**RANCANG BANGUN IPAL (INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH) *PORTABLE* UNTUK SKALA IKM DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

Silvia Uslianti1, Ivan Sujana2, Ratih Rahmahwati3, Tri Wahyudi4, Riadi Budiman5

Teknik Industri, Universitas Tanjungpura

1silvia.uslianti@ee.untan.ac.id; 2ivan.sujana@ee.untan.ac.id

3ratihrahma2012@gmail.com; 4tri.wahyudi@industrial.untan.ac.id; 5riadi@untan.ac.id

*Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Pontianak No 2 Tahun 2013 disebutkan bahwa Intalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) termasuk dalam rencana tata ruang kota Pontianak jangka panjang. Hal ini mengindikasi baik industri besar maupun kecil wajib memiliki IPAL yang sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, berdasarkan data Badan Lingkungan Hidup (BLH) 2017, tingkat pengelolaan IPAL IKM masih dibawah 50% dari total IKM yang ada. Hal ini dikarenakan biaya dalam pengadaan IPAL yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun IPAL yang bersifat portable dan dapat dijangkau oleh industri kecil dengan menggunakan metode eksperimen taguchi. Langkah-langkah penelitiannya dimulai dengan rancang body IPAL, kemudian eksperimen taguchi untuk menentukan media filter (Zeolit:Arang Aktif), Ketebalan Dacron, ketebalan ijuk dan jumlah plat (Kuat arus 10 A). Eksperimen taguchi dilakukan menggunakan orthogonal array L9(34). Berdasarkan eksperimen taguchi yang dilakukan menggunakan karakteristik kualitas yang dituju yakni smaller the better diperoleh hasil kombinasi perbandingan zeolit dan arang aktif sebesar 70:30 dengan jumlah plat sebanyak 4 plat. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi optimal faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan optimalisasi dari kerja IPAL portable.*

Kata Kunci: Eksperimen Taguchi, IPAL, Pengolahan Air Limbah, Rancang Bangun,

1. PENDAHULUAN

Kota Pontianak berkomitmen dalam penanganan limbah cair yang berasal dari industri baik industri besar maupun industri kecil. Hal ini sesuai dengan kebijakan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Daerah Kota Pontianak melalui Peraturan Daerah Kota Pontianak No 2 Tahun 2013 tentang rencana tata ruang wilayah kota Pontianak tahun 2013-2033. Dalam peraturan daerah ini disebutkan bahwa IPAL termasuk dalam rencana tata ruang kota Pontianak jangka panjang. Peraturan daerah ini diperkuat juga oleh Peraturan Daerah Kota Pontianak Nomor 5 Tahun 2013 tentang pengendalian pencemaran air. Dalam hal ini pemerintah kota mengatur dan mengendalikan pembuangan air limbah termasuk menentukan baku mutu limbah cair. Indikasinya adalah baik industri besar maupun industri kecil wajib memiliki IPAL yang sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, berdasarkan data Badan Lingkungan Hidup (BLH) kota Pontianak menyatakan partisipasi IKM dalam melaporkan IPAL per tiga bulan masih rendah. Pengelolaan IPAL IKM masih dibawah 50% .Hal ini dikarenakan biaya dalam pengadaan dan pelaporan IPAL masih tinggi (Tribun Pontianak, 2017). Untuk itu kajian terkait rancang bangun IPAL untuk IKM di kota Pontianak perlu mendapat perhatian khusus.

Berbagai kajian terkait penanganan limbah IKM terutama limbah cair telah banyak dilakukan Fukushima & Tan (2014) meneliti tentang penanganan limbah cair dari industri tahu di Taiwan dengan menggunakan pendekatan biologi dengan tujuan meminimasi *chemical oxygen demand* (COD) dan minimasi investasi ekonomi. Ioannou-Ttofa *et al*.(2017) tentang penanganan limbah penggilingan buah zaitun dengan menggunakan oksidasi biologi, filtrasi membrane dan proses separasi. Aikenhead *et al.*(2015) yang mengkaji penanganan limbah pada pabrik susu. Penelitian-penelitian tersebut menggunakan pendekatan biologi dan kimia serta menekankan pada biaya yang rendah. Pengendalian pencemaran limbah cair yang berasal dari IKM tidak mungkin dapat dilakukan dengan pendekatan yang sama seperti industri skala besar (Sulaksono *et al,* 2015).

