *et al.*, 2014; Desai and Parikh, 2015; Acarali, 2018; Souissi *et al.*, 2018; Sukmana *et al.*, 2018; Lymperopoulou *et al.*, 2019). Desain Taguchi digunakan untuk mempelajari faktor dominan dan interaksi antara parameter yang mempengaruhi proses ekstraksi. Dengan menggunakan Taguchi memungkinkan peneliti untuk menemukan kondisi optimal untuk ekstraksi menggunakan cara yang efisien dan tepat (Souissi *et al.*, 2018), (Pravinkumar.D. Patil *et al.*, 2014). Menurut beberapa peneliti, Metode Taguchi memerlukan lebih sedikit eksperimen daripada *Metode Response Surface*

Methodology sehingga lebih cepat dan lebih hemat biaya (Said *et al.*, 2013)(Uday Kiran *et al.*, 2021). Berdasarkan hal itulah, peneliti memilih menggunakan Metode Taguchi dalam penelitian ini.

1.2. Rumusan Masalah

Dari permasalahan-permasalahan yang sudah diuraikan di atas, maka dirumuskan permasalahan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kombinasi level faktor yang menghasilkan kandungan tannin dan absorbansi yang optimal
2. Seberapa besar kandungan tanin dan absorbansi pada kondisi optimal?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan cara ekstraksi yang optimal menggunakan desain eksperimen Taguchi pada biji pinang
2. Mengetahui nilai kandungan tanin dan absorbansi pada kondisi optimal

1.4. Batasan Penelitian

Penelitian ini membatasi masalah pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Bahan penelitian digunakan adalah biji pinang kering
2. Variabel respon yang diamati adalah kandungan tanin dan absorbansi. Semakin besar nilai kandungan tanin dan absorbansi maka hasilnya semakin baik. Artinya, kain yang diwarnai menggunakan ekstrak tersebut hasilnya menjadi lebih baik ketahanan lunturnya
3. Desain eksperimen yang digunakan adalah Metode Taguchi.

4. Pengujian dilakukan di Laboratorium pengujian Balai Besar Kerajinan dan Batik, Jalan Kusumanegara no. 7 Yogyakarta

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

a. Bagi Industri Batik

- Penelitian ini harapannya dapat memberikan informasi bagi industri kerajinan batik terhadap variasi zat pewarna alami
- Sebagai penuntun praktis dalam memproduksi zat warna alami dari biji pinang secara optimal.

b. Bagi Dunia Pendidikan

- Sebagai ilmu pengetahuan dan rujukan pada penelitian sejenis.
- Sebagai sumbangan pemikiran terhadap permasalahan di industri kerajinan dan batik

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Wafa Haddar dan kawan-kawan pada tahun 2017 meneliti kol merah untuk digunakan sebagai pewarna wool dan kain sutera. Kol merah mengandung pigmen alam yang disebut sebagai *anthocyanin* dan dapat digunakan sebagai pewarna alam. Variabel yang diteliti adalah rasio massa kol dan air (*mass to liquor ratio*), efek pH pada larutan pencelupan, efek suhu pencelupan, dan efek durasi pencelupan terhadap warna yang diperoleh. Para peneliti juga menyelidiki pengaruh penggunaan mordan terhadap warna yang dihasilkan dan ketahanan luntur warna terhadap gosokan, ketahanan luntur warna terhadap pencucian, tahan luntur terhadap cahaya dan ketahanan luntur warna terhadap keringat.

Imen Elksibi et al. (2014) meneliti limbah padat dari zaitun sebagai pewarna alami. Investigasi dilakukan untuk mengetahui kandungan total phenol dan kekuatan warna melekat pada kain wool. Penelitian itu dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum ekstraksi limbah padat zaitun. Optimasi dilakukan menggunakan metode RSM. Limbah zaitun di cuci dengan air hangat kemudian dibiarkan mengering tanpa pemanasan. Setelah kering limbah ditumbuk sampai menjadi bubuk. Ekstraksi dilakukan menggunakan air. Variabel penelitian meliputi konsentrasi *hydroxide sodium*, waktu ekstraksi, rasio berat serbuk - pelarut dan suhu ekstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi alkali menghasilkan kekuatan warna yang semakin baik. Peningkatan

bubuk zaitun yang digunakan meningkatkan kekuatan warna dan kandungan phenol yang diperoleh. Ketika suhu ekstraksi meningkat dari 30 sampai 90 °C, komponen warna yang diperoleh meningkat dengan pesat. Namun ketika suhu mencapai 90 °C, peningkatan temperatur itu justru merusak warna. Pada variabel lama ekstraksi, kekuatan warna meningkat sehubungan dengan peningkatan waktu ekstraksi dan mencapai maksimum pada 62 menit. Kondisi optimal diperoleh pada kondisi konsentrasi *sodium hydroxide* 0,1414 mol/L, waktu ekstraksi 62 menit, berat bubuk zaitun 4,5 gram dan suhu ekstraksi 71 °C.

Sementara itu N. Vedaraman et al. (2017) melaporkan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi dengan menggunakan akar tanaman *Rubia Cordifolia* dengan ekstraksi konvensional dan menggunakan bantuan alat *ultrasonic extraction*. Variabel penelitian meliputi frekuensi *ultrasonic*, rasio bahan-pelarut, dan waktu ekstraksi. Kondisi optimum ditentukan menggunakan *Central Composite Design* 3 faktor. Kandungan ekstraksi diidentifikasi menggunakan *Thin Layer Chromatography (TLC)* dan *FT-IR spectroscopy*. Hasil ekstraksi digunakan untuk mewarnai kulit dan kain katun dan dengan menggunakan beberapa macam mordan diperoleh bermacam-macam warna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bantuan ultrasonik dapat meningkatkan hasil ekstraksi dan waktu ekstraksi yang lebih singkat daripada ekstraksi konvensional. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa dengan meningkatnya frekuensi ultrasonik, persentase ekstraksi menurun; dengan meningkatnya waktu ekstraksi, persentase ekstraksi meningkat dan dengan rasio

padat-cair, persentase ekstraksi pewarna meningkat pada awalnya dan kemudian menurun.

Penelitian lain dilakukan oleh Palanivel Velmurugan et al. (2017) meneliti pewarna alam dari ubi jalar ungu dengan menambahkan perak nano partikel sebagai anti bakteri. Mereka memanfaatkan bantuan alat bak pencelup *ultrasound* dengan pelarut *acidified ethanol* (A.EtOH). Optimalisasi menghasilkan kondisi optimal untuk ekstraksi pada pH 2, suhu 70 °C, konsentrasi A.EtOH 20 mL dan bubuk ubi jalar 1,5 gram, waktu ekstraksi 45 menit dan daya ultrasonik 75 W. Penambahan nano partikel perak dapat menghasilkan sifat antibakteri pada kain. Sementara penggunaan *ultrasound* pada waktu pencelupan dapat meningkatkan ketahanan luntur warna pada kain.

Pravinkumar.D. Patil et.al melakukan optimasi menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan zat warna dari '*Bougainvillea Glabra*'. Mereka menggunakan desain 4 faktor dan 3 level dengan *array ortogonal L9*. Variabel yang diteliti adalah ukuran partikel, rasio bahan-pelarut, waktu ekstraksi, dan alat bantu ekstraksi. Level dari ukuran partikel adalah 150 mikron, 300 mikron dan 400 mikron. Level dari rasio bahan- pelarut adalah 1:10, 1:20 dan 1:30 (g:mL). Level dari waktu adalah 60, 120 dan 180 menit. Sedangkan level dari alat bantu ekstraksi adalah *Microwave*, *Enzyme* dan *Microwave+Enzyme*. Variabel respon yang diteliti adalah absorbansi yang diukur menggunakan *UV-VIS Spectrophotometer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel bahan yang paling kecil ukurannya mendapatkan hasil yang paling baik. Hal ini dikarenakan kontak permukaan meningkatkan efisiensi ekstraksi. 1:20 adalah rasio optimal

untuk mengakomodasi pewarna dari sumbernya. Keseimbangan transfer zat warna dinamis mungkin telah mencapai dengan rasio tertentu. Volume yang lebih besar dari 20 ml karenanya menunjukkan nilai absorpsi yang rendah secara signifikan. Volume pelarut yang lebih rendah belum cukup untuk transfer pewarna ke pelarut. Untuk ekstraksi tanaman *Bougainvillea Glabra* waktu optimal untuk ekstraksi adalah satu jam. Sedangkan penggunaan enzim adalah metode bantuan optimal untuk ekstraksi.

Marwa Souisi et al. (2018) melakukan penelitian proses ekstraksi yang dilakukan yaitu bubuk biji kurma direfluks dengan menggunakan pelarut campuran antara air suling dan pelarut lain. Hasil ekstraksi kemudian disaring dan disimpan untuk diteliti. Mereka melakukan penelitian dengan tujuan untuk optimasi ekstraksi menggunakan Metode Taguchi. Variabel penelitian meliputi konsentrasi pelarut, suhu dan lama ekstraksi. Variabel respon yang diteliti adalah kandungan *polyphenol* dan absorpsi dari larutan ekstrak. Mereka juga meneliti stabilitas dari larutan ekstrak pada masa penyimpanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biji kurma dapat digunakan sebagai pewarna alam untuk tekstil. Suhu ekstraksi optimal pada 80°C, lama ekstraksi 90 menit dan pelarut aseton 10%.

Wafa Haddar et al. (2014) melakukan penelitian daun fennel (*Foeniculum Vulgare*) untuk digunakan sebagai pewarna katun. Mereka melakukan optimalisasi pewarnaan menggunakan *Metode Respon Surface*. Daun Fennel menghasilkan warna kuning dengan tingkat ketahanan luntur warna yang bagus. Variabel optimasi meliputi pH larutan pencelupan, suhu larutan, dan lama

pencelupan. Variabel respon yang diukur adalah hasil pewarnaan yang diukur sebagai nilai K/S dan nilai ketahanan luntur warna. Pengolahan data menggunakan Minitab 15 untuk mengevaluasi pengaruh interaksi beberapa variabel yang berbeda. Kondisi optimal hasil penelitian adalah pH larutan 8,22, lama pencelupan 59.38 menit dan suhu pencelupan 99.83 °C.

Kembaren (2014) membuat ekstraksi dan karakterisasi serbuk nano pigmen dari daun tanaman jati (*Tectona grandis linn. F*), Tujuan penelitian ini untuk menghasilkan pewarna dari pucuk daun jati muda dalam bentuk serbuk dengan menggunakan persentase filler yang berbeda dan mengkarakterisasi serbuk pewarna jati tersebut. Pucuk daun jati muda diberi perlakuan mekanik dengan penggerusan kemudian disaring, larutan yang diperoleh diukur partikelnya dengan Particle Size Analyzer (PSA), dikeringkan dengan penambahan filler maltodekstrin 5% dan 10%. Serbuk yang diperoleh dihitung rendemen, ukuran partikel serbuk, dan kelarutan dalam air. Larutan yang diperoleh adalah merah. Warna merah yang dihasilkan dari filtrat pucuk daun jati muda berasal dari zat warna antosianin yang dikandung daun muda jati. Ekstrak dari pucuk daun jati muda memiliki ukuran partikel 87.8- 318.1 nm dengan ukuran rata-rata 109.2 nm. Penambahan filler dengan konsentrasi berbeda berpengaruh terhadap warna serbuk pewarna, rendemen serbuk, ukuran partikel serbuk, dan kelarutan serbuk pewarna dalam air.

Handayani dan Maulana (2013) melakukan pewarnaan alami batik dari kulit sogu tingi (*Ceriops tagal*) dengan metode ekstraksi, tujuan penelitian ini memperoleh zat warna alami dari tanaman sogu tingi untuk pewarnaan kain batik,

dengan metode penelitian yang dilakukan membuat komposisi pelarut etanol, aquades dan variasi waktu ekstraksi dengan konsentrasi etanol 96 %, 70%, 30% dan aquades, Ekstraksi dijalankan pada suhu 70°C selama 3 jam, hasil penelitian Zat warna alam dari kulit pohon soga tingi dapat dipungut dengan metode ekstraksi. Ekstrak pelarut etanol 96% menghasilkan kadar tanin yang paling baik yaitu 24,34 ppm, ekstraksi selama 3 jam menghasilkan kadar tanin yang besar, zat pengikat dapat mempengaruhi kenampakan warna yang dihasilkan.

2.2. Posisi penelitian

Melihat dari penelitian serupa terdahulu yang telah di uraikan di atas maka posisi penelitian ini di tampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Posisi penelitian

No.	Author	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Haddar et al.	Memanfaatkan kol merah sebagai pewarna alam	Meneliti hubungan antar variabel pencelupan kain terhadap warna yang diperoleh	Kondisi pencelupan terbaik pada konsentrasi 50 g / 100 mL, pH 2, waktu 60 menit dan temperatur 100 ° C
2.	Imen Elksibi et al.	Optimasi pemanfaatan limbah padat dari zaitun sebagai pewarna alami	Metode optimasi menggunakan Response surface methodology (RSM)	Kondisi optimal diperoleh pada kondisi konsentrasi sodium hydroxide 0,1414 mol/L, waktu ekstraksi 62 menit, berat bubuk zaitun 4,5 gram dan suhu ekstraksi 71 0C.
3.	N. Vedaraman et al. (2017)	Meningkatkan efisiensi ekstraksi akar tanaman <i>Rubia Cordifolia</i>	Ekstraksi konvensional menggunakan bantuan alat ultrasonic extraction	Dengan meningkatnya frekuensi ultrasonik, persentase ekstraksi menurun; dengan meningkatnya waktu ekstraksi, persentase ekstraksi meningkat dan dengan rasio padat-cair, persentase ekstraksi pewarna meningkat pada awalnya dan kemudian menurun.
4.	Palanivel Velmurugan et al. (2017)	Optimalisasi ekstraksi ubi jalar ungu	Ekstraksi menggunakan bantuan alat bak pencelup ultrasound dengan pelarut acidified ethanol (A.EtOH)	Kondisi optimal untuk ekstraksi pada ph 2, suhu 70 0C, konsentrasi A.etoh 20 ml dan bubuk ubi jalar 1,5 gram, waktu ekstraksi 45 menit dan daya ultrasonik 75 W
5.	Pravinkumar.D . Patil et.al	Mendapatkan zat warna dari 'Bougainvillea Glabra' yang optimal	Desain 4 faktor dan 3 level dengan array ortogonal L9 Variabel yang diteliti adalah ukuran partikel, rasio bahan-pelarut, waktu ekstraksi, dan alat bantu ekstraksi. Level dari ukuran partikel adalah 150 mikron, 300 mikron dan 400 mikron. Level dari rasio bahan-pelarut adalah 1:10, 1:20 dan 1:30 (g:mL). Level dari waktu adalah 60, 120 dan 180 menit. Sedangkan level dari alat bantu ekstraksi adalah Microwave, Enzyme dan Microwave+Enzyme. Variabel respon yang diteliti adalah absorbansi yang diukur menggunakan UV-VIS Spectrophotometer	1:20 adalah rasio m/v optimal, waktu optimal untuk ekstraksi adalah satu jam. Sedangkan penggunaan enzim adalah metode bantuan optimal untuk ekstraksi.
6.	Marwa souisi et al. (2018)	Optimasi ekstraksi biji kurma menggunakan	Bubuk biji kurma direfluks dengan menggunakan pelarut campuran antara air	Biji kurma dapat digunakan sebagai pewarna alami untuk tekstil. Suhu ekstraksi optimal pada 80°C, lama ekstraksi 90

		metode Taguchi	suling dan pelarut lain, optimasi menggunakan metode Taguchi. Variabel penelitian meliputi konsentrasi pelarut, suhu dan lama ekstraksi. Variabel respon yang diteliti adalah kandungan polyphenol dan absorpsi dari larutan ekstrak	menit dan pelarut aseton 10%.
7.	Wafa Haddar et al. (2014)	Pemanfaatan daun fennel (<i>Foeniculum vulgare</i>) untuk digunakan sebagai pewarna katun	Optimalisasi pewarnaan menggunakan metode <i>Response surface Methodology</i> . Variabel optimasi meliputi pH larutan pencelupan, suhu larutan, dan lama pencelupan. Variabel respon yang diukur adalah hasil pewarnaan yang diukur sebagai nilai K/S dan nilai ketahanan luntur warna.	Kondisi optimal hasil penelitian adalah pH larutan 8,22, lama pencelupan 59.38 menit dan suhu pencelupan 99.83 °C.
8.	Kembaren (2014)	Menghasilkan pewarna dari pucuk daun jati muda dalam bentuk serbuk dengan menggunakan persentase filler yang berbeda dan mengkarakterisasi serbuk pewarna jati tersebut.	Pucuk daun jati muda diberi perlakuan mekanik dengan penggerusan kemudian disaring, larutan yang diperoleh diukur partikelnya dengan <i>particle size analyzer</i> (PSA), dikeringkan dengan penambahan filler maltodekstrin 5% dan 10%. Serbuk yang diperoleh dihitung rendemen, ukuran partikel serbuk, dan kelarutan dalam air. Larutan yang diperoleh adalah merah.	Warna merah yang dihasilkan dari filtrat pucuk daun jati muda berasal dari zat warna antosianin yang dikandung daun muda jati. Ekstrak dari pucuk daun jati muda memiliki ukuran partikel 87.8- 318.1 nm dengan ukuran rata-rata 109.2 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak tersebut merupakan produk nano di alam. Penambahan filler dengan konsentrasi berbeda berpengaruh terhadap warna serbuk pewarna, rendemen serbuk, ukuran partikel serbuk, dan kelarutan serbuk pewarna dalam air.
9.	Handayani dan Maulana	Pemungutan pewarna alami dari tanaman soga tingi sebagai bahan pengganti pewarna sintetis untuk batik dengan variabel yang dipelajari meliputi komposisi pelarut etanol-aquades dan waktu ekstraksi	Pemungutan zat warna alam dari kulit soga tingi dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi. Alat yang digunakan untuk proses ekstraksi yaitu dengan menggunakan seperangkat alat refluks. Pelarut yang digunakan yaitu etanol, aquades, dan etanol-aquades. Pada pelarut campuran etanol-aquades yang digunakan pada percobaan ini divariasikan pada konsentrasi etanol 96 %, 70%, 30% dan aquades. Kulit batang pohon	Ekstraksi dengan menggunakan pelarut etanol 96%, lama waktu 3 jam menghasilkan kadar tanin yang lebih besar

			soga tingi dikeringkan dan dihancurkan menjadi serbuk. Perbandingan bahan dan pelarut 1:4 m/v. Ekstraksi dijalankan pada suhu 70°C selama 3 jam. Kandungan zat warna dianalisis dengan spektrofotometri UV- Vis.	
10.	Titiek Pujilestari	Mengetahui pengaruh perbandingan air yang ditambahkan pada ekstraksi zat warna alam dan aplikasi pewarnaan pada kain katun dengan beberapa variasi jenis fiksasi	Ekstraksi pada lima jenis zat warna alam dengan menggunakan air. Variasi antara bahan pembawa zat warna dengan air adalah 1 : 6 dan 1 : 8. Fiksasi dilakukan dengan menggunakan kapur, tunjung, tawas, campuran kapur dengan tetes dan tanpa fiksasi.	Ekstraksi zat warna alam dari daun indigo, daun mangga, kulit kayu nangka, kulit buah manggis dan biji buah kesumba dengan menggunakan air sebanyak 6 dan 8 bagian, memberikan hasil yang tidak jauh berbeda.
11.	Melissa dan Muchtaridi Muchtaridi	Memberikan informasi mengenai berbagai manfaat farmakologis dari tanaman bandotan sehingga tanaman ini dapat dimanfaatkan dengan baik untuk pengobatan, produk kesehatan, suplemen makanan, dan kosmetik	Review jurnal, metode penelusuran pustaka dari berbagai sumber.	Mempunyai senyawa aktif diantaranya alkaloids, flavonoid, tannins, saponins dan phenol

Sepanjang pengetahuan penulis, dari kajian literatur dan kunjungan di pengrajin batik, belum banyak pemanfaatan biji pinang untuk pewarna alami batik. Dalam penelitian ini, penulis menambahkan metode ekstraksi yang optimal pada pewarnaan alami untuk batik. Tantangan penelitian terbesar adalah optimasi ekstraksi untuk menghasilkan zat pembawa warna sebanyak mungkin. Penggunaan metode Taguchi dalam penelitian zat warna alam digunakan untuk menambahkan penemuan pada penelitian – penelitian zat warna alam yang sudah ada.

2.3. Batik

2.3.1. Pengertian Batik

Batik telah distandarkan melalui Badan Standardisasi Nasional, yang dituangkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengertian batik dapat ditemukan pada dokumen SNI Nomor 0239 Tahun 2014: Batik – pengertian dan istilah. Menurut dokumen tersebut, batik merupakan kerajinan tangan sebagai hasil pewarnaan secara perintang menggunakan malam (lilin batik) panas sebagai perintang warna dengan alat utama pelekat lilin batik berupa canting tulis dan atau canting cap untuk membentuk motif tertentu yang memiliki makna (BSN, 2014). Sesuai alat bantu pelekatan malam yang digunakan, batik dikategorikan menjadi 3 jenis.

2.3.2. Jenis – jenis batik

Sesuai dengan SNI nomor 0239 Tahun 2014 Batik – Pengertian dan istilah, ada tiga macam batik, yaitu batik cap, batik tulis dan batik kombinasi.

Batik tulis merupakan batik yang proses pelekatan malamnya menggunakan canting tulis. Batik cap adalah batik yang proses pelekatan malamnya menggunakan canting cap. Batik kombinasi adalah batik yang proses pelekatan malamnya menggunakan canting tulis dan canting cap.

2.3.3. Proses pembuatan batik

Ada beberapa tahap utama dalam pembuatan batik. Tahapan tersebut antara lain sebagai berikut:

- Membuat gambar desain menggunakan pensil
- Proses pelekatan malam. Pada batik tulis, proses pelekatan malam ini menggunakan canting tulis. Pada batik cap, pelekatan malam menggunakan canting cap.
- Proses pewarnaan. Zat warna yang digunakan pada proses ini dapat menggunakan pewarna sintetis ataupun pewarna alami.
- Proses “*nembok*”. Proses *nembok* adalah proses menutup warna menggunakan malam pada bidang yang diinginkan agar warnanya tidak berubah pada tahap pewarnaan kedua.
- Proses pewarnaan kedua. Kain batik yang sudah di *tembok* dilanjutkan dengan tahap pewarnaan kedua menggunakan warna yang berbeda.
- Proses penghilangan malam, atau *nglorod*. Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan kain batik ke dalam air mendidih. Malam batik akan

lepas dari kain dan mengapung di permukaan air, sehingga didapatkan kain yang berwarna- warni.

2.4. Pewarna alami

Pewarna alam adalah zat warna yang bersumber dari alam seperti mineral, bagian dari hewan dan bagian dari tanaman (N. Sivarajasekar , R. Subashini, 2018). Pada umumnya pewarna alami adalah non-sustantif. Hasil ekstraksi dari tanaman selain menghasilkan zat warna juga mengandung banyak zat lain seperti fenol, flavonoid, alkaloid, minyak esensial dan non-essensial. Eksplorasi bahan pewarna dengan melakukan eksperimen pada bagian- bagian tumbuhan seperti daun, kulit kayu, kulit buah, batang kayu, akar maupun bunga. Nurunnesa melakukan penelitian dengan mengumpulkan kulit bawang untuk digunakan sebagai bahan pewarna pada kain sutera (Hossain, Rahman and Nurunnesa, 2018). Tujuan penelitiannya adalah mengaplikasikan ekstraksi kulit bawang untuk menghasilkan beberapa macam warna dengan memberikan aplikasi berbagai jenis zat mordan. Tiga jenis proses mordanting dilakukan yaitu *pra mordanting*, *meta mordanting* dan *post mordanting*. Hasil penelitiannya mendapatkan beberapa variasi warna yang unik.

Banyak penelitian menemukan bahwa bahan organik apapun dapat menghasilkan warna saat direbus, tetapi hanya tanaman tertentu yang dapat digunakan untuk mewarna kain (Sivarajasekar et al., 2018). Untuk dapat digunakan sebagai pewarna pada kain maka diperlukan bantuan mordan. Penggunaan mordan dapat meningkatkan ketahanan luntur warna. Proses perlakuan menggunakan mordan ini disebut *mordanting*.

2.4.1. Mordanting

Mordanting adalah perlakuan pada kain tekstil dengan garam logam atau zat pembentuk kompleks lainnya untuk mengikat pewarna alami agar terikat ke serat tekstil. Pada dasarnya, zat pewarna alam tidak dapat berikatan langsung dengan kain. Untuk itu diperlukan zat yang dapat mengikat antara zat pewarna alam dan kain (Vankar, 2008). Ada beberapa macam mordan yang dapat digunakan, antara lain garam logam, tanin, dan sejenis minyak. Perbedaan mordan yang digunakan mempengaruhi warna yang dihasilkan (Deo, Sarkar and Kumari, 2018). Teknik penerapan mordan dapat dilakukan sebelum pewarnaan (*pra mordanting*), bersamaan dengan pewarnaan ataupun setelah pewarnaan (*post mordanting*) (Vankar, 2008)(Teklay and Kechi, 2018)(Mariamma and Jose, 2018).

2.4.2. Faktor – faktor yang mempengaruhi ekstraksi

Banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk mendapatkan ekstraksi warna alam yang optimal. Penelitian-penelitian itu menunjukkan bahwa ekstraksi warna alam terpengaruh oleh suhu (Vázquez *et al.*, 2013; Haddar, Ben Ticha, *et al.*, 2014; Haddar, Elksibi, *et al.*, 2014; Mamta Vashishtha *et al.*, 2017; Gamedze, Hunter and Zwane, 2018). Penelitian lainnya melaporkan bahwa hasil ekstraksi dipengaruhi oleh waktu ekstraksi (Bechtold and Mussak, 2009; P. D. Patil, Rao, *et al.*, 2014; P. D. Patil, Wasif, *et al.*, 2014; Pravinkumar.D. Patil *et al.*, 2014; Wang, 2016; Gala *et al.*, 2018). variabel lain yang dilaporkan mempengaruhi hasil ekstraksi adalah kondisi pH larutan (Sinha *et al.*, 2013; Khan *et al.*, 2014; Ren *et al.*, 2016; Mariamma and Jose, 2018; N. Sivarajasekar , R. Subashini, 2018; Souissi *et al.*, 2018).

2.5. Tanaman pinang (*A. catechu*)

Tanaman pinang merupakan tanaman yang tumbuh liar. Namun sekarang sudah banyak dibudidayakan, karena mempunyai banyak manfaat. Tanaman pinang termasuk dalam kelompok tanaman berumah satu (monoceous), artinya bunga jantan serta bunga betina berada dalam satu tandan. Penyerbukan terjadi secara silang dalam satu tandan. Batang pinang tumbuh secara individu, sehingga pinang dimasukkan dalam tanaman soliter. Tinggi tumbuhan dapat mencapai 20 – 30 meter, diameter berkisar antara 25-30 cm. Jumlah daun pinang bervariasi antara 7-10 helai. Bentuk daunnya menyirip majemuk, panjangnya antara 1-1,5 m. Anak daun berjumlah antara 30-50. Pinang termasuk tanaman bunga berumah satu, yaitu bunga jantan dan betina terletak dalam satu rangkaian bunga. Bagian dasar adalah bunga betina, sedangkan bunga yang ukurannya lebih kecil dan berjumlah banyak dan menyebar meluas dari bagian luar sampai bagian ujung tangkai adalah bunga jantan. Buah pinang matang berwarna kuning sampai oranye, sedangkan buah muda berwarna hijau. Biji pinang berbentuk lonjong, bulat atau elip. Tanaman pinang dapat berbunga setelah berumur 4-6 tahun dan mulai produksi saat usia 7-8 tahun. Dapat berproduksi sampai umur 40 tahun (Miftahorrachman, Matana and Salim, 2015).

Divisi : *Spermatophyta*

Sub divisi : *Angiospermae*

Kelas : *Monocotyledoneae*

Ordo : *Principes/Palmales/Arecales*

Famili : *Palmae/Arecaceae*

Sub famili : *Arecoideae*

Genus : *Areca*

Spesies : *Areca Catechu L.*



Gambar 2.1. Penampakan Tanaman Pinang

2.6. Kualitas

Istilah kualitas memiliki banyak arti, salah satunya adalah kualitas menurut ISO. ISO mendefinisikan kualitas sebagai totalitas fitur dan karakteristik produk atau layanan yang bergantung pada kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan yang dinyatakan atau tersirat. Dengan kata sederhana, orang dapat

mengatakan bahwa suatu produk memiliki kualitas yang baik ketika memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh klien. Ketika diproyeksikan pada pekerjaan analitis, kualitas dapat didefinisikan sebagai penyampaian informasi yang dapat dipercaya dalam rentang waktu yang disepakati dalam kondisi yang disepakati, dengan biaya yang disepakati (ISO 9000, 2015).

Sementara itu, Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai kesesuaian dengan spesifikasi dan kurangnya penyimpangan dari karakteristik kualitas nominal (Taguchi and Wu, 1979). Taguchi mengembangkan pendekatan untuk meningkatkan kualitas pada tahap desain dibandingkan dengan strategi kontrol setelah pembuatan. Taguchi mengenalkan dua prinsip dalam hal kualitas. Pertama adalah bahwa kualitas harus diukur sebagai fungsi penyimpangan dari karakteristik kualitas nominal dan meminimalkan variasi ini. Kedua, kualitas harus dimasukkan ke dalam desain produk. Ketertarikan manajemen timbul karena konsekuensi ekonomi yang diklaim dari metode Taguchi yaitu pengurangan biaya dengan kualitas yang lebih baik dan konsekuensinya adalah adanya peningkatan kepuasan konsumen.

2.6.1. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan proses pengukuran pada waktu perancangan suatu produk atau proses (Snee, 2016). Aktivitas pengendalian kualitas meliputi setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, desain proses, desain produksi, sampai kepada kepuasan dari pengguna. Pengendalian kualitas mempunyai target untuk menuju target dari perbaikan terus menerus, penemuan yang cepat, penyelesaian masalah dengan cepat, serta adanya efektivitas biaya dalam peningkatan kualitas produk. Pengendalian kualitas dapat

dibedakan menjadi pengendalian secara *on-line* dan secara *off-line* (Ramzan, Wook Kang and Sarkar, 2016). Kedua pengendalian tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. Pengendalian kualitas *off-line*

Dasar dari pengendalian kualitas *off-line* adalah desain eksperimen (DoE). Peran utamanya dari pengendalian kualitas secara *off-line* adalah: (i) untuk mengidentifikasi sumber-sumber variasi utama, sehingga tingkat terbaik dari faktor-faktor kritis ini dapat dipilih dengan tujuan untuk meminimalkan variasi; dan, (ii) digunakan untuk melakukan optimisasi sistem (produk dan / atau proses). Dalam konteks optimisasi sistem, pengendalian kualitas dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut (Taguchi, Chowdhury and Wu, 2007):

- i. Desain sistem. Desain sistem selalu tersirat dalam fase konseptual dari setiap proses atau pengembangan produk baru. Dalam mendesain sistem, diperlukan pengetahuan teknis dan pengalaman yang luas agar dapat merancang dan menentukan proses ataupun produk. Tahapan ini dapat digunakan dalam meyakinkan kepada pengguna akan kualitas dari proses maupun produk yang akan dibuat.
- ii. Desain parameter. Bagian utama dari pekerjaan pengendalian kualitas berfokus pada membuat sistem (produk dan / atau proses) yang robust terhadap faktor noise yang tidak terkendali tetapi belum mempengaruhi kinerja sistem. Masalah ini dapat diatasi dengan desain percobaan, dengan tujuan utama adalah untuk menemukan pengaturan parameter proses yang optimal (faktor kontrol) dengan mempertimbangkan

pertimbangan biaya, yaitu desain terbaik dengan biaya minimal. Selain itu, fokusnya juga pada pengurangan variabilitas tetapi tanpa menambahkan biaya tambahan. Alih-alih menghilangkan penyebab variasi yang bisa sangat mahal atau bahkan tidak mungkin, idenya adalah untuk meminimalkan efek dari penyebab variasi. Dengan memilih pengaturan faktor kontrol (optimal) terbaik yang dapat dikontrol tanpa menambah biaya, kualitas kinerja sistem dapat ditingkatkan.

iii. Desain toleransi. Desain toleransi bertujuan untuk menemukan kisaran variabilitas yang dapat diterima di sekitar pengaturan nominal yang ditentukan dalam desain fase-parameter sebelumnya. Idenya adalah untuk menentukan toleransi dan nilai bahan input mana yang memiliki dampak besar pada variabilitas.

b. Pengendalian kualitas secara on-line

Pengendalian kualitas secara on-line berupa pengamatan dan pengendalian kualitas pada setiap proses produksi. Pengamatan ini sangat penting dalam menjaga kualitas produk dan dalam upaya menjaga agar biaya produksi menjadi rendah.

2.6.2. Desain Eksperimen

Tujuan dari eksperimen adalah memahami bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi suatu produk atau proses dan selanjutnya diambil keputusan berkaitan dengan parameter yang mempengaruhi performansi suatu produk atau proses. Desain eksperimen adalah suatu perencanaan percobaan secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) untuk mempengaruhi rata – rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses

tertentu. Dikenal beberapa macam desain eksperimen antara lain desain eksperimen konvensional dan desain eksperimen Taguchi.

2.7. Metode Taguchi

Pada banyak eksperimen konvensional dilakukan dengan mengubah satu faktor untuk meneliti satu respon. Jenis pendekatan eksperimental seperti ini membutuhkan jumlah percobaan yang sangat besar untuk mengetahui efek dari satu faktor. Pendekatan eksperimental ini tidak lagi diikuti karena membutuhkan waktu lebih lama dan mahal. Kerugian lain dari model percobaan seperti ini tidak dapat mendeteksi interaksi antar faktor-faktor. Untuk mengatasi hambatan ini, banyak dilakukan menggunakan metode antara lain Taguchi (Gupta and Lataye, 2018)

Metode Taguchi dikembangkan dari desain statistik percobaan standar *Desain Of Eksperimen* karena optimasi desain konvensional mungkin tidak selalu memenuhi target yang diinginkan. Penggunaan metode ini dapat mereduksi biaya dan mereduksi variabilitas variable respon. Metode ini dapat meningkatkan produktivitas kegiatan penelitian dan pengembangan. Hal ini karena metode taguchi dapat mengurangi jumlah percobaan yang perlu dilakukan (Sukmana *et al.*, 2018). Pengurangan jumlah percobaan didasarkan pada signifikansi statistik parameter dan pengaruh interaktif dari parameter ini. Metode taguchi dapat digunakan dalam banyak bidang ilmu (Silva *et al.*, 2014), termasuk untuk optimasi zat warna alam (Teklay and Kechi, 2018)(Desai and Parikh, 2015)(P. D. Patil, Wasif, *et al.*, 2014). Dalam Taguchi digunakan matrik yang disebut *Orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat

memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter.

Sasaran dari metode Taguchi adalah membuat produk atau desain yang *robust* terhadap *noise*. Karena hal inilah maka metode ini dikenal dengan nama *Robust Design*. Dalam metode *Taguchi* digunakan matrik yang biasa disebut *orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal. Meskipun jumlah eksperimen minimal, namun tetap dapat memberi informasi yang sebanyak mungkin terhadap semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel input untuk masing- masing eksperimen.

Menurut Taguchi, terdapat dua macam kualitas, yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kualitas rancangan merupakan variasi tingkat kualitas yang memang direncanakan ada pada suatu produk. Kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang diisyaratkan oleh rancangan. Beberapa hal dapat mempengaruhi kualitas kecocokan, antara lain pemilihan proses pembuatan, latihan dan pengawasan kerja, jenis sistem jaminan kualitas.

Hal yang mendasar dalam metode rekayasa kualitas Taguchi dapat diringkas sebagai berikut (Taguchi, Chowdhury and Wu, 2007):

1. Kualitas suatu proses dan / atau produk harus dirancang dan tertanam ke dalam proses dan / atau produk sejak awal, yaitu dimulai sejak dari tahapan konseptual dan desain.

2. Faktor kontrol atau faktor desain, yaitu parameter proses, harus tahan terhadap faktor *noise*. Jika tidak dimungkinkan, maka kerugian yang disebabkan oleh efek faktor *noise* harus dikurangi seminimal mungkin.
3. Tujuan dari parameter desain yang *robust* adalah untuk menemukan pengaturan faktor kontrol yang optimal yang meminimalkan efek *noise*, untuk mencapai nilai karakteristik kualitas yang diinginkan. Tujuan metode Taguchi bukan untuk menghilangkan atau mengurangi faktor *noise* itu sendiri, tetapi untuk mengurangi efeknya pada respons proses
4. Metode statistik untuk peningkatan kualitas harus digunakan selama seluruh siklus hidup suatu proses dan / atau produk. Peralatan dan teknik rekayasa mutu harus dikombinasikan dan diterapkan bersama dengan metode statistik, sebagai bagian dari keseluruhan desain untuk sistem kualitas.

2.7.1. Faktor kendali dan faktor *noise*

Faktor kendali merupakan faktor yang dapat dikendalikan oleh pembuat pada tahap perancangan produk/proses dan tidak dapat diubah oleh konsumen, sedangkan faktor *noise* adalah faktor yang tidak mampu dikendalikan oleh produsen. Faktor *noise* dapat dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Faktor *noise eksternal*, merupakan sumber variabilitas dari luar produk.
2. Faktor *noise* dari unit ke unit, merupakan hasil dari produksi dimana selalu ada perbedaan dari setiap item sejenis yang telah diproduksi.
3. Faktor *noise deteriorasi*, disebut juga *noise internal*; berasal dari sesuatu yang berubah dari proses atau degradasi dari komponen mesin yang sudah memasuki *over time*.