Salah satu metode pengolahan limbah industri dengan efisiensi biaya yang murah dan efektif adalah dengan menggunakan metode elektrokoagulasi (Reddithota *et al*, 2007). Elektrokoagulasi merupakan metode elektrokimia untuk pengolahan air dimana pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (biasanya aluminium atau besi) ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi eletrolisis berupa pelepasan gas *hydrogen* (Holt et al., 2005). Berbagai penelitian tentang penggunaan metode elektrokoagulasi telah banyak dilakukan. Penggunaan metode elektrokoagulasi populer digunakan dalam mengatasi limbah tekstil seperti yang telah diteliti oleh Kobya et al.,(2003), Alinsafi et al.( 2005) dan (Ngatin *et al,* 2010) pada industri olahan kulit (Siringo et al.,2013) dan industri pengolahan limbah kelapa sawit (Hanum et al., 2015). Penelitian terkait penggunaan metode elektrokoagulasi untuk penanganan limbah cair yang berasal dari IKM makanan akan dapat menjadi kajian yang menarik.

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, bahwa Pemerintah Kota melalui Badan Lingkungan Hidup memberi pengaturan dan pengawasan terhadap kualitas air limbah. Kualitas air limbah maksudnya adalah ukuran batas atau kadar mahluk hidup, zat, energi atau komponen lain yang ada atau harus ada unsur pencemaran yang ditenggang adanya dalam air pada sumber-sumber tertentu sesuai dengan peruntukkannya. Hal ini mengindikasikan bahwa pentingnya kualitas dalam rancang bangun pengolahan limbah cair sehingga keluaran dari IPAL ini nantinya sesuai dengan kualitas limbah yang boleh dibuang. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas pada rancangan produk adalah metode Taguchi. Metode Taguchi dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas suatu produk dengan meminimalisir faktor gangguan, sehingga dapat dihasilkan produk yang dapat memenuhi standar kualitas yang diinginkan. Metode Taguchi telah digunakan oleh Aber et al.,(2010) untuk mendapatkan kondisi optimum jenis dan dosis koagulan dari penangan limbah industri penyamakan kulit. Metode Taguchi dalam penelitian ini digunakan sebagai penentu faktor control seperti media filter (zeolite dan arang aktif), ketebalan Dacron, ketebalan ijuk dan jumlah plat.

Berbagai analisa dan pertimbangan digunakan dalam penelitian ini dengan harapan dapat menghasilkan rancang bangun IPAL yang dapat digunakan oleh IKM di Pontianak.selain itu rancangan bangun IPAL akan dibuat *Portable* sehingga pengguna tidak hanya berbasis IKM rumah tangga tapi juga dapat menjangkau rumah makan terutama rumah makan berkonsep *food street*.

1. **LANDASAN TEORI**
2. **Pengembangan Produk**

Tahapan perancangan dan pengembangan produk terdiri dari berbagai tahapan yang sistematis dengan beberapa tahapannya adalah tahapan penangkapan kebutuhan konsumen hingga tahapan memproduksi produk untuk dipasarkan ke konsumen. Menurut Ulrich &Eppinger (2001) terdapat 6 tahap yang diperlukan dalam merancang dan mengembangkan produk antara lain yaitu:

1. Fase 0 (Perencanaan)

Fase ini merupakan fase yang mengawali seluruh rangkaian pengembangan produk yang akan dilakukan. Proses ini berkaitan dengan proses persetujuan konsep pengembangan produk yang akan dilakukan.

1. Fase 1 (Pengembangan Konsep)

Fase 1 adalah fase dimana perusahaan memulai identifikasi kebutuhan pasar serta mulai menyusun alternatif-alternatif produk yang akan disusun. Alternatif- alternatif yang akan mulai dipilih dan dikembangkan lebih jauh. Di dalam hal ini, konsep didefinisikan sebagai uraian dari bentuk, fungsi dan tampilan suatu produk dan biasanya diikuti dengan sekumpulan spesifikasi, analisis produk produk pesaing serta pertimbangan ekonomis proyek.