Penanganan faktor *noise* pada eksperimen Taguchi dapat dilakukan dengan cara:

1. Melakukan ulangan setiap percobaan
2. Memasukkan faktor *noise* ke dalam percobaan dengan menempatkan sebagai faktor di luar kendali
3. Dengan mengasumsikan sebagai faktor terkendali bervariasi

2.7.2. *Signal to Noise Ratio (SNR)*

SNR adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas sebuah produk. SNR digunakan dalam melihat level faktor eksperimen yang mana yang berpengaruh pada hasil. SNR dibagi dalam beberapa tipe karakteristik kualitas, yaitu:

1. *Smaller the better (STB)*

Kualitas yang paling baik adalah kualitas yang paling kecil nilainya. Nilai SNR untuk karakteristik *smaller the better* dihitung menggunakan rumus:

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right]$$

Keterangan:

S/N_{STB} = rasio SN untuk karakteristik *smaller the better*

n = jumlah pengulangan dalam suatu percobaan (*trial*)

Y_i = nilai respon dari cuplikan ke- i untuk jenis eksperimen tertentu

2. *Larger-the-Better (LTB)*

Kualitas yang paling baik adalah kualitas yang nilainya paling besar. Untuk menghitung nilai S/N untuk karakteristik LTB dengan menggunakan rumus:

$$S/N_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right]$$

Keterangan:

S/N_{LTB} = rasio SN untuk karakteristik *larger the better*

n = jumlah pengulangan dalam suatu percobaan (*trial*)

Y_i = nilai respon dari cuplikan ke-i untuk jenis eksperimen tertentu

3. *Nominal-the Better (NTB)*

Kualitas yang paling baik adalah kualitas yang nilai nominalnya paling mendekati nilai nominal yang ditetapkan. Nilai S/N karakteristik *nominal-the-better* menggunakan rumus:

$$S/N_{NTB} = -10 \log \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right], \text{ dengan } \sigma^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

Keterangan:

S/N_{NTB} = rasio SN untuk karakteristik *nominal the better*

μ = rata-rata

σ = varians

2.7.3. Matriks orthogonal Array

Derajat bebas merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level faktor atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang akan dilakukan. Perhitungan derajat bebas dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor dengan level yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini dapat memberi informasi tentang faktor dan level

yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas. Dalam eksperimen harus mempertimbangkan efisiensi dan biaya yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu sedapatnya menggunakan *orthogonal array* terkecil yang masih memberikan informasi yang cukup dan valid dalam hasil. Untuk menentukan *orthogonal array* yang diperlukan maka perlu dihitung derajat kebebasan. Perhitungan derajat kebebasan menggunakan cara sebagai berikut:

Untuk faktor dan level :

$$v_{fl} = \text{number_of_levels} - 1$$

Untuk orthogonal array

$$v_{OA} = \text{number_of_experiments} - 1$$

Untuk interaksi A dan B

$$v_{AxB} = (n_A - 1) \times (n_B - 1)$$

Tabel *orthogonal array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya.

2.7.4. *Orthogonal array*

Orthogonal array merupakan matriks yang terdiri dari sejumlah baris dan kolom. Dalam kolom ditampilkan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari setiap percobaan. Faktor percobaan yang dilakukan dituangkan ke dalam kolom. *Orthogonal array*, digunakan untuk mendesain menganalisis data eksperimen yang efisien. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang mampu menyajikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang berpengaruh kepada parameter. Hal yang penting pada *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel input.

Orthogonal Array dinyatakan dengan :

$$L_x(n^y),$$

Di mana :

L merupakan informasi orthogonal array

x merupakan jumlah eksperimen

y jumlah faktor yang diamati

n jumlah level faktor.

Pemilihan jenis tabel orthogonal array yang digunakan didasarkan pada derajat bebas total. Pemilihan derajat bebas berdasarkan pada :

- Jumlah faktor dan interaksinya
- Jumlah level faktor
- Resolusi eksperimen yang dikehendaki dan atau batasan biaya

Untuk memilih *orthogonal array* disesuaikan dengan jumlah level faktor. Misalkan percobaan ber level dua, maka digunakan *orthogonal array* dua level. Jumlah percobaan dilihat dalam angka di dalam array. Misalkan matriks L_8 memiliki 8 percobaan, matriks L_9 memiliki 9 percobaan dan seterusnya. Berikut dibawah adalah tabel orthogonal array dari metode Taguchi:

Tabel 2. 2. *Orthogonal Array* untuk Setiap Level

2 Level	3 level	4 level	5 level	Mixed level
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{36}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 2^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^4)$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$

$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^1 \times 5^{11})$
------------------	--	--	--	-----------------------------

2.7.5. Langkah Penggunaan metode Taguchi

Barrado dan kawan-kawan menerapkan desain eksperimental Taguchi dengan langkah –langkah sebagai berikut (Silva *et al.*, 2014):

- 1) Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Mendefinisikan secara jelas permasalahan yang akan diteliti untuk peningkatan kualitas.

- 2) Pilih variabel output yang akan dioptimalkan,

Adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang diselidiki. Dalam percobaan Taguchi, variabel tak bebas adalah karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori :

- a. *Measurable Characteristic* (Karakteristik yang dapat diukur)

Semua hasil akhir yang diamati dapat diukur dengan skala kontinu seperti dimensi, berat, tekanan, dan lain-lain. Dalam karakteristik yang dapat diukur dapat diklarifikasikan atas :

- i. *Nominal is the best*
 - ii. *Smaller the better*
 - iii. *Larger the better*
- b. *Attribute Characteristic* (Karakteristik atribut)

Hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinu, tetapi dapat diklarifikasikan secara kelompok. Seperti kelompok kecil, menengah, besar, sangat besar. Bisa juga dikelompokkan berdasarkan berhasil / tidak.

c. *Dynamic Characteristic* (Karakteristik dinamis)

Merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai signal atau input dan output sebagai hasil dari signal.

3) Identifikasi faktor (variabel input) yang mempengaruhi variabel output (*respons*) dan memilih level yang akan diuji,

Faktor (Variabel bebas) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan diidentifikasi. Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki.

4) Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode Taguchi keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factor*) adalah faktor yang nilainya

tidak bisa kita kendalikan, atau faktor yang nilainya tidak ingin kita kendalikan. Walaupun dapat kita kendalikan, faktor gangguan akan mengeluarkan biaya yang mahal. Faktor gangguan terdiri atas :

a) *External (outer) noise*

Semua gangguan dari kondisi lingkungan atau luar produksi.

b) *Internal (inner) noise*

Semua gangguan dari dalam produksi sendiri.

c) *Unit to unit noise*

Perbedaan antara unit yang diproduksi dengan spesifikasi yang sama.

5) Pilih *ortogonal array*,

Matrik eksperimen adalah matrik yang memuat sekelompok eksperimen dimana faktor dan level dapat ditukar sesama matrik. Melakukan eksperimen dengan menggunakan bentuk matrik khusus (*orthogonal array*) bertujuan agar dapat dilakukan pengujian terhadap pengaruh beberapa parameter secara efisien dan merupakan teknik penting dalam perancangan kokoh (*robust design*). *Orthogonal array* adalah suatu matrik yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor array disebut orthogonal karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen. Jadi *orthogonal array* adalah matrik seimbang dari faktor dan level, sedemikian sehingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*counfounded*) dengan pengaruh faktor yang lain.

Desain percobaan dengan beberapa variabel independen, dan masing-masing mempunyai level, dibuat *array ortogonal*. Berdasarkan faktor-faktor dan level-level yang sudah ditentukan kemudian digunakan untuk membuat desain penelitian. Baris matriks mewakili jumlah percobaan yang dilakukan dalam urutan acak. Setiap percobaan diulang tiga kali dalam kondisi yang sama pada waktu yang berbeda untuk mengamati efek noise pada proses ekstraksi. Semua hasil pada setiap langkah desain dinyatakan sebagai rata-rata dari serangkaian percobaan. Nilai rata-rata dari replikasi ini adalah respon dari percobaan (Vázquez *et al.*, 2013)(Gupta and Lataye, 2018)(Lymeropoulou *et al.*, 2019). Daftar lengkap *array orthogonal* dapat dilihat dalam Taguchi dan Kenishi (Taguchi and Konishi, 1987).

- 6) Tetapkan faktor dan interaksi ke kolom dari array,
- 7) Lakukan eksperimen,
- 8) Lakukan analisis statistik dan rasio *signal-to-noise* dan menentukan kondisi optimal untuk menyesuaikan tingkat faktor.

Setelah dilakukan percobaan berdasarkan metode Taguchi, selanjutnya perlu diukur menggunakan statistik untuk mengukur performa yang disebut rasio sinyal terhadap *noise*, SN. Setiap percobaan perlu dihitung untuk menentukan pengaruh masing-masing variabel independen terhadap parameter kinerja (Gupta and Lataye, 2018)(Ghasemi, Mashhadi and Azimi-Amin, 2018)(Rossi *et al.*, 2017)(Lymeropoulou *et al.*, 2019). Rasio SN adalah ukuran yang membandingkan sinyal atau output yang diinginkan dengan data yang tidak

relevan. Rasio SN adalah ukuran seberapa kuat respons diterima dari parameter target dalam percobaan. Pada penelitian ini memilih kategori respons yang paling baik adalah nilai terbesar. Persamaan untuk menghitung Rasio SN ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2.

$$\text{Rasio SN} = -10 \log (M.S.D)$$

$$MSD = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{T_i^2}$$

Dimana m adalah jumlah percobaan, T_i adalah nilai hasil performa parameter, i adalah percobaan.

Setelah data dari percobaan diperoleh, kemudian dihitung rasio Uji normalitas, homogenitas, ANOVA, penghitungan Signal to Noise ratio (SNR), Penghitungan efek tiap faktor, prediksi nilai variabel respon, dan penentuan level faktor kondisi optimal menggunakan MRSN jika level faktor pada kondisi optimal tidak sama.

2.7.6. Uji Normalitas

Distribusi normal merupakan distribusi yang simetri dengan nilai modus, mean dan median berada di tengah/pusat. Uji normalitas menggunakan serangkaian langkah apakah data berasal dari sebaran normal. Jika analisis menggunakan metode parametrik, maka persyaratan normalitas harus dipenuhi. Artinya data yang ada mempunyai distribusi normal. Adapun jika data tidak mempunyai sebaran yang normal, maka metode statistik menggunakan statistik non parametrik. Dasar pengambilan keputusan uji normalitas adalah jika nilai hitung $>$ nilai tabel maka H_0 ditolak dan jika nilai hitung $<$ nilai tabel maka H_0 diterima.

Hipotesis statistik :

H_0 : sampel mempunyai sebaran normal

H_1 : sampel data mempunyai sebaran tidak normal

Beberapa cara dapat digunakan dalam uji normalitas data, antara lain menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov. Uji Kolmogorov-Smirnov untuk satu sampel adalah uji kecocokan. Artinya, apa yang dianggap sebagai derajat kesesuaian antara distribusi teoritis tertentu. Tes ini menentukan apakah skor sampel dapat diberikan secara wajar ke populasi dengan distribusi tertentu. Oleh karena itu, pengujian menghitung distribusi frekuensi kumulatif yang terjadi di bawah distribusi teoritis dan membandingkan distribusi frekuensi tersebut dengan distribusi frekuensi kumulatif yang diamati. Distribusi teoritis mewakili apa yang diharapkan pada H_0 . Pengujian ini menggunakan dua distribusi, yaitu titik dimana selisih antara teori dan yang diamati adalah yang terbesar. Melihat distribusi sampling, kita dapat menentukan apakah perbedaan besar itu hanya kebetulan. Ini berarti bahwa distribusi sampling menunjukkan apakah perbedaan besar yang diamati mungkin telah terjadi jika pengamatan pada benar-benar sampel acak dari distribusi teoritis meningkat.

Langkah melakukan pengujian Kolmogorov-Smirnov dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- a. Merubah data pengamatan ke dalam bilangan baku (Z)

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{SD}$$

- b. Setiap bilangan baku ditentukan nilai probabilitas kumulatif normal dengan menggunakan daftar distribusi normal baku

- c. Nilai probabilitas kumulatif empiris (FS) kemudian dihitung menggunakan nilai persamaan i dibagi n . Dimana i dan n masing-masing adalah jumlah data Z_i dan jumlah data atau observasi.
- d. Hitung selisih $FT-FS$, dan tentukan nilai absolutnya
- e. Pilih nilai absolut terbesar dari nilai absolut ini dan bandingkan dengan tabel Kolmogorov-Smirnov.

$$D = \text{maksimum}|FT - FS|$$

Hipotesis dalam uji Kolmogorov-Smirnov

H_0 : sampel berasal dari populasi yang mempunyai sebaran normal

H_1 : sampel berasal tidak berasal dari populasi yang mempunyai sebaran normal

2.7.7. Homogenitas

Uji homogenitas adalah suatu prosedur uji statistik yang dimaksudkan untuk memperlihatkan bahwa dua atau lebih kelompok data sampel berasal dari populasi yang memiliki variansi yang sama. Pada analisis regresi, persyaratan analisis yang dibutuhkan adalah bahwa galat regresi untuk setiap pengelompokan berdasarkan variabel terikatnya memiliki variansi yang sama. Jadi dapat dikatakan bahwa uji homogenitas bertujuan untuk mencari tahu apakah dari beberapa kelompok data penelitian memiliki variansi yang sama atau tidak. Dengan kata lain, homogenitas berarti bahwa himpunan data yang kita teliti memiliki karakteristik yang sama.

Uji Bartlett digunakan untuk menguji keseragaman variansi antara dua dataset. Prosedur uji homogenitas menggunakan uji Bartlett:

- Perhitungan derajat kebebasan (db) untuk setiap kelompok
- Hitung varians untuk setiap kelompok
- Menghitung ukuran log S² untuk setiap grup.
- Perhitungan besaran dk. log S² untuk setiap kelompok
- Gunakan rumus untuk menghitung nilai varians total untuk semua grup

$$S^2_{gab} = \frac{\sum db s_i^2}{\sum db}$$

- Hitung B atau nilai Bartlett

$$B = \sum db (\log S^2_{gab})$$

- Hitung nilai x²

$$x^2 = (\ln 10) \left[B - \left(\sum db \log S_i^2 \right) \right]$$

Keterangan :

S_i² = varians tiap kelompok data

db_i = n-1 = derajat kebebasan tiap kelompok

- Membandingkan nilai x² hitung dengan x² tabel. Kriteria homogen ditentukan jika x² hitung < x² tabel. Hipotesis pengujian :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_n^2$$

Ha : paling sedikit salah satu tanda tidak sama

Kriteria uji :

Jika x²_{hitung} ≥ x²_{tabel} (1-α; db=n-1), maka Tolak H₀

Jika x²_{hitung} < x²_{tabel} (1-α; db=n-1), maka Terima H₀

2.7.8. ANOVA

Analisis varians (ANOVA) digunakan dalam percobaan menggunakan metode Taguchi untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari nilai respon dari percobaan yang dilakukan. Uji ANOVA dapat dijalankan jika data yang digunakan berdistribusi normal dan varians yang diuji serta populasinya sama atau seragam.

Hipotesis:

H_0 : tidak ada pengaruh perlakuan terhadap kandungan tanin ataupun pada absorbansi

H_1 : ada pengaruh perlakuan terhadap kandungan tanin ataupun pada absorbansi

Pengujian hipotesis:

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak, dan

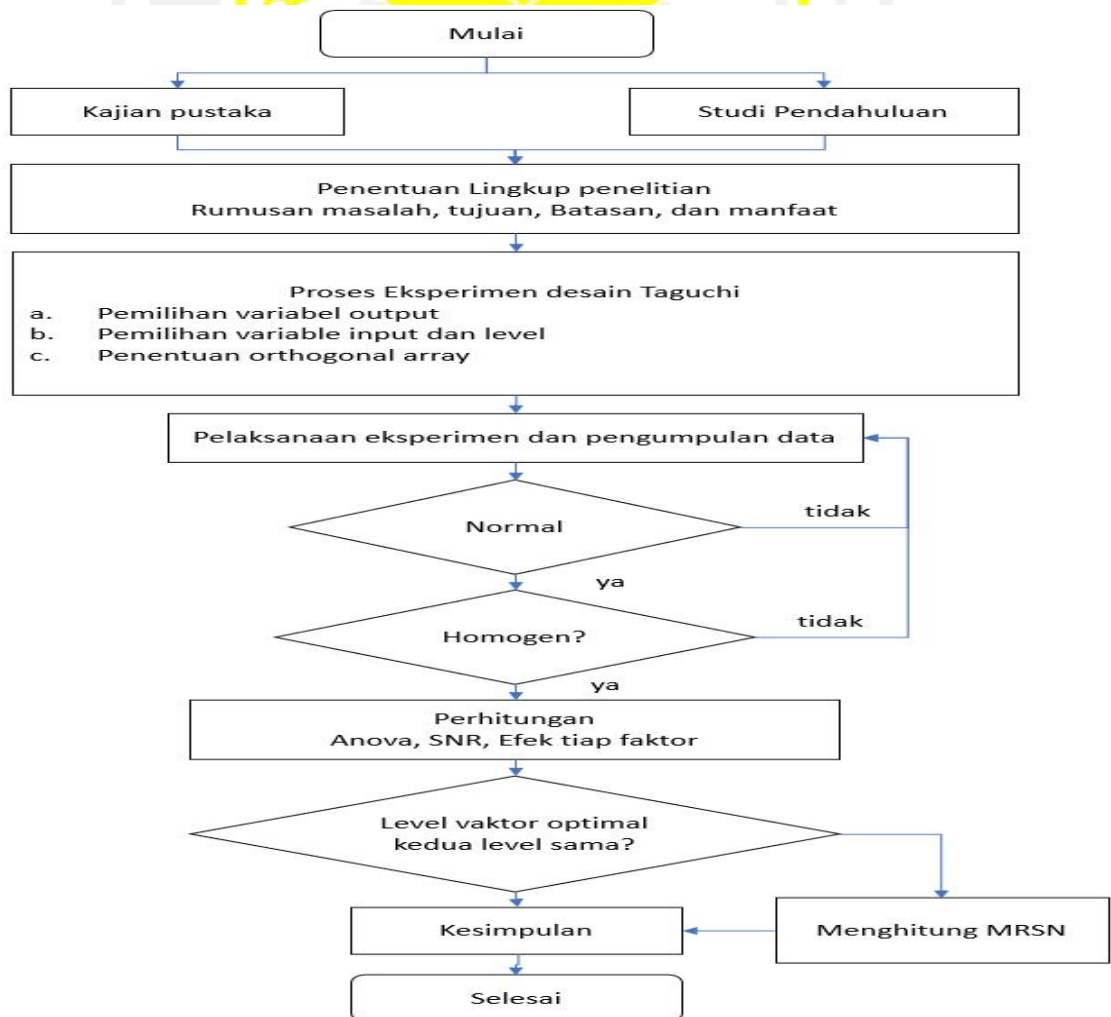
Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka H_0 diterima

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan penelitian

Agar pelaksanaan penelitian ini bisa berhasil dengan baik dan optimal, dibuat rancangan penelitian yang merupakan langkah- langkah dalam melaksanakan penelitian yang harus diikuti. Tahapan tahapan tersebut digambarkan dalam Gambar



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. Langkah-langkah penelitian

3.2.1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan dengan cara melakukan pengamatan kepada pelaku perajin batik dan para peneliti, serta instruktur pelatih di Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta. Data yang diperoleh sebagai gambaran pewarna batik yang digunakan di Indonesia, dan sebagai bahan penelitian yang akan dilakukan.

3.2.2. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan untuk mencari penelitian-penelitian serupa yang sudah dilakukan para peneliti terdahulu. Harapannya, diperoleh landasan teori yang kuat dan akan digunakan dalam melakukan analisa kasus yang terjadi.

Dari kajian ini dicari *state of the art* penelitian yang akan dilakukan.

3.2.3. Lingkup penelitian

- 1) Penelitian dilakukan menggunakan alternatif bahan baku pewarna alami yaitu biji pinang.
- 2) Hasil ekstraksi yang optimal akan digunakan sebagai alternatif pengganti pewarna sintetis untuk batik.
- 3) Optimasi dilakukan menggunakan metode Taguchi

3.2.4. Proses Desain Eksperimen Taguchi

1. Karakteristik Kualitas Produk

Hasil ekstraksi biji pinang menghasilkan zat terlarut. Zat yang terlarut pada biji pinang ini bermacam-macam, seperti *alkaloid, flavonoid, tannin, triterpene, fatty acid* dan lain - lain, sebagaimana ditulis oleh Peng dan kawan-kawan (Kembaren *et al.*, 2014). Semakin optimal proses ekstraksi, maka semakin banyak zat terlarut yang didapatkan. Untuk melihat zat terlarut dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan UV-VIS Spectrophotometer. Hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh banyak peneliti (Etemadifar *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2014; P. D. Patil, Wasif, *et al.*, 2014)(Patil *et al.*, 2014).

Biji Pinang juga mempunyai kandungan tanin. Tanin dapat berfungsi sebagai biomordant (Singh *et al.*, 2019). Ekstrak dari biji pinang dapat dimanfaatkan sebagai pewarna alami ataupun dapat dimanfaatkan sebagai *biomordant* dengan adanya kandungan tanin di dalamnya. Pengukuran konsentrasi tanin dilakukan menggunakan metode Folin-Ciocalteu (Makkar, 2003). Alat uji yang di gunakan adalah *UV-VIS Spectrophotomer*. Semakin optimal proses ekstraksi maka konsentrasi tanin yang diperoleh akan semakin banyak. Konsentrasi tanin dan absorbansi yang banyak dalam larutan menghasilkan ketahanan luntur warna yang lebih baik setelah digunakan untuk proses pewarnaan pada kain. Selain tanin, maasih ada kandungan pigmen lain yang keberadaannya dapat dideteksi dengan menggunakan UV-VIS Spectrofotometer.(P. D. Patil, Wasif, *et al.*, 2014; Pravinkumar.D. Patil *et al.*, 2014; Patil *et al.*, 2015). Semakin tinggi kandungan tanin dan semakin besar absorbansinya, maka larutan ekstrak dapat mewarnai kain tekstil dengan kekuatan

luntur yang semakin baik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Souissi dan kawan-kawan (Souissi *et al.*, 2018).

Dari uraian di atas, dalam penelitian ini dipilih variabel respon sebagai berikut:

- a. Absorbansi larutan (AU)
- b. Konsentrasi tanin (mg/L)

Fungsi obyektif dalam penelitian ini adalah larger the better (LTB).

2. Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor

Faktor – faktor yang dilibatkan dalam melakukan eksperimen optimasi ekstraksi adalah (L *et al.*, 2017):

- a. Berat biji pinang
- b. Volume pelarut
- c. Suhu ekstraksi
- d. Lama ekstraksi

Level faktor yang digunakan berikut alasan pemilihan level modifikasi dari L Muruganandam sebagai berikut :

- a. Berat biji pinang dipilih 70g, 80g, 100g. Dipilihnya level ini karena semakin berat yang diekstrak akan lebih banyak hasil zat terlarut maupun tanin yang didapat. Level 70 gram dipilih karena di bawah 70 gram konsentrasi zat terlarut dan tanin yang dihasilkan masih rendah dan tidak

bagus untuk pewarnaan dan menyebabkan ketahanan luntur kain menjadi lebih rendah. Sedangkan level di atas 100 g konsentrasi zat terlarut dan tanin sudah jenuh, namun belum semua komponen pembawa warna maupun tanin terlarut.

- b. Volume pelarut dipilih 750 ml, 875 ml dan 1000 ml. Dipilihnya level ini karena di bawah 750 ml laju perpindahan massa sudah menurun namun sebenarnya belum semua zat terlarut dan tanin terlarut. Sementara pada volume di atas 1000 ml peningkatan zat terlarut dan tanin relatif kecil dan cenderung menjadi konstan. Ketika bahan padat mengalami kontak dengan pelarut, komponen larut dari bahan padat pindah ke pelarut. Laju perpindahan massa menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi zat warna dalam pelarut, sampai kesetimbangan tercapai. Setelah itu, tidak ada lagi perpindahan massa zat warna dari bahan tanaman ke pelarut. Salah satu langkah untuk meningkatkan perpindahan massa selama ekstraksi zat warna adalah menyelidiki kondisi parameter yang sesuai untuk ekstraksi yang efisien (Sabarudin *et al.*, 2016).
- c. Suhu ekstraksi 80 °C, 90 °C dan 100 °C. Dipilihnya level ini, karena kondisi ekstraksi, terutama suhu, akan memiliki pengaruh yang nyata pada kemampuan ekstraksi zat terlarut dan tanin. Secara umum, semakin panas suhu ekstraksi akan didapatkan hasil yang lebih besar. Namun demikian, suhu ekstraksi berpotensi mempengaruhi komposisi kimia dan bioaktivitas ekstrak tumbuhan (Arina and Harisun, 2019). Dipilihnya level ini karena

apabila suhu ekstraksi di bawah 80 °C menyebabkan proses ekstraksi zat terlarut dan tanin berjalan lambat.

- d. Lama ekstraksi dipilih 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Waktu yang terlalu lama akan menyebabkan ekstrak terhidrolisis, sedangkan waktu ekstraksi yang terlalu singkat menyebabkan tidak semua senyawa aktif terekstrak dari bahan (Zhang, Lin and Ye, 2018). Level ini dipilih karena waktu ekstraksi di bawah 30 menit, kurang bagus karena kontak antara pelarut dan bahan yang diekstraksi belum cukup untuk melarutkan semua zat terlarut dan tanin. Sementara waktu di atas 90 menit tidak bagus karena semua bahan zat terlarut dan tanin sudah terlarut ke dalam pelarut dan akan menghabiskan energi. Demikian juga volume pelarut (air), untuk waktu pemanasan lebih dari 1,5 jam volume pelarut berkurang lebih dari setengah volume asal.

Tabel 3. 1. Faktor Kendali

No	Faktor kendali	Level 1	Level 2	Level 3
1.	Berat biji pinang (g)	70	80	100
2.	Volume pelarut (mL)	750	875	1000
3.	Suhu ekstraksi °C	80	90	100
4.	Lama ekstraksi (menit)	30	60	90

3. Pemilihan *Orthogonal Array*

Derajat bebas masing- masing faktor :

Faktor 1 (3 level), $df = 3-1 = 2$

Faktor 2 (3 level), $df = 3-1 = 2$

Faktor 3 (3 level), $df = 3-1 = 2$

Faktor 4 (3 level), $df = 3-1 = 2$

Jumlah df percobaan = 8, maka Pemilihan orthogonal array :

$Df\ OA \geq df$ percobaan; Maka dipilih *Orthogonal Array* yang sesuai yaitu $L_9(3^4)$.

Adapun matriks orthogonalnya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2. Matriks *Orthogonal Array* $L_9(3^4)$

Trial	Column number			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Untuk menghasilkan data yang bagus dan meminimalisasi error yang mungkin terjadi, dilakukan 3 kali ulangan percobaan.

3.2.5. Pelaksanaan eksperimen dan pengumpulan data

1. Tahapan persiapan

Biji Pinang sebagai bahan pewarna alam dibeli di penjual jamu dan obat di pasar tradisional, yaitu Pasar Beringharjo. Biji pinang yang di beli adalah biji pinang yang sudah dikeringkan.

Pada penelitian ini, digunakan metode ekstraksi dengan pelarut air. Pemilihan pelarut air karena disesuaikan dengan sifat sebagian besar dari zat warna alam yang larut terhadap air. Air merupakan pelarut yang murah dan mudah didapatkan, serta dapat digunakan kembali. Sementara penggunaan pelarut organik tidak ramah lingkungan dan mahal untuk digunakan terutama oleh industri batik yang rata-rata perajin kecil.

2. Instrumen penelitian yang digunakan

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya:

- a. Neraca digital digunakan untuk menimbang bahan baku dan bahan pendukung dalam kegiatan penelitian : *Shimadzu AUX220*
- b. Electronic TDS meter, pH meter untuk mengukur pH larutan ekstraksi : HANNA Instruments
- c. Thermometer digital, digunakan untuk memantau suhu
- d. UV- VIS *Spectrofotometer*, digunakan untuk mengukur absorbansi dari larutan hasil ekstraksi

3. Pelaksanaan Percobaan ekstraksi

- a. Laksanakan ekstraksi dengan mengikuti urutan percobaan sesuai dengan Tabel 3.2.
- b. Lakukan penyaringan dan tempatkan pada wadah kemudian diberi label
- c. Ukur absorbansi dan konsentrasi tanin menggunakan spektrofotometer Shimadzu. Nilai ini merupakan variabel respon dari percobaan. Catat nilai-nilai yang diperoleh pada logbook penelitian.
- d. Percobaan diulang sebanyak 3 kali ulangan

3.2.6. Evaluasi dan analisa data

Setelah dilakukan percobaan berdasarkan metode Taguchi, selanjutnya perlu diukur menggunakan statistik untuk mengukur performa yang disebut rasio sinyal terhadap noise, SN. Setiap percobaan perlu dihitung untuk menentukan pengaruh masing-masing variabel independen terhadap parameter kinerja (Gupta and Lataye, 2018)(Ghasemi, Mashhadi and Azimi-Amin, 2018)(Rossi *et al.*, 2017)(Lympelopoulou *et al.*, 2019). Rasio SN adalah ukuran yang membandingkan sinyal atau output yang diinginkan dengan data yang tidak relevan. Rasio SN adalah ukuran seberapa kuat respons diterima dari parameter target dalam percobaan. Pada penelitian ini memilih kategori respons yang paling baik adalah nilai terbesar. Persamaan untuk menghitung Rasio SN ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2.

$$\text{Rasio SN} = -10 \log (M.S.D)$$

$$MSD = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{T_i^2}$$

Dimana m adalah jumlah percobaan, T_i adalah nilai hasil performa parameter, i adalah percobaan. Setelah data dari percobaan diperoleh, kemudian dihitung rasio SN untuk setiap percobaan. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *analysis of variance* (ANOVA). Nilai ANOVA digunakan untuk menginvestigasi faktor yang sangat mempengaruhi kualitas.

Dalam penelitian ini, desain Taguchi digunakan untuk mempelajari efek utama dan interaksi antara parameter yang mempengaruhi proses ekstraksi komponen berwarna dari biji pinang. Analisis pada Taguchi dilaksanakan terhadap:

- a. Uji normalitas,
- b. homogenitas
- c. ANOVA.
- d. Penghitungan Signal to Noise ratio (SNR)
- e. Penghitungan efek Tiap Faktor
- f. Prediksi nilai variabel respon
- g. Penentuan level faktor kondisi optimal menggunakan MRSN

3.2.7. Pembahasan dan pengambilan kesimpulan

Setelah selesai dilaksanakan uji coba dan diperoleh hasil analisa kemudian dilakukan pembahasan. Pengambilan kesimpulan dilakukan berdasarkan data dan analisis yang diperoleh.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1. Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan di laboratorium penelitian Balai Besar Kerajinan dan Batik yang beralamat di Jalan Kusumanegara no. 7 Yogyakarta. Lembaga ini adalah lembaga penelitian dan pengembangan yang berada di bawah kementerian Perindustrian. Pelaksanaan eksperimen yang dilakukan merupakan fase pengumpulan data hasil eksperimen. Pelaksanaannya didasarkan pada matrik *orthogonal array* yang sudah ditentukan sebelumnya. Langkah pelaksanaan eksperimen diuraikan sebagai berikut :

1. Pembuatan ekstrak

Biji pinang yang telah kering ditimbang dengan menggunakan timbangan sebanyak sesuai dengan level faktor yaitu 70 g, 80 g, dan 100 g, penimbangan dilakukan 3 kali pada masing-masing variasi massa. Kemudian dimasukkan kedalam gelas beker dan ditambahkan air sebagai pelarut dengan volume sesuai level faktor yaitu 750 mL, 875 mL, dan 1000 mL. Lalu diletakkan di atas hot plate dan dipanaskan pada suhu sesuai level faktor yaitu 80°C, 90°C, dan 100°C dengan lama waktu ekstraksi 30, 60, 90 menit. Selanjutnya, larutan difiltrasi dengan menggunakan pompa vakum sehingga akan menghasilkan ekstrak biji pinang

2. Pengujian konsentrasi kandungan tanin

Pengujian kandungan tanin dilakukan untuk mengetahui besarnya zat tanin yang dapat diekstrak dari biji pinang. Pengujian kandungan biji

pinang dilakukan dengan membaca larutan ekstrak menggunakan UV-VIS spektrofotometer pada panjang gelombang 740 nm.

Langkah pengujian kandungan tanin menggunakan UV-VIS spektrofotometer dapat diuraikan sebagai berikut (Chadijah,dkk;2021):

a. Pembuatan larutan standar asam tanat

Membuat larutan induk dengan menimbang *tannic acid* sebanyak 1 mg kemudian dilarutkan dengan 10 mL aquades untuk menghasilkan larutan 1000 ppm. Selanjutnya melakukan pengenceran dari larutan induk dengan konsentrasi 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 31,25 ppm, 62,5 ppm, 125 ppm sebagai larutan standar. Masing-masing larutan standar diambil sebanyak 1 mL dan direaksikan dengan *FC Reagen* sebanyak 2,5 mL kemudian diinkubasi selama 2 menit. Setelah itu, direaksikan kembali dengan *sodium carbonate* sebanyak 2 mL dan diinkubasi selama 30 menit. Larutan blanko dibuat dengan cara yang sama, namun tanpa menggunakan larutan standar dan digantikan dengan aquades. Larutan standar dan larutan blanko dibaca dengan menggunakan spektrofotometri UV-VIS pada panjang gelombang 765 nm, sehingga didapatkan kurva standar

b. Pembuatan larutan untuk uji kuantitatif

Folin-Ciocalteu diambil sebanyak 5 mL kemudian dilarutkan dengan 45 mL aquades di labu ukur, lalu dikocok hingga homogen. Selanjutnya pembuatan larutan *Sodium Carbonate* dilakukan dengan menimbang *Sodium Carbonate* sebanyak 7,5 gram kemudian dilarutkan dengan 100 mL aquades di labu ukur, lalu dikocok hingga homogen.

c. Uji Kuantitatif Pengukuran Kadar Tanin dengan Spektrofotometri UV-VIS

Larutan sampel diambil sebanyak 1 mL dan direkasikan dengan FC Reagen sebanyak 2,5 mL kemudian diinkubasi selama 2 menit. Setelah itu, direaksikan kembali dengan *sodium carbonate* sebanyak 2 mL dan diinkubasi selama 30 menit. Pembuatan larutan blanko dibuat dengan cara yang sama, namun tanpa menggunakan larutan sampel dan digantikan dengan aquades. Pembuatan *quantitative analysis* pada spektrofotometer UV-VIS dilakukan dengan langkah awal memanggil kurva standar yang telah dibuat. Lalu sampel dibaca dengan menggunakan spektrofotometri uv_vis pada panjang gelombang 765 nm, sehingga didapatkan nilai konsentrasi tanin.

3. Pengujian absorbansi total

Larutan ekstrak dibaca absorbansinya menggunakan UV-VIS Spektrofotometer. Spektroskopi ultraviolet-tampak atau spektrofotometri ultraviolet-tampak (UV/VIS) melibatkan spektroskopi foton di wilayah UV-tampak. Ini menggunakan cahaya dalam rentang ultraviolet dekat (UV) dan inframerah dekat (NIR) yang terlihat dan berdekatan. Di wilayah spektrum elektromagnetik ini, molekul mengalami transisi elektronik. Teknik ini melengkapi spektroskopi fluoresensi, di mana fluoresensi berhubungan dengan transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar, sementara penyerapan mengukur transisi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Berbasis UV/VIS Dalam spektroskopi, absorbansi A didefinisikan sebagai:

$$A_{\lambda} = \log_{10} I_0/I$$

dimana I adalah intensitas cahaya pada panjang gelombang tertentu yang telah melewati sampel (intensitas cahaya yang ditransmisikan) dan I_0 adalah intensitas cahaya sebelum memasuki sampel atau intensitas cahaya datang. Pengukuran absorbansi sering dilakukan dalam kimia analitik, karena absorbansi sampel sebanding dengan ketebalan sampel dan konsentrasi spesies penyerap dalam sampel, berbeda dengan transmitansi I/I_0 sampel, yang bervariasi secara eksponensial. dengan ketebalan dan konsentrasi. Hukum Beer-Lambert digunakan untuk penentuan konsentrasi. Meskipun absorbansi tidak memiliki satuan yang benar, namun cukup sering dilaporkan dalam "Satuan Absorbansi" atau AU.

Saat sebuah cahaya melewati larutan ekstrak, maka cahaya dengan panjang gelombang tertentu akan diserap atau diabsorpsi secara selektif dan cahaya yang tidak diserap akan diteruskan atau ditransmisikan. Absorbansi adalah perbandingan intensitas cahaya terserap dengan cahaya yang masuk. Nilai absorbansi akan sangat tergantung pada banyaknya zat yang terkandung dalam larutan. Semakin banyak zat terlarut dalam ekstrak maka jumlah molekul yang akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu akan semakin banyak. Dengan demikian, nilai absorbansi akan semakin besar. Nilai absorbansi akan berbanding lurus dengan konsentrasi zat yang ada dalam larutan. Penentuan kondisi larutan optimal dengan mengukur absorbansinya banyak dilakukan oleh para peneliti, antara lain Patil dan kawan-kawan (P. D. Patil, Wasif, *et al.*, 2014), Alwani dan kawan-kawan (Al-Alwani *et al.*, 2016) serta Souissi dan kawan-kawan (Souissi *et al.*, 2018). Dengan absorbansi yang

semakin tinggi nilainya, konsentrasi zat terlarut semakin tinggi, maka hasil pewarnaan kain akan semakin tinggi daya tahan luntarnya.