1. Fase 2 (Perancangan Tingkatan Sistem)

Fase ini mencakup fase yang menjelaskan tentang definisi subsistem subsistem beserta komponen-komponen. Output yang dihasilkan pada fase ini mencakup tata letak bentuk produk, spesifikasi secara fungsional dari tiap subsistem produk, serta diagram aliran proses pendahuluan untuk proses rakitan akhir.

1. Fase 3 (Perancangan Detail)

Fase ini meliputi perancangan mendetail tentang spesifikasi dan karakteristik material yang dibutuhkan pada produk. Pada tahap ini juga ditentukan urutan proses fabrikasi hingga perakitan yang akan dilakukan dalam menghasilkan produk.

1. Fase 4 (Pengujian dan Perbaikan)

Fase ini melibatkan konstruksi dan evaluasi dari bermacam-macam versi produksi awal produk. Pada fase ini hal yang menjadi perhatian utama adalah pembuatan prototype *alpha* yang merupakan prototype uji coba dalam rangka pembuatan produk untuk pemenuhan keinginan konsumen sesuai dengan material yang dibutuhkan. Prototype berikutnya (beta) biasanya dibuat dengan komponen yang dibutuhkan pada produksi namun tidak dirakit dengan menggunakan proses perakitan akhir seperti pada perakitan sesungguhnya.

1. Fase 5 (Produksi Awal)

Fase produksi awal adalah fase produksi menggunakan peralatan produksi yang sesungguhnya dengan tujuan melatih tenaga kerja untuk menyesuaikan diri dengan berbagai perubahan yang mungkin pada level produksi. Produk-produk yang dihasilkan dari fase ini disesuaikan dengan keinginan konsumen dan dievaluasi secara berkala untuk mengurangi kelemahan yang terjadi.

1. **Karakteristik Air Limbah**

Definisi limbah industri menurut Palar (2008) adalah semua jenis bahan buangan yang berasal dari hasil sampingan proses industri. Limbah ini dapat menjadi zat yang membahayakan bagi manusia dan lingkungan. Limbah industri bersumber dari kegiatan industri baik proses secara langsung maupun proses secara tidak langsung. Limbah yang bersumber langsung terindikasi bila produk dan limbah hadir pada saat yang sama. Sedangkan limbah tidak langsung terproduksi sebelum proses maupun sesudah proses produksi (Ginting, 2007)

Karakteristik air limbah menurut Chandra(2007) yakni:

1. Karakteristik Fisik

Air limbah terdiri dari 99,9% air, sedangkan kandungan bahan padatnya mencapai 0,1% dalam bentuk suspense padat (*suspended solid*) yang volumenya bervariasi antara 100-500mg/l. Apabila volume suspense padat kurang dari 100 mg/l air limbah disebut lemah, sedangkan bila lebih dari 500mg/l disebut kuat.

1. Karakteristik Kimia

Air limbah biasanya bercampur dengan zat kimia anorganik yang berasal dari air bersih dan zat organik dari limbah itu sendiri.Saat keluar dari sumber air limbah bersifat basa. Namun, air limbah yang sudah lama atau membusuk akan bersifat asam karena sudah mengalami kandungan bahan organiknya telah mengalami proses dekomposisi yang dapat menimbulkan bau tidak menyenangkan. Komposisi campuran dari zat-zat ini dapat berupa gabungan dengan nitrogen (misalnya urea, protein atau asam amino dan gabungan dengan non-nitrogen misalnya lemak, sabun atau karbohidrat.

1. Karakteristik Bakteriologis

Bakteri patogen yang terdapat dalam air limbah biasanya termasuk golongan E.coli.

1. **Konsep Elektrokoagulasi**

Elektrokoagulasi menurut Reddithota et al., (2007) merupakan metode sederhana dan efisien yang melibatkan fenomena kimia dan fisik dengan menggunakan oksidasi elektro (biasanya terbuat dari besi atau aluminium) sehingga menghasilkan ion flokulasi. Sedangkan menurut (Holt et al., 2005) elektrokoagulasi merupakan proses kompleks yang merupakan metode pengolahan air secara elektrokimia dimana pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen.