4.2. Pengumpulan data

Data hasil pengujian kandungan tanin ditunjukkan pada Tabel 4.1 sedangkan dan pengujian absorbansi ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Kandungan Tanin (mg/L)

Percobaan ke -	Faktor Kendali				Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	59,91	75,07	74,29
2	1	2	2	2	58,05	83,05	80,79
3	1	3	3	3	68,65	91,28	85,93
4	2	1	2	3	74,77	101,65	93,98
5	2	2	3	1	60,21	87,57	86,28
6	2	3	1	2	70,21	93,04	76,83
7	3	1	3	2	119,02	120,58	119,58
8	3	2	1	3	78,07	102,35	100,05
9	3	3	2	1	59,54	78,02	97,92

Tabel 4. 2. Hasil eksperimen Absorbansi total pada λ 765 nm (AU)

Percobaan ke -	Faktor Kendali				Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	0,19	0,21	0,22
2	1	2	2	2	0,26	0,24	0,23
3	1	3	3	3	0,27	0,26	0,27
4	2	1	2	3	0,23	0,26	0,26
5	2	2	3	1	0,27	0,26	0,26
6	2	3	1	2	0,25	0,25	0,26
7	3	1	3	2	0,22	0,25	0,24
8	3	2	1	3	0,26	0,25	0,27
9	3	3	2	1	0,24	0,24	0,25

4.3. Analisis Data

Data hasil eksperimen diolah lebih lanjut untuk didapatkan kombinasi level faktor yang menghasilkan kualitas ekstrak biji pinang yang optimal. Langkah langkah yang dilakukan diuraikan pada langkah- langkah berikut :

- h. Uji statistik meliputi uji normalitas,
- i. homogenitas
- j. ANOVA.
- k. Penghitungan Signal to Noise ratio (SNR)
- l. Penghitungan efek Tiap Faktor
- m. Prediksi nilai variabel respon
- n. Penentuan level faktor kondisi optimal menggunakan MRSN

4.3.1. Uji statistik

- a. Perhitungan Normalitas Data

Maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah distribusi frekuensi hasil percobaan sesuai dengan *expected normal curve* atau berdistribusi normal. Normalitas merupakan syarat yang harus dipenuhi dalam uji statistik.

Hasil pengujian normalitas kandungan tanin ditampilkan pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3. Uji Normalitas Kandungan Tanin

xi	Freq	Cumul	$S_n(x)$	Z-Score	F(x)	Difference
58,05	1	1	0,04	-1,16	0,12	0,09
59,54	1	2	0,07	-1,10	0,14	0,06
59,91	1	3	0,11	-1,09	0,14	0,03
60,21	1	4	0,15	-1,08	0,14	0,01
68,65	1	5	0,19	-0,76	0,22	0,04
70,21	1	6	0,22	-0,70	0,24	0,02
74,29	1	7	0,26	-0,54	0,29	0,03
74,77	1	8	0,30	-0,53	0,30	0,00
75,07	1	9	0,33	-0,51	0,30	0,03
76,83	1	10	0,37	-0,45	0,33	0,04
78,02	1	11	0,41	-0,40	0,34	0,06

78,07	1	12	0,44	-0,40	0,34	0,10
80,79	1	13	0,48	-0,30	0,38	0,10
83,05	1	14	0,52	-0,21	0,42	0,10
85,93	1	15	0,56	-0,10	0,46	0,10
86,28	1	16	0,59	-0,09	0,46	0,13
87,57	1	17	0,63	-0,04	0,48	0,15
91,28	1	18	0,67	0,10	0,54	0,13
93,04	1	19	0,70	0,17	0,57	0,14
93,98	1	20	0,74	0,20	0,58	0,16
97,92	1	21	0,78	0,35	0,64	0,14
100,05	1	22	0,81	0,43	0,67	0,15
101,65	1	23	0,85	0,49	0,69	0,16
102,35	1	24	0,89	0,52	0,70	0,19
139,02	1	25	0,93	1,91	0,97	0,05
155,02	1	26	0,96	2,52	0,99	0,03
161,58	1	27	1,00	2,76	1,00	0,00
N Sampel		27				
Mean		88,63				
Simpangan Baku		26,39				
D _n =		0,19				
KS Tabel		0,26				
Normal						

Dengan melihat hasil uji normalitas Kolmogorov di atas, kandungan tanin memiliki nilai D_n $0,19 < KS$ tabel $0,26$ sehingga dapat dikatakan data pengujian kandungan tanin berdistribusi normal.

Hasil pengujian normalitas absorbansi ditampilkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Uji Normalitas Kolmogorov Absorbansi

xi	Freq	Cumul	S _n (x)	Z-Score	F(x)	Difference
0,19	1	1	0,04	-2,76	0,00	0,03
0,21	1	2	0,07	-1,71	0,04	0,03
0,22	1	3	0,11	-1,56	0,06	0,05
0,22	1	4	0,15	-1,40	0,08	0,07
0,23	1	5	0,19	-1,04	0,15	0,04
0,23	1	6	0,22	-0,67	0,25	0,03

0,24	1	7	0,26	-0,52	0,30	0,04
0,24	1	8	0,30	-0,36	0,36	0,06
0,24	1	9	0,33	-0,15	0,44	0,11
0,24	1	10	0,37	-0,15	0,44	0,07
0,25	1	11	0,41	0,01	0,50	0,09
0,25	1	12	0,44	0,01	0,50	0,06
0,25	1	13	0,48	0,01	0,50	0,02
0,25	1	14	0,52	0,16	0,56	0,05
0,25	1	15	0,56	0,37	0,64	0,09
0,26	1	16	0,59	0,53	0,70	0,11
0,26	1	17	0,63	0,53	0,70	0,07
0,26	1	18	0,67	0,53	0,70	0,03
0,26	1	19	0,70	0,53	0,70	0,00
0,26	1	20	0,74	0,68	0,75	0,01
0,26	1	21	0,78	0,68	0,75	0,03
0,26	1	22	0,81	0,68	0,75	0,06
0,26	1	23	0,85	0,89	0,81	0,04
0,27	1	24	0,89	1,05	0,85	0,04
0,27	1	25	0,93	1,05	0,85	0,07
0,27	1	26	0,96	1,20	0,89	0,08
0,27	1	27	1,00	1,41	0,92	0,08
N Sampel		27				
Mean		0,25				
Simpangan Baku		0,02				
D _n =		0,11				
KS Tabel		0,26				
Normal						

Dengan melihat hasil uji normalitas Kolmogorov di atas, kandungan tanin memiliki nilai $D_n < K_S \text{ tabel}$ 0,11 < 0,26 sehingga dapat dikatakan data pengujian kandungan tanin berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas Data

1. Uji homogenitas kandungan tanin

Uji homogenitas data dilakukan dengan perhitungan menggunakan metode Bartlett, yang ditampilkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Perhitungan awal homogenitas Kadar tanin

Replika	db	Si ²	db Si ²	log Si ²	db log Si ²
1	8	363,10	2904,83	2,56	20,48
2	8	199,76	1598,09	2,30	18,40
3	8	198,31	1586,48	2,30	18,38
Jumlah	24		6089,40		57,26

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai variansi gabungan untuk mendapatkan nilai Bartlett

$$S^2 = \frac{\sum db \cdot S_i^2}{\sum db}$$

$$B = (\log S^2) \left(\sum db \right)$$

$$X^2 = (\ln 10) \left[B - \sum (n_i - 1) \log S_i^2 \right]$$

variansi gabungan	253,73
Log S gabungan	0,19
Harga B satuan	57,70
Uji Bartlett dengan statistik chi kuadrat	
X ²	1,02
Uji Signifikansi dengan cara membandingkan X ² dengan X ² tabel	
X ² hitung	1,02
X ² tabel	15,51

Berdasarkan uji homogenitas data pengujian kandungan tanin X² hitung 1,02 < X² tabel 15,51 maka data hasil eksperimen kandungan tanin disimpulkan homogen.

2. Uji Homogenitas absorbansi

Uji homogenitas data dilakukan dengan perhitungan menggunakan metode Bartlett, yang ditampilkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Perhitungan awal homogenitas absorbansi

Replika	db	Si ²	db Si ²	log Si ²	db log Si ²
1	8	0,00062	0,005	-3,20	-25,64
2	8	0,00020	0,002	-3,71	-29,65
3	8	0,00034	0,003	-3,47	-27,74
Jumlah	24		0,009		-83,03

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai variansi gabungan untuk mendapatkan nilai Bartlett

variansi gabungan 0,00039
 Log S gabungan 0,19
 Harga B satuan -81,89

Uji Bartlett dengan statistik chi kuadrat
 X^2 2,62

Uji Signifikansi dengan cara membandingkan X^2 dengan X^2 tabel

X^2 hitung 2,62
 X^2 tabel 15,51
 X^2 hitung < X^2 tabel

Berdasarkan hasil uji homogenitas di atas, diperoleh X^2 hitung 2,62 < X^2 tabel 15,51 maka data hasil eksperimen absorbansi disimpulkan homogen.

c. Uji ANOVA

1. ANOVA kandungan tanin

Dari data hasil pengukuran kandungan tanin sebanyak 3 kali ulangan pada tabel dilakukan perhitungan analisis variansi sebagai berikut:

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

$$CF = \frac{T^2}{N}$$

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - CF$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{A_i^2}{n_A} \right) \right] - CF$$

$$SS_B = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{B_i^2}{n_B} \right) \right] - CF$$

$$SS_C = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{C_i^2}{n_C} \right) \right] - CF$$

$$SS_D = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{D_i^2}{n_D} \right) \right] - CF$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A}$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{V_B}$$

$$MS_C = \frac{SS_C}{V_C}$$

$$MS_D = \frac{SS_D}{V_D}$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{V_E}$$

$$F_{hit.A} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{hit.B} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_{hit.C} = \frac{MS_C}{MS_E}$$

$$F_{hit.D} = \frac{MS_D}{MS_E}$$

Selanjutnya dapat dihitung besar kontribusi yang disumbang oleh setiap faktor terhadap respon. Perhitungan dilakukan dengan cara menghitung pure sum of square(SS’):

$$SS' = SS_i - (MS_e \times Df_i)$$

Untuk menghitung persentase kontribusi (%P) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\%P = \frac{SS' faktor}{SS_T} \times 100\%$$

Dari rumus- rumus di atas, didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

T	=	2296,69						
CF	=	195362,41						
SS _T	=	8392,09						
SS _A	=	2254,08	SS _B = 907,66	SS _C = 901,51	SS _D = 1287,49			
SS _E	=	3041,35						
MS _A	=	1127,04	MS _B = 453,83	MS _C = 450,76	MS _D = 643,74			
MS _E	=	168,96						
F _{hit,A}	=	6,67	F _{hit,B} = 2,69	F _{hit,C} = 2,67	F _{hit,D} = 3,81			
SS' _A	=	1916,16	SS' _B = 569,73	SS' _C = 563,58	SS' _D = 949,56			
%P _A	=	22,83%	%P _B = 6,79%	%P _C = 6,72%	%P _D = 11,31%			

Selanjutnya dibuat Analisis variansi kandungan tanin, seperti di tulis pada Tabel

4.7 berikut:

Tabel 4.7 Analisis Variansi Kandungan Tanin

Sumber variasi	derajat bebas	SS	MS	F Hitung	F Tabel	SS'	%P	Keterangan
Faktor A	2	2254,08	1127,04	6,67	3,55	1916,16	0,23	F hit > F tabel
Faktor B	2	907,66	453,83	2,69	3,55	569,73	0,07	F hit < F tabel
Faktor C	2	901,51	450,75	2,67	3,55	563,58	0,07	F hit < F tabel
Faktor D	2	1287,49	643,74	3,81	3,55	949,56	0,11	F hit > F tabel
Residual	18	3041,35	168,96				0,52	
Total	26	8392,09						

Berdasarkan Tabel 4. Di atas, terlihat bahwa faktor A dan D mempunyai Fhitung sebesar 6,67 dan 3,81 > Ftabel (3.55) sehingga Ho ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kandungan tanin. Sementara itu faktor B dan C mempunyai Fhitung sebesar 2,69 dan 2,67 < Ftabel (3,55) sehingga Ho diterima yang artinya tidak ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara faktor B dan C terhadap kandungan tanin. Dari tabel terlihat, faktor A memberikan persentase kontribusi lebih besar daripada faktor D.

2. ANOVA absorbansi

Perhitungan analisis variansi absorbansi dilakukan dengan rumus-rumus yang sama seperti perhitungan analisis variansi kandungan tanin. Hasil perhitungan diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{array}{l}
 T = 6,66 \\
 CF = 1,64 \\
 SS_T = 0,01 \\
 SS_A = 0,00092 \quad SS_B = 0,0034 \quad SS_C = 0,0012 \quad SS_D = 0,0018 \\
 SS_E = 0,0024 \\
 MS_A = 0,00046 \quad MS_B = 0,0017 \quad MS_C = 0,00059 \quad MS_D = 0,00088 \\
 MS_E = 0,00013 \\
 F_{hit,A} = 3,50 \quad F_{hit,B} = 12,85 \quad F_{hit,C} = 4,49 \quad F_{hit,D} = 6,73 \\
 SS'_A = 0,00065 \quad SS'_B = 0,0031 \quad SS'_C = 0,00091 \quad SS'_D = 0,0015 \\
 \%P_A = 6,83\% \quad \%P_B = 32,4\% \quad \%P_C = 9,5\% \quad \%P_D = 15,7\%
 \end{array}$$

Selanjutnya hasil perhitungan dituangkan dalam Tabel Analisis Variansi

Absorbansi sebagai berikut:

Tabel 4.8 Analisis Variansi Absorbansi

Sumber variasi	derajat bebas	SS	MS	F Hitung	F Tabel	SS'	%P	Keterangan
Faktor A	2	0,0009	0,0005	3,50	3,55	0,0007	6,8%	F hit < F tabel
Faktor B	2	0,0034	0,0017	12,85	3,55	0,0031	32,4%	F hit > F tabel

Faktor C	2	0,0012	0,0006	4,49	3,55	0,0009	9,5%	F hit > F tabel
Faktor D	2	0,0018	0,0009	6,73	3,55	0,0015	15,7%	F hit > F tabel
Residual	18	0,0024	0,0001				35,6%	
Total	26	0,0096						

Berdasarkan tabel analisis variansi absorbansi di atas, diketahui bahwa faktor A mempunyai Fhitung $3,50 < F_{tabel} (3,55)$ maka H_0 diterima. Dapat dikatakan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan antara faktor A terhadap absorbansi. Sementara untuk faktor B, C dan D mempunyai Fhitung masing masing 12,85, 4,49 dan 6,73 $> F_{tabel} (3,55)$ maka H_0 ditolak. Dapat dikatakan bahwa ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara faktor B, C dan D terhadap absorbansi. Faktor yang memberikan kontribusi paling besar adalah faktor B yaitu kontribusi senilai 32,4%.

d. Signal to Noise Ratio (SNR)

1. Nilai SNR kandungan Tanin

Nilai SNR yang paling besar digunakan untuk menentukan level faktor optimum. perhitungan SNR didasarkan pada fungsi objektif Larger the Better (LTB) yang dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S/N_{ltb} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

Hasil dari perhitungan menggunakan rumus di atas, ditampilkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Nilai SNR kandungan tanin

Percobaan ke -	Faktor Kendali				Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	SNR
	A	B	C	D				
1	1	1	1	1	59,91	75,07	74,29	36,73
2	1	2	2	2	58,05	83,05	80,79	37,03
3	1	3	3	3	68,65	91,28	85,93	38,07
4	2	1	2	3	74,77	101,65	93,98	38,87

5	2	2	3	1	60,21	87,57	86,28	37,44
6	2	3	1	2	70,21	93,04	76,83	37,89
7	3	1	3	2	119,02	120,58	119,58	41,56
8	3	2	1	3	78,07	102,35	100,05	39,22
9	3	3	2	1	59,54	78,02	97,92	37,36

2. Nilai SNR absorbansi

Hasil perhitungan SNR absorbansi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 10 Nilai SNR absorbansi

Percobaan ke -	Faktor Kendali				Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	SNR
	A	B	C	D				
1	1	1	1	1	0,19	0,21	0,22	-13,67
2	1	2	2	2	0,26	0,24	0,23	-12,24
3	1	3	3	3	0,27	0,26	0,27	-11,49
4	2	1	2	3	0,23	0,26	0,26	-12,17
5	2	2	3	1	0,27	0,26	0,26	-11,62
6	2	3	1	2	0,25	0,25	0,26	-11,97
7	3	1	3	2	0,22	0,25	0,24	-12,56
8	3	2	1	3	0,26	0,25	0,27	-11,79
9	3	3	2	1	0,24	0,24	0,25	-12,27

e. Efek tiap Faktor

Pengaruh masing-masing faktor dilakukan perhitungan dengan tujuan untuk mengetahui rumusan yang akan menghasilkan kombinasi tingkat faktor terbaik untuk setiap variabel respon.

1. Kandungan tanin

Perhitungan efek tiap faktor

Perhitungan pengaruh masing-masing faktor terhadap variabel respon kandungan tanin disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.11 Pengaruh tiap faktor kandungan tanin

Level	Faktor Kendali			
	A	B	C	D
Level 1	37,28	39,05	37,94	37,18

Level 2	38,07	37,89	37,75	38,83
Level 3	39,38	37,77	39,03	38,72
Maksimum	39,38	39,05	39,03	38,83
Minimum	37,28	37,77	37,75	37,18
Selisih	2,10	1,28	1,27	1,65
Rank	1	3	4	2
Optimal	A3	B1	C3	D2

Dari perhitungan statistik anova, diketahui bahwa faktor B dan C tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan tanin, maka kombinasi level faktor terbaik adalah A3, B1, C1, dan D2.

2. Absorbansi

Perhitungan pengaruh masing-masing faktor terhadap variabel respon kandungan tanin disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.12 Efek tiap faktor absorbansi

Level	Faktor Kendali			
	A	B	C	D
Level 1	-12,46	-12,80	-12,48	-12,52
Level 2	-11,92	-11,88	-12,23	-12,26
Level 3	-12,21	-11,91	-11,89	-11,81
Maksimum	-11,92	-11,88	-11,89	-11,81
Minimum	-12,46	-12,80	-12,48	-12,52
Selisih	0,54	0,91	0,59	0,71
Rank	4	1	3	2
Optimal	A2	B2	C3	D3

Dari perhitungan statistik anova, diketahui bahwa faktor A tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan tanin, maka kombinasi level faktor terbaik adalah A1, B2, C3, dan D3. Dilihat pada hasil perhitungan, kombinasi level yang optimal untuk setiap variabel respon tidak sama, sehingga perlu dilakukan analisis multi respon. Setiap faktor diperlukan analisis terhadap 81 kombinasi alternatif seperti ditunjukkan pada Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.13 1/9 FFE (Fractional Factorial Experiment)

		A1			A2			A3		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
C1	D1									
	D2									
	D3									
C2	D1									
	D2									
	D3									
C3	D1									
	D2									
	D3									

f. Prediksi Nilai variabel Respon

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.1 dan tabel 1/9 FFE pada tabel 4.13 maka dengan menggunakan metode regresi linear berganda, dapat dibuat tabel model regresi linear berganda kandungan tanin sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Model Regresi Linear Berganda Kandungan Tanin

Replikasi Ke	Model Regresi
1	$Y = 39,97 + 11,67A - 9,22B + 6,62C + 6,97D$
2	$Y = 59,12 + 8,59A - 5,83B + 4,83C + 9,1D$
3	$Y = 53,47 + 12,76A - 4,53B + 6,77C + 3,58D$

Berdasarkan tabel 4.13 (Tabel FFE) disusunlah urutan penomoran untuk percobaan sebagai berikut:

Tabel 4.15 Penomoran percobaan 1/9 FFE

		A1			A2			A3		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
C1	D1	1	10	19	28	37	46	55	64	73
	D2	2	11	20	29	38	47	56	65	74
	D3	3	12	21	30	39	48	57	66	75
C2	D1	4	13	22	31	40	49	58	67	76
	D2	5	14	23	32	41	50	59	68	77
	D3	6	15	24	33	42	51	60	69	78

C3	D1	7	16	25	34	43	52	61	70	79
	D2	8	17	26	35	44	53	62	71	80
	D3	9	18	27	36	45	54	63	72	81

Sesuai dengan model regresi linear berganda pada tabel 4.14 dan tabel penomoran percobaan 1/9 FFE, prediksi kandungan tanin disusun pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.16 Hasil Prediksi Kandungan Tanin (mg/L)

Nomor	A	B	C	D	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
1	1	1	1	1	56,01	75,82	72,05
2	1	1	1	2	62,98	84,92	75,63
3	1	1	1	3	69,95	94,02	79,21
4	1	1	2	1	62,62	80,64	78,82
5	1	1	2	2	69,59	89,75	82,40
6	1	1	2	3	76,57	98,85	85,98
7	1	1	3	1	69,24	85,47	85,59
8	1	1	3	2	76,21	94,58	89,17
9	1	1	3	3	83,18	103,68	92,75
10	1	2	1	1	46,79	69,99	67,52
11	1	2	1	2	53,76	79,09	71,10
12	1	2	1	3	60,73	88,20	74,68
13	1	2	2	1	53,41	74,82	74,29
14	1	2	2	2	60,38	83,92	77,87
15	1	2	2	3	67,35	93,02	81,45
16	1	2	3	1	60,02	79,65	81,06
17	1	2	3	2	66,99	88,75	84,64
18	1	2	3	3	73,96	97,85	88,22
19	1	3	1	1	37,57	64,16	62,99
20	1	3	1	2	44,55	73,27	66,57
21	1	3	1	3	51,52	82,37	70,15
22	1	3	2	1	44,19	68,99	69,76
23	1	3	2	2	51,16	78,09	73,34
24	1	3	2	3	58,13	87,20	76,92
25	1	3	3	1	50,80	73,82	76,53
26	1	3	3	2	57,78	82,92	80,11
27	1	3	3	3	64,75	92,03	83,69
28	2	1	1	1	67,68	84,41	84,81
29	2	1	1	2	74,65	93,51	88,39

30	2	1	1	3	81,62	102,61	91,96
31	2	1	2	1	74,29	89,24	91,58
32	2	1	2	2	81,26	98,34	95,16
33	2	1	2	3	88,24	107,44	98,73
34	2	1	3	1	80,91	94,06	98,35
35	2	1	3	2	87,88	103,17	101,93
36	2	1	3	3	94,85	112,27	105,50
37	2	2	1	1	58,46	78,58	80,28
38	2	2	1	2	65,43	87,68	83,86
39	2	2	1	3	72,40	96,79	87,44
40	2	2	2	1	65,08	83,41	87,05
41	2	2	2	2	72,05	92,51	90,63
42	2	2	2	3	79,02	101,62	94,21
43	2	2	3	1	71,69	88,24	93,82
44	2	2	3	2	78,66	97,34	97,40
45	2	2	3	3	85,63	106,44	100,98
46	2	3	1	1	49,24	72,75	75,75
47	2	3	1	2	56,22	81,86	79,33
48	2	3	1	3	63,19	90,96	82,91
49	2	3	2	1	55,86	77,58	82,52
50	2	3	2	2	62,83	86,69	86,10
51	2	3	2	3	69,80	95,79	89,68
52	2	3	3	1	62,47	82,41	89,29
53	2	3	3	2	69,45	91,51	92,87
54	2	3	3	3	76,42	100,62	96,45
55	3	1	1	1	79,35	93,00	97,56
56	3	1	1	2	86,32	102,10	101,14
57	3	1	1	3	93,29	111,21	104,72
58	3	1	2	1	85,96	97,83	104,33
59	3	1	2	2	92,93	106,93	107,91
60	3	1	2	3	99,91	116,03	111,49
61	3	1	3	1	92,58	102,66	111,10
62	3	1	3	2	99,55	111,76	114,68
63	3	1	3	3	106,52	120,86	118,26
64	3	2	1	1	70,13	87,17	93,04
65	3	2	1	2	77,10	96,28	96,61
66	3	2	1	3	84,07	105,38	100,19
67	3	2	2	1	76,75	92,00	99,81
68	3	2	2	2	83,72	101,10	103,38
69	3	2	2	3	90,69	110,21	106,96
70	3	2	3	1	83,36	96,83	106,58
71	3	2	3	2	90,33	105,93	110,15

72	3	2	3	3	97,30	115,04	113,73
73	3	3	1	1	60,91	81,35	88,51
74	3	3	1	2	67,89	90,45	92,09
75	3	3	1	3	74,86	99,55	95,66
76	3	3	2	1	67,53	86,17	95,28
77	3	3	2	2	74,50	95,28	98,86
78	3	3	2	3	81,47	104,38	102,43
79	3	3	3	1	74,14	91,00	102,05
80	3	3	3	2	81,12	100,11	105,63
81	3	3	3	3	88,09	109,21	109,20

Sedangkan berdasarkan data pengujian absorbansi seperti pada tabel 4.2, diperoleh persamaan sebagai berikut:

Tabel 4.17 Model Refresi linear berganda absorbansi

Replikasi Ke	Model Regresi
1	$Y = 0,17 + 0,0005A + 0,02B + 0,009C + 0,0087D$
2	$Y = 0,195 + 0,004A + 0,003B + 0,0095C + 0,0088D$
3	$Y = 0,18 + 0,004A + 0,01B + 0,005C + 0,01D$

Hasil prediksi absorbansi disusun berdasarkan pada tabel model regresi linear, dengan menggunakan penomoran prediksi pada tabel Tabel 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Hasil Prediksi Absorbansi (AU)

	A	B	C	D	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3
1	1	1	1	1	0,20	0,22	0,22
2	1	1	1	2	0,21	0,23	0,23
3	1	1	1	3	0,22	0,24	0,24
4	1	1	2	1	0,21	0,23	0,22
5	1	1	2	2	0,22	0,24	0,23
6	1	1	2	3	0,23	0,25	0,25
7	1	1	3	1	0,22	0,24	0,23
8	1	1	3	2	0,23	0,25	0,24
9	1	1	3	3	0,24	0,26	0,25
10	1	2	1	1	0,22	0,22	0,23

11	1	2	1	2	0,23	0,23	0,24
12	1	2	1	3	0,24	0,24	0,25
13	1	2	2	1	0,23	0,23	0,23
14	1	2	2	2	0,24	0,24	0,25
15	1	2	2	3	0,25	0,25	0,26
16	1	2	3	1	0,24	0,24	0,24
17	1	2	3	2	0,25	0,25	0,25
18	1	2	3	3	0,26	0,26	0,26
19	1	3	1	1	0,24	0,23	0,24
20	1	3	1	2	0,25	0,24	0,25
21	1	3	1	3	0,26	0,24	0,26
22	1	3	2	1	0,25	0,24	0,25
23	1	3	2	2	0,26	0,25	0,26
24	1	3	2	3	0,27	0,25	0,27
25	1	3	3	1	0,26	0,25	0,25
26	1	3	3	2	0,27	0,26	0,26
27	1	3	3	3	0,28	0,26	0,27
28	2	1	1	1	0,20	0,23	0,22
29	2	1	1	2	0,21	0,23	0,23
30	2	1	1	3	0,22	0,24	0,25
31	2	1	2	1	0,21	0,23	0,23
32	2	1	2	2	0,22	0,24	0,24
33	2	1	2	3	0,23	0,25	0,25
34	2	1	3	1	0,22	0,24	0,23
35	2	1	3	2	0,23	0,25	0,24
36	2	1	3	3	0,24	0,26	0,26
37	2	2	1	1	0,22	0,23	0,23
38	2	2	1	2	0,23	0,24	0,25
39	2	2	1	3	0,24	0,25	0,26
40	2	2	2	1	0,23	0,24	0,24
41	2	2	2	2	0,24	0,25	0,25
42	2	2	2	3	0,25	0,26	0,26
43	2	2	3	1	0,24	0,25	0,24
44	2	2	3	2	0,25	0,26	0,26
45	2	2	3	3	0,26	0,27	0,27
46	2	3	1	1	0,24	0,23	0,25
47	2	3	1	2	0,25	0,24	0,26
48	2	3	1	3	0,26	0,25	0,27
49	2	3	2	1	0,25	0,24	0,25
50	2	3	2	2	0,26	0,25	0,26
51	2	3	2	3	0,27	0,26	0,27
52	2	3	3	1	0,26	0,25	0,26

53	2	3	3	2	0,27	0,26	0,27
54	2	3	3	3	0,28	0,27	0,28
55	3	1	1	1	0,21	0,23	0,23
56	3	1	1	2	0,21	0,24	0,24
57	3	1	1	3	0,22	0,25	0,25
58	3	1	2	1	0,21	0,24	0,23
59	3	1	2	2	0,22	0,25	0,24
60	3	1	2	3	0,23	0,26	0,25
61	3	1	3	1	0,22	0,25	0,24
62	3	1	3	2	0,23	0,26	0,25
63	3	1	3	3	0,24	0,27	0,26
64	3	2	1	1	0,23	0,23	0,24
65	3	2	1	2	0,23	0,24	0,25
66	3	2	1	3	0,24	0,25	0,26
67	3	2	2	1	0,23	0,24	0,24
68	3	2	2	2	0,24	0,25	0,25
69	3	2	2	3	0,25	0,26	0,27
70	3	2	3	1	0,24	0,25	0,25
71	3	2	3	2	0,25	0,26	0,26
72	3	2	3	3	0,26	0,27	0,27
73	3	3	1	1	0,25	0,24	0,25
74	3	3	1	2	0,25	0,24	0,26
75	3	3	1	3	0,26	0,25	0,27
76	3	3	2	1	0,25	0,25	0,25
77	3	3	2	2	0,26	0,25	0,27
78	3	3	2	3	0,27	0,26	0,28
79	3	3	3	1	0,26	0,25	0,26
80	3	3	3	2	0,27	0,26	0,27
81	3	3	3	3	0,28	0,27	0,28

g. Penentuan Level Faktor Kondisi Optimal Menggunakan MRSN

Disebabkan hasil optimal dari pengujian kandungan tanin dan absorbansi yang level faktornya tidak sama, maka diperlukan analisis taguchi multi respon untuk mendapatkan kondisi yang optimal. Dalam penelitian ini digunakan Multi Respon Signal to Noise Ratio (MRSN) yang merupakan penyelesaian beberapa tahap sebagai berikut :

1. Menentukan quality loss (L_{ij}) untuk setiap percobaan

Biaya yang diperlukan untuk meningkatkan kandungan tanin dan absorbansi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.19 Kondisi awal UKM

A3	: berat biji pinang 100 gr	: Rp 4.000
B3	: Volume air 1000 mL	: Rp 3,45
C3	: Suhu Air 100 C	: Rp 126,19
D2	: Lama waktu Ekstraksi 60 menit	: Rp 473,20
	total biaya	: Rp 4.602,84

Untuk meningkatkan nilai kandungan tanin menggunakan seting kombinasi level faktor optimal, sebagai berikut:

Tabel 4.20 Kondisi Level Optimal Kandungan Tanin

A3	:berat biji pinang 100 gr	: Rp 4.000
B1	: Volume air 750 mL	: Rp 2,59
C3	: Suhu Air 90 C	: Rp 94,64
D3	: Lama waktu Ekstraksi 90 menit	: Rp 709,80
	Total biaya	: Rp 4.807,03

Sedangkan untuk mendapatkan absorbansi optimal menggunakan seting level kombinasi level faktor sebagai berikut:

4.21 Kondisi Level Optimal Absorbansi

A3	:berat biji pinang 100 gr	: Rp 4.000
B3	: Volume air 1000 mL	: Rp 3,02
C3	: Suhu Air 100 C	: Rp 126,19
D3	: Lama waktu Ekstraksi 90 menit	: Rp 709,80
	Total biaya	: Rp 4,839.01

Perajin batik lebih memprioritaskan variabel respon kandungan tanin daripada absorbansi. Sehingga mengacu pada *Linguistic Terms Used in the study*, didapatkan hasil konversi dalam bilangan *fuzzy* sebagai berikut :

Respon Kandungan tanin : 0,750

Respon Absorbansi: 0,583

Maka bobot setiap variabel respon dihitung sebagai berikut:

$$\text{kandungan tanin} = \frac{0,750}{0,750 + 0,583} = 0,563$$

$$w_i = 0,563$$

$$\text{Absorbansi} = \frac{0,583}{0,750 + 0,583} = 0,437$$

$$w_j = 0,437$$

a. variabel respon kandungan tanin

Kondisi awal UKM, kandungan tanin: 95,62

Tabel 4.22 Quality Loss Kandungan Tanin

Nomor	A	B	C	D	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	Lij	Cij	w x Cij
1	1	1	1	1	56,01	75,82	72,05	0,00012	0,57	0,32
2	1	1	1	2	62,98	84,92	75,63	0,00010	0,47	0,26
3	1	1	1	3	69,95	94,02	79,21	0,00008	0,40	0,22
4	1	1	2	1	62,62	80,64	78,82	0,00010	0,47	0,27
5	1	1	2	2	69,59	89,75	82,40	0,00008	0,40	0,22
6	1	1	2	3	76,57	98,85	85,98	0,00007	0,34	0,19
7	1	1	3	1	69,24	85,47	85,59	0,00009	0,40	0,23
8	1	1	3	2	76,21	94,58	89,17	0,00007	0,34	0,19
9	1	1	3	3	83,18	103,68	92,75	0,00006	0,29	0,17
10	1	2	1	1	46,79	69,99	67,52	0,00016	0,73	0,41
11	1	2	1	2	53,76	79,09	71,10	0,00012	0,58	0,33
12	1	2	1	3	60,73	88,20	74,68	0,00010	0,48	0,27
13	1	2	2	1	53,41	74,82	74,29	0,00013	0,59	0,33
14	1	2	2	2	60,38	83,92	77,87	0,00010	0,48	0,27
15	1	2	2	3	67,35	93,02	81,45	0,00009	0,40	0,23
16	1	2	3	1	60,02	79,65	81,06	0,00010	0,49	0,27
17	1	2	3	2	66,99	88,75	84,64	0,00009	0,41	0,23
18	1	2	3	3	73,96	97,85	88,22	0,00007	0,35	0,19
19	1	3	1	1	37,57	64,16	62,99	0,00021	1,00	0,56
20	1	3	1	2	44,55	73,27	66,57	0,00016	0,76	0,43
21	1	3	1	3	51,52	82,37	70,15	0,00013	0,60	0,34
22	1	3	2	1	44,19	68,99	69,76	0,00016	0,77	0,43
23	1	3	2	2	51,16	78,09	73,34	0,00013	0,61	0,34
24	1	3	2	3	58,13	87,20	76,92	0,00011	0,50	0,28
25	1	3	3	1	50,80	73,82	76,53	0,00013	0,62	0,35
26	1	3	3	2	57,78	82,92	80,11	0,00011	0,50	0,28
27	1	3	3	3	64,75	92,03	83,69	0,00009	0,42	0,23
28	2	1	1	1	67,68	84,41	84,81	0,00009	0,41	0,23
29	2	1	1	2	74,65	93,51	88,39	0,00007	0,35	0,20

30	2	1	1	3	81,62	102,61	91,96	0,00006	0,30	0,17
31	2	1	2	1	74,29	89,24	91,58	0,00008	0,35	0,20
32	2	1	2	2	81,26	98,34	95,16	0,00006	0,30	0,17
33	2	1	2	3	88,24	107,44	98,73	0,00006	0,26	0,15
34	2	1	3	1	80,91	94,06	98,35	0,00007	0,31	0,17
35	2	1	3	2	87,88	103,17	101,93	0,00006	0,27	0,15
36	2	1	3	3	94,85	112,27	105,50	0,00005	0,23	0,13
37	2	2	1	1	58,46	78,58	80,28	0,00011	0,51	0,29
38	2	2	1	2	65,43	87,68	83,86	0,00009	0,42	0,24
39	2	2	1	3	72,40	96,79	87,44	0,00008	0,36	0,20
40	2	2	2	1	65,08	83,41	87,05	0,00009	0,43	0,24
41	2	2	2	2	72,05	92,51	90,63	0,00008	0,36	0,20
42	2	2	2	3	79,02	101,62	94,21	0,00007	0,31	0,17
43	2	2	3	1	71,69	88,24	93,82	0,00008	0,36	0,20
44	2	2	3	2	78,66	97,34	97,40	0,00007	0,31	0,17
45	2	2	3	3	85,63	106,44	100,98	0,00006	0,27	0,15
46	2	3	1	1	49,24	72,75	75,75	0,00014	0,64	0,36
47	2	3	1	2	56,22	81,86	79,33	0,00011	0,52	0,29
48	2	3	1	3	63,19	90,96	82,91	0,00009	0,43	0,24
49	2	3	2	1	55,86	77,58	82,52	0,00011	0,53	0,30
50	2	3	2	2	62,83	86,69	86,10	0,00009	0,43	0,24
51	2	3	2	3	69,80	95,79	89,68	0,00008	0,36	0,21
52	2	3	3	1	62,47	82,41	89,29	0,00009	0,44	0,25
53	2	3	3	2	69,45	91,51	92,87	0,00008	0,37	0,21
54	2	3	3	3	76,42	100,62	96,45	0,00007	0,31	0,18
55	3	1	1	1	79,35	93,00	97,56	0,00007	0,32	0,18
56	3	1	1	2	86,32	102,10	101,14	0,00006	0,27	0,15
57	3	1	1	3	93,29	111,21	104,72	0,00005	0,24	0,13
58	3	1	2	1	85,96	97,83	104,33	0,00006	0,28	0,16
59	3	1	2	2	92,93	106,93	107,91	0,00005	0,24	0,14
60	3	1	2	3	99,91	116,03	111,49	0,00005	0,21	0,12
61	3	1	3	1	92,58	102,66	111,10	0,00005	0,24	0,14
62	3	1	3	2	99,55	111,76	114,68	0,00005	0,21	0,12
63	3	1	3	3	106,52	120,86	118,26	0,00004	0,19	0,11
64	3	2	1	1	70,13	87,17	93,04	0,00008	0,37	0,21
65	3	2	1	2	77,10	96,28	96,61	0,00007	0,32	0,18
66	3	2	1	3	84,07	105,38	100,19	0,00006	0,28	0,15
67	3	2	2	1	76,75	92,00	99,81	0,00007	0,32	0,18
68	3	2	2	2	83,72	101,10	103,38	0,00006	0,28	0,16
69	3	2	2	3	90,69	110,21	106,96	0,00005	0,24	0,14
70	3	2	3	1	83,36	96,83	106,58	0,00006	0,28	0,16
71	3	2	3	2	90,33	105,93	110,15	0,00005	0,24	0,14
72	3	2	3	3	97,30	115,04	113,73	0,00005	0,21	0,12