 Menurut Hanum et al., (2015) teknik elektrokoagulasi memiliki beberapa kelebihan yaitu peralatan sederhana mudah dalam pengoperasiannya, waktu reaksi singkat dan tidak memerlukan bahan kimia tambahan karena lebih banyak melibatkan proses fisika. Prinsip dasar elektrokoagulasi adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Dalam suatu sel elektrokoagulasi, proses oksidasi terjadi di anoda, sedangkan proses reduksi terjadi di katoda. Fungsi anoda adalah sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi yang terjadi di dalam sel tersebut. Sedangkan katoda terjadi reaksi katodik dengan membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel.

1. **Metode Taguchi**

Metode Taguchi merupakan metodologi yang dicetuskan oleh Dr. Genichi Tahuchi bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk robust terhadap faktor gangguan (noise), karena itu sering disebut sebagai perancangan kokoh (*Robust Design*).

Metode Taguchi menggunakan seperangkat matriks khusus yang disebut Matriks Orthogonal atau *Orthogonal Array* (OA). Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin mengenai semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari metode Matriks orthogonal terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input masing-masing eksperimen (Soejanto, 2009).

Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didesain sehingga robust terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-linequality control* dilakukan dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). Kontribusi Taguchi menurut Ross (1996) pada kualitas adalah:

1. *Loss Function*: Merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek.
2. *Orthogonal Array* : Orthogonal array digunakan untuk mendesain percobaan yang efisien dan digunakan untuk menganalisis data percobaan. *Orthogonal array* digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari orthogonal array terletak pada kombinasi level dari variabel-variabel input untuk masing-masing eksperimen.
3. *Robustness* : Meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber-sumber variasi
4. **METODE PENELITIAN**
5. **Pengumpulan Data Awal**

Pengumpulan data awal sebelum eksperimen dilakukan dengan melakukan pengukuran sampel limbah pada IKM rumah makan yang ada di kota Pontianak. Terdapat 24 limbah yang diambil dari IKM dan rumah makan yang diukur baku mutu limbahnya meliputi kandungan BOD, TSS serta minyak dan lemak. Selain itu dilakukan identifikasi faktor-faktor dominan yang berpengaruh terhadap limbah dilakukan melalui observasi dan wawancara dengan pemilik usaha. Hasil observasi, wawancara dan pengumpulan data awal digunakan untuk menentukan faktor kontrol yang diduga berpengaruh terhadap kualitas limbah IKM.

1. **Rancang Bangun IPAL *Portable***

Rancang bangun IPAL Portable akan menggunakan metode elektrokoagulasi. Gambar 1 berikut ini merupakan diagram alir dalam rancang bangun IPAL *Portable.*

Gambar 1. Flow Diagram Unit IPAL Portable

Tahapan rancang bangun Unit IPAL terdiri dari beberapa bagian yakni:

1. Inlet, saluran masuk limbah cair
2. Grease Trap, perangkap untuk lemak/minyak.
3. Screen, saringan.
4. Teknologi Elektroflotase, reaktor proses reaksi oksidasi dan reduksi
5. Media Filter, terdiri dari zeolit, arang aktif, dacron, dan ijuk.
6. Outlet, saluran keluar limbah cair hasil pengolahan.
7. **Eksperimen Taguchi**

Eksperimen Taguchi dilakukan dengan pengolahan data awal yaitu perhitungan rata-rata, standar deviasi dan *range* data. Pengolahan ini bertujuan untuk mengetahui gambaran kondisi awal limbah yang berasal dari IKM. Sebelum dilakukan eksperimen Taguchi dilakukan penentuan jumlah level dan nilai level faktor. Tabel 1 berikut merupakan penentuan faktor, jumlah level dan nilai level faktor yang digunakan dalam eksperimen taguchi.