73	3	3	1	1	60,91	81,35	88,51	0,00010	0,46	0,26
74	3	3	1	2	67,89	90,45	92,09	0,00008	0,38	0,21
75	3	3	1	3	74,86	99,55	95,66	0,00007	0,32	0,18
76	3	3	2	1	67,53	86,17	95,28	0,00008	0,39	0,22
77	3	3	2	2	74,50	95,28	98,86	0,00007	0,33	0,18
78	3	3	2	3	81,47	104,38	102,43	0,00006	0,28	0,16
79	3	3	3	1	74,14	91,00	102,05	0,00007	0,33	0,19
80	3	3	3	2	81,12	100,11	105,63	0,00006	0,28	0,16
81	3	3	3	3	88,09	109,21	109,20	0,00005	0,25	0,14

Contoh perhitungan:

Selisih nilai = kombinasi level faktor optimal – kondisi awal perusahaan

$$\begin{aligned} \text{selisih nilai} &= \frac{106,52+120,86+118,26}{3} - 95,62 \\ &= 19,60 \\ k &= \frac{204,19}{19,60^2} = 0,53 \end{aligned}$$

Karakteristik kualitas dari kandungan tanin dan absorbansi adalah

Larger the better (LTB)

$$L_{ij} = k \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y^2_{ijk}}$$

Dimana:

y_{ijk} = data untuk respon ke-I, percobaan ke-j, pengulangan ke-k;

n_i = pengulangan untuk respon ke-i;

k = koefisien dari *quality loss*

$$L_{ij} = 0,53 \times \frac{1}{3} \times \left(\frac{1}{56,01^2} + \frac{1}{75,82^2} + \frac{1}{72,05^2} \right) = 0,00012$$

$$w \times C_{ij} = 0,56 \times 0,57 = 0,32$$

b. variabel respon absorbansi

Kondisi awal UKM, absorbansi : 0,27

Tabel 4.23 Quality Loss Absorbansi

Nomor	A	B	C	D	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3	Lij	Cij	w x Cij
1	1	1	1	1	0,20	0,22	0,22	54599547,52	1,00	0,44
2	1	1	1	2	0,21	0,23	0,23	49978611,46	0,92	0,40
3	1	1	1	3	0,22	0,24	0,24	45927815,26	0,84	0,37
4	1	1	2	1	0,21	0,23	0,22	50709243,36	0,93	0,41

5	1	1	2	2	0,22	0,24	0,23	46549914,42	0,85	0,37
6	1	1	2	3	0,23	0,25	0,25	42889716,87	0,79	0,34
7	1	1	3	1	0,22	0,24	0,23	47243418,41	0,87	0,38
8	1	1	3	2	0,23	0,25	0,24	43482336,60	0,80	0,35
9	1	1	3	3	0,24	0,26	0,25	40160864,70	0,74	0,32
10	1	2	1	1	0,22	0,22	0,23	48974604,97	0,90	0,39
11	1	2	1	2	0,23	0,23	0,24	45036067,23	0,82	0,36
12	1	2	1	3	0,24	0,24	0,25	41560336,16	0,76	0,33
13	1	2	2	1	0,23	0,23	0,23	45666210,15	0,84	0,37
14	1	2	2	2	0,24	0,24	0,25	42101009,89	0,77	0,34
15	1	2	2	3	0,25	0,25	0,26	38943887,36	0,71	0,31
16	1	2	3	1	0,24	0,24	0,24	42700461,04	0,78	0,34
17	1	2	3	2	0,25	0,25	0,25	39459918,78	0,72	0,32
18	1	2	3	3	0,26	0,26	0,26	36581140,20	0,67	0,29
19	1	3	1	1	0,24	0,23	0,24	44418031,67	0,81	0,36
20	1	3	1	2	0,25	0,24	0,25	41001025,28	0,75	0,33
21	1	3	1	3	0,26	0,24	0,26	37968999,93	0,70	0,30
22	1	3	2	1	0,25	0,24	0,25	41546015,51	0,76	0,33
23	1	3	2	2	0,26	0,25	0,26	38439943,82	0,70	0,31
24	1	3	2	3	0,27	0,25	0,27	35675030,47	0,65	0,29
25	1	3	3	1	0,26	0,25	0,25	38959734,77	0,71	0,31
26	1	3	3	2	0,27	0,26	0,26	36125536,92	0,66	0,29
27	1	3	3	3	0,28	0,26	0,27	33595184,62	0,62	0,27
28	2	1	1	1	0,20	0,23	0,22	53173392,70	0,97	0,43
29	2	1	1	2	0,21	0,23	0,23	48732854,01	0,89	0,39
30	2	1	1	3	0,22	0,24	0,25	44832813,87	0,82	0,36
31	2	1	2	1	0,21	0,23	0,23	49417409,75	0,91	0,40
32	2	1	2	2	0,22	0,24	0,24	45417403,21	0,83	0,36
33	2	1	2	3	0,23	0,25	0,25	41890924,31	0,77	0,34
34	2	1	3	1	0,22	0,24	0,23	46068410,21	0,84	0,37
35	2	1	3	2	0,23	0,25	0,24	42448788,18	0,78	0,34
36	2	1	3	3	0,24	0,26	0,26	39246518,33	0,72	0,31
37	2	2	1	1	0,22	0,23	0,23	47696684,85	0,87	0,38
38	2	2	1	2	0,23	0,24	0,25	43913376,25	0,80	0,35
39	2	2	1	3	0,24	0,25	0,26	40568409,07	0,74	0,32
40	2	2	2	1	0,23	0,24	0,24	44506312,09	0,82	0,36
41	2	2	2	2	0,24	0,25	0,25	41078502,63	0,75	0,33
42	2	2	2	3	0,25	0,26	0,26	38037592,22	0,70	0,30
43	2	2	3	1	0,24	0,25	0,24	41643447,44	0,76	0,33
44	2	2	3	2	0,25	0,26	0,26	38525144,47	0,71	0,31
45	2	2	3	3	0,26	0,27	0,27	35750154,95	0,65	0,29
46	2	3	1	1	0,24	0,23	0,25	43261897,85	0,79	0,35
47	2	3	1	2	0,25	0,24	0,26	39980344,36	0,73	0,32

48	2	3	1	3	0,26	0,25	0,27	37063203,12	0,68	0,30
49	2	3	2	1	0,25	0,24	0,25	40495072,38	0,74	0,32
50	2	3	2	2	0,26	0,25	0,26	37509055,62	0,69	0,30
51	2	3	2	3	0,27	0,26	0,27	34846371,88	0,64	0,28
52	2	3	3	1	0,26	0,25	0,26	38000629,02	0,70	0,30
53	2	3	3	2	0,27	0,26	0,27	35273393,58	0,65	0,28
54	2	3	3	3	0,28	0,27	0,28	32834456,72	0,60	0,26
55	3	1	1	1	0,21	0,23	0,23	51822993,41	0,95	0,42
56	3	1	1	2	0,21	0,24	0,24	47550395,10	0,87	0,38
57	3	1	1	3	0,22	0,25	0,25	43791150,31	0,80	0,35
58	3	1	2	1	0,21	0,24	0,23	48192270,85	0,88	0,39
59	3	1	2	2	0,22	0,25	0,24	44340864,61	0,81	0,36
60	3	1	2	3	0,23	0,26	0,25	40939488,71	0,75	0,33
61	3	1	3	1	0,22	0,25	0,24	44952441,46	0,82	0,36
62	3	1	3	2	0,23	0,26	0,25	41464989,67	0,76	0,33
63	3	1	3	3	0,24	0,27	0,26	38374423,18	0,70	0,31
64	3	2	1	1	0,23	0,23	0,24	46485168,49	0,85	0,37
65	3	2	1	2	0,23	0,24	0,25	42846598,03	0,78	0,34
66	3	2	1	3	0,24	0,25	0,26	39623920,36	0,73	0,32
67	3	2	2	1	0,23	0,24	0,24	43404926,17	0,79	0,35
68	3	2	2	2	0,24	0,25	0,25	40105473,48	0,73	0,32
69	3	2	2	3	0,25	0,26	0,27	37173442,87	0,68	0,30
70	3	2	3	1	0,24	0,25	0,25	40638276,85	0,74	0,33
71	3	2	3	2	0,25	0,26	0,26	37634381,43	0,69	0,30
72	3	2	3	3	0,26	0,27	0,27	34956796,46	0,64	0,28
73	3	3	1	1	0,25	0,24	0,25	42164610,31	0,77	0,34
74	3	3	1	2	0,25	0,24	0,26	39009539,40	0,71	0,31
75	3	3	1	3	0,26	0,25	0,27	36199973,15	0,66	0,29
76	3	3	2	1	0,25	0,25	0,25	39496011,81	0,72	0,32
77	3	3	2	2	0,26	0,25	0,27	36622325,40	0,67	0,29
78	3	3	2	3	0,27	0,26	0,28	34055547,54	0,62	0,27
79	3	3	3	1	0,26	0,25	0,26	37087520,39	0,68	0,30
80	3	3	3	2	0,27	0,26	0,27	34460549,83	0,63	0,28
81	3	3	3	3	0,28	0,27	0,28	32107521,76	0,59	0,26

- Menentukan total normalized quality loss (TNQL) dan MRSN ratio setiap eksperimen

Tabel Perhitungan MRSN

Perhitungan nilai MRSN ditampilkan dalam tabel 4.24 sebagai berikut:

Tabel 4.24 Nilai MRSN

Nomor	A	B	C	D	TNQLj	MRSN
1	1	1	1	1	0,76	0,12
2	1	1	1	2	0,66	0,18
3	1	1	1	3	0,59	0,23
4	1	1	2	1	0,67	0,17
5	1	1	2	2	0,60	0,22
6	1	1	2	3	0,53	0,27
7	1	1	3	1	0,60	0,22
8	1	1	3	2	0,54	0,27
9	1	1	3	3	0,49	0,31
10	1	2	1	1	0,80	0,09
11	1	2	1	2	0,69	0,16
12	1	2	1	3	0,60	0,22
13	1	2	2	1	0,70	0,16
14	1	2	2	2	0,61	0,22
15	1	2	2	3	0,54	0,27
16	1	2	3	1	0,62	0,21
17	1	2	3	2	0,54	0,26
18	1	2	3	3	0,49	0,31
19	1	3	1	1	0,92	0,04
20	1	3	1	2	0,76	0,12
21	1	3	1	3	0,64	0,19
22	1	3	2	1	0,77	0,12
23	1	3	2	2	0,65	0,19
24	1	3	2	3	0,56	0,25
25	1	3	3	1	0,66	0,18
26	1	3	3	2	0,57	0,24
27	1	3	3	3	0,50	0,30
28	2	1	1	1	0,66	0,18
29	2	1	1	2	0,59	0,23
30	2	1	1	3	0,53	0,28
31	2	1	2	1	0,60	0,23
32	2	1	2	2	0,53	0,27
33	2	1	2	3	0,48	0,32
34	2	1	3	1	0,54	0,27
35	2	1	3	2	0,49	0,31
36	2	1	3	3	0,45	0,35
37	2	2	1	1	0,67	0,18
38	2	2	1	2	0,59	0,23
39	2	2	1	3	0,53	0,28
40	2	2	2	1	0,60	0,22
41	2	2	2	2	0,53	0,28

42	2	2	2	3	0,48	0,32
43	2	2	3	1	0,54	0,27
44	2	2	3	2	0,48	0,32
45	2	2	3	3	0,44	0,36
46	2	3	1	1	0,71	0,15
47	2	3	1	2	0,61	0,21
48	2	3	1	3	0,54	0,27
49	2	3	2	1	0,62	0,21
50	2	3	2	2	0,54	0,26
51	2	3	2	3	0,48	0,31
52	2	3	3	1	0,55	0,26
53	2	3	3	2	0,49	0,31
54	2	3	3	3	0,44	0,36
55	3	1	1	1	0,59	0,23
56	3	1	1	2	0,53	0,27
57	3	1	1	3	0,48	0,31
58	3	1	2	1	0,54	0,27
59	3	1	2	2	0,49	0,31
60	3	1	2	3	0,45	0,35
61	3	1	3	1	0,50	0,30
62	3	1	3	2	0,45	0,34
63	3	1	3	3	0,41	0,38
64	3	2	1	1	0,58	0,23
65	3	2	1	2	0,52	0,28
66	3	2	1	3	0,47	0,33
67	3	2	2	1	0,53	0,28
68	3	2	2	2	0,48	0,32
69	3	2	2	3	0,43	0,36
70	3	2	3	1	0,48	0,32
71	3	2	3	2	0,44	0,36
72	3	2	3	3	0,40	0,40
73	3	3	1	1	0,59	0,23
74	3	3	1	2	0,53	0,28
75	3	3	1	3	0,47	0,33
76	3	3	2	1	0,53	0,27
77	3	3	2	2	0,48	0,32
78	3	3	2	3	0,43	0,37
79	3	3	3	1	0,48	0,32
80	3	3	3	2	0,44	0,36
81	3	3	3	3	0,40	0,40

Contoh perhitungan

$$TNQL_i = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij}$$

$$= 0,32 + 0,44 = 0,76$$

$$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j)$$

$$= -\log 0,76 = 0,12$$

3. Menentukan Kombinasi level faktor paling optimal
 Kombinasi level vaktor paling optimal, didasarkan pada nilai MRSN pada tabel , dicari nilai yang paling besar. Dari tabel, terlihat bahwa trial nomor 81 mempunyai nilai MRSN terbesar, yaitu dengan nilai level faktor optimal sebagai berikut:

- A3 : berat biji pinang 100 gr
- B3 : Volume air 1000 mL
- C3 : Suhu Air 100 C
- D3 : Lama waktu Ekstraksi 90 menit

BAB 5

PEMBAHASAN

Target dari pelaksanaan ekstraksi zat warna alam adalah menggunakan sumber daya yang minimal, namun dapat menghasilkan kuantitas yang maksimal. Metode taguchi digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui faktor- faktor yang memberikan pengaruh yang nyata. Dalam melakukan percobaan dimulai dari mengumpulkan bahan dan peralatan yang akan digunakan. Bahan berupa biji pinang diperoleh dari pedagang di pasar tradisional, yaitu Pasar Beringharjo. Pengujian kandungan tanin dan absorbansi dilakukan di laboratorium kimia Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta. Hasil pengujian kemudian dilakukan pengolahan data.

Data hasil pengujian kandungan tanin dan absorbansi kemudian diuji normalitas dan homogenitas untuk diketahui apakah data- data tersebut memenuhi persyaratan uji analisis varian. Pengujian normalitas kandungan tanin pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai D_n $0,19 < K_S$ tabel $0,26$ sehingga dapat dikatakan bahwa hasil percobaan kandungan tanin mempunyai distribusi normal. Sementara itu pengujian data absorbansi ditunjukkan pada tabel 4.4 mempunyai nilai D_n $0,11 < K_S$ tabel $0,26$ sehingga dapat dikatakan mempunyai distribusi normal. Selanjutnya dilakukan pengujian homogenitas. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah data berasal dari populasi yang keragamannya tidak berbeda jauh. Pengujian homogenitas metode Bartlett didapatkan nilai X^2 hitung $1,02 < X^2$ tabel $15,51$ maka data hasil eksperimen kandungan tanin disimpulkan

homogen. Selanjutnya pengujian absorbansi didapatkan nilai X^2 hitung $2,62 < X^2$ tabel 15,51 maka data hasil eksperimen absorbansi disimpulkan homogen.

Selesai dilakukan pengujian homogenitas, dilanjutkan dengan perhitungan anova. Perhitungan ini untuk melihat faktor mana yang memberikan pengaruh terhadap variabel respon. Berdasarkan tabel 4.7 didapatkan bahwa bahwa faktor A dan D mempunyai F_{hitung} sebesar 6,67 dan $3,81 > F_{tabel}$ (3,55) sehingga H_0 ditolak, artinya terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kandungan tanin. Sementara itu faktor B dan C mempunyai F_{hitung} sebesar 2,69 dan $2,67 < F_{tabel}$ (3,55) sehingga H_0 diterima yang artinya tidak ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara faktor B dan C terhadap kandungan tanin. Dari tabel analisis variansi Kandungan Tanin terlihat, faktor A memberikan persentase kontribusi sebesar 22,83%, lebih besar persentase distribusinya daripada faktor D yang hanya sebesar 11,31%. Sementara untuk tabel analisis Variansi Absorbansi terlihat bahwa faktor A mempunyai F_{hitung} $3,50 < F_{tabel}$ (3,55) maka H_0 diterima. Dapat dikatakan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan antara faktor A terhadap absorbansi. Sementara untuk faktor B,C dan D mempunyai F_{hitung} masing masing 12,85; 4,50 dan $6,73 > F_{tabel}$ (3,55) maka H_0 ditolak. Dapat dikatakan bahwa ada perbedaan pengaruh yang signifikan antara faktor B,C dan D terhadap absorbansi. Faktor yang memberikan kontribusi paling besar adalah faktor B yaitu kontribusi senilai 32,4%. Sedangkan faktor B memberikan kontribusi dengan nilai persentase sebesar 32,40%.

Nilai SNR percobaan kandungan tanin pada tabel diperoleh percobaan ke 7 mempunyai nilai tertinggi yaitu kombinasi A3-B1-C3-D2. Hal ini diduga

karena level faktor A3 yaitu berat biji pinang 100 gram dan suhu ekstraksi 100°C meningkatkan kandungan tanin. Sementara pada Tabel nilai SNR absorbansi terlihat, nilai tertinggi ada pada percobaan 8 yaitu kombinasi level faktor A3-B2-C2-D1.

Perhitungan efek tiap faktor pada variabel respon kandungan tanin terlihat pada tabel dengan hasil optimal yaitu kombinasi level faktor A3-B1-C1-D2. Sementara itu untuk absorbansi diperoleh hasil optimal dengan mengkombinasikan faktor A1-B2-C3-D3. Dikarenakan hasil efek tiap faktor yang berbeda antara kandungan tanin dan absorbansi, maka diperlukan perhitungan MRSN untuk menghitung nilai level faktor yang paling optimal.