Tabel 1. Faktor dan Level Eksperimen Taguchi

|  |  |
| --- | --- |
| Faktor | Level |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Media Filter (Zeolit:Arang Aktif) | 50:50 | 30:70 | 70:30 |
| 2 | Ketebalan Dacron | 3 cm | 5 cm | 7 cm |
| 3 | Ketebalan Ijuk | 3 cm | 5 cm | 7 cm |
| 4 | Jumlah Plat (Kuat Arus 10A) | 2 | 4 | 6 |

Setelah itu dilakukan eksperimen taguchi menggunakan orthogonal array L9(34) yang artinya eksperimen dilakukan 9 kali dengan jumlah faktor 4 dan level 3. Replikasinya dilakukan sebanyak 4 kali. Tabel 2 berikut merupakan matriks orthogonal L9(34) yang menjadi dasar eksperimen taguchi.

Tabel 2. Matriks Orthogonal Array L9(34)

|  |  |
| --- | --- |
| Eksperimen | Faktor |
| 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 |

1. **Pengolahan Data dan Analisis**

Pengolahan data eksperimen taguchi dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap awal dilakukan dengan menghitung rata-rata nilai limbah, standar deviasi, rasio S/N data awal dan ANOVA. Berikut langkah langkah dalam pengolahan data eksperimen Taguchi

**Rasio S/N**

Rasio S/N (Signal to Noise) digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Karakteristik Rasio S/N yang dipakai adalah *smaller the better*. Model matematisnya adalah sebagai berikut:

$Rasio\frac{S}{N}=-10xlog\left(\frac{1}{n}\sum\_{}^{}y^{2}\right)$.......................................................................................(1)

**ANOVA**

Analisis varians dua arah digunakan untuk data eksperimen yang memiliki dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Tabel analisis terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat dan F-rasio. Pada perhitungan ANOVA dihitung dua yakni ANOVA data awal dan ANOVA rasio S/N

**Uji Hipotesis**

Uji Hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error. Variansi error adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor yang tidak dapat dikendalikan.

Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan adalah:

H0 = tidak ada pengaruh faktor terhadap kualitas air limbah (BODs, TSS serta Minyak dan Lemak)

H1 = ada pengaruh faktor terhadap kualitas air limbah limbah (BODs, TSS serta Minyak dan Lemak).

Apabila uji Fhitung < F(Tabel)  maka H1 diterima, artinya ada pengaruh faktor terhadap kualitas air limbah.

***Pooling up* faktor**

Pooling up dirancang untuk mengestimasi variansi error pada analisis varians. *Pooling up* akan mengakumulasi beberapa varians error dari beberapa faktor yang kurang berpengaruh bagi kualitas air limbah.

**Persen kontribusi**

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masingfaktor dan interaksi, terlebih dahulu dihitung SS’

$SS'\_{faktor}=SS\_{faktor}-MS\_{error}$........................................................................(2)

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$μ=\frac{SS'\_{faktor}}{SS\_{T}}x 100\%$..........................................................................................(3)

**Prediksi dan rasio S/N kondisi optimum**

Setelah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan, langkah selanjutnya dilakukan perhitungan prediksi rata-rata yang optimal untuk BODs, TSS serta Minyak dan Lemak saat menggunakan IPAL *portable* ini.

1. **HASIL DAN PEMBAHASAN**
2. **Rancang Bangun IPAL Portable**

Berdasarkan data yang diperoleh, maka didesain IPAL untuk IKM. Rancang bangun alat dipertimbangkan aspek kemudahan dalam pemindahan. Sehingga dapat digunakan oleh IKM rumah makan yang berkonsep *food street.* Berikut adalah desain IPAL portabel diterangkan pada gambar 3 berikut ini:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Gambar 3. Desain IPAL Portable

Berdasarkan desain IPAL Portable pada gambar 3, maka dibuat IPAL *Portable* berdasarkan metode elektrokoagulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.

|  |  |
| --- | --- |
| **D:\_DataTrie\Penelitian\Penelitian 2017\Penelitian DIPA 2017\IPAL Elektroflotase\IMG_20171121_100402.jpg** | **D:\_DataTrie\Penelitian\Penelitian 2017\Penelitian DIPA 2017\IPAL Elektroflotase\IMG_20171121_100408.jpg** |