Penelitian ini menggunakan matriks orthogonal $L_9(3^4)$, maka diperlukan 81 percobaan yang akan diprediksikan hasilnya menggunakan persamaan regresi linear berganda. Sebelum dilakukan tahapan perhitungan MRSN maka dibuat regresi linear berganda untuk meramalkan nilai yang belum diketahui dalam eksperimen. Pada hasil persamaan linear berganda diketahui nilai konstanta Y bernilai positif, sedangkan konstanta faktor B memiliki nilai negatif. Hal ini berarti penambahan volume pelarut dapat mengurangi kandungan tanin yang dihasilkan, sementara penambahan berat biji pinang, penambahan suhu ekstraksi, dan lamanya ekstraksi dapat menambah kandungan tanin yang dihasilkan.

Hasil model regresi linear berganda absorbansi, terlihat bahwa nilai konstanta Y mempunyai nilai positif untuk semua replikasi, dan semua konstanta

faktor juga bernilai positif. Artinya semua penambahan level faktor mempunyai pengaruh positif pada variabel respon absorbansi.

Hasil perhitungan nilai MRSN pada tabel diperoleh kombinasi level optimal yang menghasilkan respon optimal diperoleh pada percobaan nomor 81 dengan level faktor optimal sebagai berikut :

Tabel 5.1 Level Faktor Optimal

No	Faktor kendali	Kode	Level optimal
1	berat biji pinang	A3	100 gr
2	Volume air	B3	1000 mL
3	Suhu Air	C3	100 °C
4	Lama waktu Ekstraksi	D3	90 menit

Berdasarkan perhitungan prediksi kandungan tanin nilai tertinggi terletak pada trial ke 63 (115,21) namun untuk nilai absorbansinya masih rendah yaitu 0,26. sedangkan pada nilai prediksi absorbansi tertinggi pada trial ke 81 (0,28) namun untuk kandungan taninnya masih rendah (102,17). Level faktor optimal yang dipilih mampu menaikkan kandungan tanin dari kondisi awal sebesar 95,61 menjadi rata-rata 102,17 atau naik sebesar 6,55 dan meningkatkan absorbansi dari kondisi semula 0,27 menjadi 0,28 atau naik sebesar 0,0097

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dengan mempertimbangkan hasil analisis pada percobaan menggunakan 4 faktor kendali, 3 level faktor dan 3 kali ulangan percobaan untuk mendapatkan 2 variabel respon didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam melakukan ekstraksi biji pinang, perlu melakukan ekstraksi dengan menggunakan kombinasi level faktor yaitu berat biji pinang 100 gr, volume air 1000 mL, suhu air 100 °C dan waktu ekstraksi selama 90 menit.
2. Hasil optimasi menggunakan metode taguchi, kondisi optimal diperoleh kandungan tanin sebesar rata-rata 102,17 mg/L dan absorbansi sebesar 0,28 AU. Hasil optimasi tersebut meningkatkan kandungan tanin sebesar 6,55 mg/L dari kondisi awal dan peningkatan absorbansi sebesar 0,0097 AU dibandingkan kondisi awal yang sering dilakukan oleh industri batik.

6.2. Saran

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan bagi para perajin batik dalam melakukan ekstraksi. Perajin batik perlu menggunakan kombinasi level faktor yang optimal agar diperoleh hasil yang maksimal dan dapat meningkatkan kualitas produk, yang pada akhirnya akan meningkatkan kepuasan pelanggan.

2. Penelitian ini masih banyak kekurangan, sehingga dapat dilakukan penelitian lanjutan. Penulis menyarankan agar penelitian lebih lanjut untuk variabel respon yang lain yang mempengaruhi hasil pewarnaan batik, antara lain kandungan flavonoid, pH larutan, dan lain-lain.
3. Penelitian lanjutan masih diperlukan untuk menerapkan hasil ekstraksi yang optimal diterapkan pada pewarnaan batik. Dapat diteliti lebih lanjut efek optimasi terhadap arah warna maupun kualitas ketahanan pewarna tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Acarali, N. (2018) 'Pomza Ve Gomalakıçeren Solvent Bazlı Boyalar Üzerine Yeni Bir Araştırma', *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23(2), pp. 87–96. doi: 10.17482/uumfd.297817.
- Ahmed, M. A., Eltahir, Y. A. and Saeed, H. A. M. (2018) 'Eco-Friendly Utilization of Banana Plant Extract for Dyeing of Textile Materials and Related Purposes: A Review', *International Journal of Recent Scientific Research*, 9(5(A)), pp. 26465–26473. doi: 10.24327/IJRSR.
- Al-Alwani, M. A. M. *et al.* (2016) 'Optimization of dye extraction from *Cordyline fruticosa* via response surface methodology to produce a natural sensitizer for dye-sensitized solar cells', *Results in Physics*, 6, pp. 520–529. doi: 10.1016/j.rinp.2016.08.013.
- Alamsyah, A. (2018) 'Kerajinan Batik dan Pewarnaan Alami', *Endogami: Jurnal Ilmiah Kajian Antropologi*, 1(2), p. 136. doi: 10.14710/endogami.1.2.136-148.
- Ali, A. *et al.* (2010) 'Effect of Tannic Acid and Metallic Mordants on The Dyeing Properties of Natural Dye Extracted From *Acacia Nilotica* Bark', *Asian Journal of Chemistry*, 22(9), pp. 7065–7069.
- Arina, M. Z. I. and Harisun, Y. (2019) 'Effect of extraction temperatures on tannin content and antioxidant activity of *Quercus infectoria* (Manjakani)', *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19(March), p. 101104. doi:

10.1016/j.bcab.2019.101104.

Bechtold, T. and Mussak, R. (2009) *Handbook of Natural Colorants, Handbook of Natural Colorants*. doi: 10.1002/9780470744970.

Bhuyan, S., Gogoi, N. and Kalita, B. . (2016) 'Natural dyes and its Antimicrobial effect', *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 42(3), pp. 102–105. doi: 10.14445/22315381/ijett-v42p222.

BSN (2014) 'SNI 0239:2014, Batik - Pengertian dan Istilah'. Badan Standardisasi Nasional, pp. 1–7.

Deo, S., Sarkar, S. R. and Kumari, S. (2018) 'Extraction and Optimization of Natural Dye from *Asphodelus tenuifolium*', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), pp. 1355–1366. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.158>.

Desai, M. A. and Parikh, J. (2015) 'Extraction of essential oil from leaves of lemongrass using microwave radiation: Optimization, comparative, kinetic, and biological studies', *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. doi: 10.1021/sc500562a.

Elksibi, I. *et al.* (2014) 'Development and optimisation of a non conventional extraction process of natural dye from olive solid waste using response surface methodology (RSM)', *Food Chemistry*. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.03.108.

Etemadifar, A. *et al.* (2014) 'Statistical optimization of wool dyeing with Alizarin Red S as a natural dye via central composite design', *Fibers and Polymers*, 15(2),

pp. 254–260. doi: 10.1007/s12221-014-0254-4.

Fatima, N., Grover, E. and Paul, S. (2007) ‘Use of natural dyes for value added products’, *Man-Made Textiles in India*, 50(2), pp. 55–57.

Gala, S. *et al.* (2018) ‘Jurnal Bahan Alam Terbarukan The Extraction of Natural Dyes from Jackfruit Wood Waste (*Artocarpus heterophyllus* Lamk) with Water Solvent by Using The Microwave Method’. doi: 10.15294/jbat.v7i2.13254.

Gamedze, N. F., Hunter, L. and Zwane, P. E. (2018) ‘Optimising *Syzygium Cordatum* Dye Extraction’, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 3(4).

Ghasemi, M., Mashhadi, S. and Azimi-Amin, J. (2018) ‘Fe₃O₄/AC nanocomposite as a novel nano adsorbent for effective removal of cationic dye: Process optimization based on Taguchi design method, kinetics, equilibrium and thermodynamics’, *J. Water Environ. Nanotechnol*, 3(4), pp. 321–336. doi: 10.22090/jwent.2018.04.005.

Gokarneshan, N. (2018) ‘International Journal of Textile’, 2018(01), pp. 1–5. doi: 10.29011/IJTSE-107/100014.

Gupta, T. B. and Lataye, D. H. (2018) ‘Adsorption of indigo carmine and methylene blue dye: Taguchi’s design of experiment to optimize removal efficiency’, *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 43(10), pp. 1–13. doi: 10.1007/s12046-018-0931-x.

Haddar, W., Ben Ticha, M., *et al.* (2014) ‘A novel approach for a natural dyeing

process of cotton fabric with *Hibiscus mutabilis* (Gulzuba): Process development and optimization using statistical analysis', *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.066.

Haddar, W., Baaka, N., *et al.* (2014) 'Optimization of an ecofriendly dyeing process using the wastewater of the olive oil industry as natural dyes for acrylic fibres', *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.017.

Haddar, W., Elksibi, I., *et al.* (2014) 'Valorization of the leaves of fennel (*Foeniculum vulgare*) as natural dyes fixed on modified cotton: A dyeing process optimization based on a response surface methodology', *Industrial Crops and Products*. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.11.019.

Hasan, M. N. *et al.* (2017) *Natural Dyeing of Cotton Fabric Using Turmeric (Curcuma Longa) And Anti-Microbial Finish Natural Dyeing of Cotton Fabric Using Turmeric (Curcuma Longa) and Anti-Microbial Finish*. Shyamoli Textile Engineering College.

Hong, K. H. (2018) 'Effects of Tannin Mordanting on Coloring and Functionalities of Wool Fabrics Dyed With Spent Coffee Grounds', *Fashion and Textiles*, 5(1). doi: 10.1186/s40691-018-0151-3.

Hossain, A., Rahman, M. and Nurunnesa (2018) 'Extraction of Natural Dye Collected from Outer', *Global Journals*, 18(3), pp. 0–6.

ISO 9000 (2015) 'Quality management systems - Fundamentals and vocabulary (DIN EN ISO 9000:2015)', *International Organization for Standardization*.

Kasiri, M. B. and Safapour, S. (2014) 'Natural dyes and antimicrobials for green treatment of textiles', *Environmental Chemistry Letters*. doi: 10.1007/s10311-013-0426-2.

Kembaren, R. B. *et al.* (2014) 'Ekstraksi Dan Karakterisasi Serbuk Nano Pigmen Dari Daun Tanaman Jati (*Tectona Grandis* Linn. F)', *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 36(1), pp. 313–318. doi: 10.24817/jkk.v36i1.1904.

Khan, A. A. *et al.* (2014) 'Extraction of natural dye from red calico leaves: Gamma ray assisted improvements in colour strength and fastness properties', *Dyes and Pigments*, 103, pp. 50–54. doi: 10.1016/j.dyepig.2013.11.024.

Kumar, V. and Prabha, R. (2018) 'Extraction and analysis of natural dye', 8(2), pp. 32–38.

L, M. *et al.* (2017) 'Optimization studies on extraction of phytocomponents from betel leaves', *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), pp. 385–393. doi: 10.1016/j.reffit.2017.02.007.

Lymperopoulou, T. *et al.* (2019) 'Optimizing Conditions for Scandium Extraction from Bauxite Residue Using Taguchi Methodology', *Minerals*, 9(4), p. 236. doi: 10.3390/min9040236.

Makkar, H. P. S. (2003) *Quantification of Tannins in Tree and shrub Foliage*. Vienna, Austria: SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V. doi: 10.1007/978-94-017-0273-7.

Mamta Vashishtha *et al.*, M. V. *et al.* (2017) 'Optimization of Procedure for

Dyeing with Pure Natural Dye Obtained from Turmeric', *International Journal of Textile and Fashion Technology*. doi: 10.24247/ijftjun20171.

Mariamamma, T. R. and Jose, S. K. (2018) 'Dyeability of Cotton Fabric with Banana Stem Extract', *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 7(2), p. 103. doi: 10.30731/ijcps.7.2.2018.103-108.

Miftahorrahman, Matana, Y. R. and Salim (2015) *Teknologi Budidaya dan Pasca Panen Pinang*. Manado: Balai Penelitian Tanaman Palma. Available at: <http://balitka.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2017/03/3-Pdf-Pinang.pdf>.

N. Sivarajasekar , R. Subashini, R. S. D. (2018) 'Optimization of extraction methods for natural pigment from', *International Journal of Green Pharmacy*, 12(3), p. S732.

Nair, A. *et al.* (no date) 'Extraction of natural dye from waste flowers of Aster (Aster chinensis) and studying its potential application as pH indicator'.

Nazari, A. *et al.* (2014) 'Optimization of proteases pretreatment on natural dyeing of wool using response surface methodology', *Clean Technologies and Environmental Policy*. doi: 10.1007/s10098-013-0709-0.

Parra-Campos, A. and Ordóñez-Santos, L. E. (2019) 'Natural pigment extraction optimization from coffee exocarp and its use as a natural dye in French meringue', *Food Chemistry*. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.158.

Patil, P. D., Wasif, A. I., *et al.* (2014) 'Butea Frondosa Flower Dye Extraction

Optimization through Taguchi Design’, *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 8.

Patil, P. D., Rao, C. R., *et al.* (2014) ‘Mass transfer enhancement through optimized extraction of a natural dye from *Bougainvillea glabra* Juss. bracts’, *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 5(4), pp. 332–337.

Patil, Pravinkumar.D. *et al.* (2014) ‘Taguchi Optimization for Efficient Extraction of a Natural Dye From *Bougainvillea Glabra* Bracts’, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(04), pp. 23–30. doi: 10.15623/ijret.2014.0304004.

Patil, P. D. *et al.* (2015) ‘Cashew-nut husk natural dye extraction using taguchi optimization: Green chemistry approach’, *Journal of Scientific and Industrial Research*.

Peng, W. *et al.* (2015) ‘Areca catechu L. (Arecaceae): A review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology’, *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier Ireland Ltd, pp. 340–356. doi: 10.1016/j.jep.2015.02.010.

Rajha, H. N. *et al.* (2014) ‘Extraction of Total Phenolic Compounds, Flavonoids, Anthocyanins and Tannins from Grape Byproducts by Response Surface Methodology. Influence of Solid-Liquid Ratio, Particle Size, Time, Temperature and Solvent Mixtures on the Optimization Process’, *Food and Nutrition Sciences*, 05(04), pp. 397–409. doi: 10.4236/fns.2014.54048.

Ramzan, M. B., Wook Kang, C. and Sarkar, B. (2016) 'A Review Paper on Offline Inspection of Finished and Semi-Finished Products and Emerging Research Directions', *Yugoslav Journal of Operations Research*, 26(4), pp. 395–422. doi: 10.2298/YJOR150815006R.

Ren, Y. *et al.* (2016) 'Effect of dye bath pH on dyeing and functional properties of wool fabric dyed with tea extract', *Dyes and Pigments*, 134, pp. 334–341. doi: 10.1016/j.dyepig.2016.07.032.

Rossi, T. *et al.* (2017) 'Waste from eucalyptus wood steaming as a natural dye source for textile fibers', *Journal of Cleaner Production*, 143, pp. 303–310. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.109.

Roy, M. N. *et al.* (2018) 'Mango Seed Kernel Agronomical Bio-Waste for Ecofriendly Cotton Dyeing : Optimization of Dyeing Period and Temperature', 6(2), pp. 36–45. doi: 10.13189/cme.2018.060202.

Sabarudin, N. A. *et al.* (2016) 'Effect of Extraction Condition of Natural Dye Pigment from Bougainvillea Flowers' Bract', *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(17), pp. 172–175.

Said, M. S. *et al.* (2013) 'Comparison between Taguchi Method and Response Surface Methodology (RSM) In Optimizing Machining Condition Department of Mechanical & Materials Engineering , Faculty of Engineering and Built Environment ', *International Conference on Robust Quality Engineering*, pp. 60–64. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/235641908.pdf>.

Silva, M. B. *et al.* (2014) 'An Application of the Taguchi Method (Robust Design) to Environmental Engineering: Evaluating Advanced Oxidative Processes in Polyester-Resin Wastewater Treatment', *American Journal of Analytical Chemistry*, 05(13), pp. 828–837. doi: 10.4236/ajac.2014.513092.

Singh, G. *et al.* (2019) 'Functionalization of wool fabric using kapok flower and bio-mordant', *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 14(October), p. 100184. doi: 10.1016/j.scp.2019.100184.

Sinha, K. *et al.* (2013) 'Modeling of microwave-assisted extraction of natural dye from seeds of *Bixa orellana* (Annatto) using response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN)', *Industrial Crops and Products*. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.04.004.

Snee, R. D. (2016) *Quality by Design - Building Quality into Products and Processes*. New York: Springer Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-23558-5_18.

Souissi, M. *et al.* (2018) 'Valorization of natural dye extracted from date palm pits (*Phoenix dactylifera*) for dyeing of cotton fabric. Part 1: Optimization of extraction process using Taguchi design', *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.115.

Sukmana *et al.* (2018) 'Inor-Mat-47- Optimization of Non-Autoclaved Aerated Concrete Using Phosphogypsum of Industrial Waste based on Taguchi Method [Ndaru Candra Sukmana, Avan Sugeng Nurkholil, Muhammad Izzudin Khifdilalah and Ufafa Anggarini] Optimization of Non-Autoclaved Aerat', in *13th Joint*

Conference on Chemistry. Semarang, Indonesia.

Taguchi, G. and Konishi, S. (1987) 'Taguchi methods, orthogonal arrays and linear graphs: Tools for quality engineering', Dearborn, American supplier institute.

Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y. (2007) *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, Taguchi's Quality Engineering Handbook. doi: 10.1002/9780470258354.

Taguchi, G. and Wu, Y. (1979) *Introduction to off-line quality control*. Central Japan Quality Control Assoc. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=FbpUAAAAYAAJ>.

Teklay, N. and Kechi, A. (2018) 'Optimization of Leather Dyeing using Natural Dye Extract', *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, 6(7), pp. 136–141.

Uday Kiran, K. A. V *et al.* (2021) 'Significance of Taguchi Design compared to Response Surface Methodology in predicting optimal machining conditions for PCM process', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1128(1), p. 012019. doi: 10.1088/1757-899x/1128/1/012019.

Vankar, P. S. (2008) 'Chemistry of natural dyes', *Resonance*, 5(10), pp. 73–80. doi: 10.1007/bf02836844.

Vázquez, M. F. B. *et al.* (2013) 'Optimization of Ultrasonic-Assisted Extraction of Anthraquinones from *Heterophyllae Pustulata* Hook F. (Rubiaceae) Using Taguchi L9 Orthogonal Design', in Químicos, A.-A. A. de I. (ed.) *CAIQ2013*.

Argentina: Asociación Argentina de Ingenieros Químicos.

Viana, T. C., Pagnan, C. S. and Ayres, E. (2015) 'Natural dyes in the design of textile: how to make them more competitive face to synthetic dyes', *Journal of the International Colour Association*, 14, pp. 14–27.

Wang, W. (2016) *Investigation of Optimal Extraction Conditions and Microencapsulation Technique for Stabilizing Anthocyanins and Polyphenols from Fruit Materials*. Oregon State University.

Zhang, Q. W., Lin, L. G. and Ye, W. C. (2018) 'Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review', *Chinese Medicine (United Kingdom)*, 13(1), pp. 1–26. doi: 10.1186/s13020-018-0177-x.