Gambar 4. Body IPAL

1. **Hasil Eksperimen Taguchi**

**Data Eksperimen dan Perhitungan Mean**

Dari eksperimen taguchi yang telah dilakukan untuk BODs, TSS serta Minyak dan Lemak, maka didapatkan data eksperimen yang dapat dilihat pada tabel 3, 4 dan 5 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Eksperimen dan Perhitungan Mean BODs Eksperimen Taguchi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Eksperimen | Faktor | Replikasi BODs | Jumlah | Mean |
| 1(A) | 2(B) | 3 ( C)  | 4(D) | R1 | R2 | R3 | R4 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 22,37 | 22,47 | 22,51 | 24,26 | 91,60 | 22,90 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 23,73 | 24,23 | 24,32 | 24,81 | 97,09 | 24,27 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 18,31 | 18,46 | 18,54 | 19,39 | 74,69 | 18,67 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 25,08 | 25,24 | 25,65 | 27,16 | 103,13 | 25,78 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 25,76 | 26,70 | 26,02 | 27,31 | 105,80 | 26,45 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 25,08 | 25,95 | 25,70 | 26,29 | 103,03 | 25,76 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 25,08 | 25,13 | 25,48 | 25,69 | 101,39 | 25,35 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 21,68 | 22,56 | 22,60 | 22,81 | 89,64 | 22,41 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 27,12 | 27,65 | 27,41 | 28,09 | 110,26 | 27,57 |
| Jumlah |   |   |   |   |   |   |   |   | 219,16 |
| Rata-rata |   |   |   |   |   |   |   |   | 24,35 |

Tabel 4. Hasil Eksperimen dan Perhitungan Mean TSS Eksperimen Taguchi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Eksperimen | Faktor | Replikasi TSS | Jumlah | Mean |
| 1(A) | 2(B) | 3 ( C)  | 4(D) | R1 | R2 | R3 | R4 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 51,73 | 51,86 | 51,82 | 51,99 | 207,40 | 51,85 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 45,6 | 46,19 | 46,1 | 46,78 | 184,67 | 46,17 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 45,2 | 45,44 | 45,35 | 45,68 | 181,67 | 45,42 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 26,93 | 27,5 | 27,09 | 28,07 | 109,59 | 27,40 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 27,47 | 27,72 | 28,41 | 27,98 | 111,58 | 27,90 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 14,19 | 14,81 | 15,06 | 15,42 | 59,48 | 14,87 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 15,6 | 16 | 15,64 | 16,4 | 63,64 | 15,91 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 18,53 | 19,45 | 19,41 | 20,36 | 77,75 | 19,44 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 27,6 | 27,89 | 28,13 | 28,18 | 111,80 | 27,95 |
| Jumlah |   |   |   |   |   |   |   |   | 276,90 |
| Rata-rata |   |   |   |   |   |   |   |   | 30,77 |

Tabel 5. Hasil Eksperimen dan Perhitungan Mean Minyak dan Lemak Eksperimen Taguchi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Eksperimen | Faktor | Replikasi Minyak dan Lemak | Jumlah | Mean |
| 1(A) | 2(B) | 3 ( C)  | 4(D) | R1 | R2 | R3 | R4 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,09 | 1,88 | 2,98 | 1,19 | 7,14 | 1,79 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,31 | 1,08 | 1,4 | 0,82 | 3,61 | 0,90 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,65 | 1,08 | 1,73 | 0,8 | 4,26 | 1,07 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1,19 | 2,07 | 3,26 | 1,34 | 7,86 | 1,97 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1,55 | 2,55 | 1,94 | 7,04 | 1,76 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 0,39 | 1,21 | 1,6 | 1,26 | 4,46 | 1,12 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 0,44 | 0,61 | 1,05 | 0,49 | 2,59 | 0,65 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 0,28 | 1,12 | 1,41 | 1,16 | 3,97 | 0,99 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0,93 | 0,97 | 1,9 | 1,46 | 5,26 | 1,32 |
| Jumlah |   |   |   |   |   |   |   |  | 11,55 |
| Rata-rata |   |   |   |   |   |   |   |  | 1,28 |

**ANOVA**

Perhitungan ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari faktor-faktor utama terhadap nilai rata-rata respon hasil pengujian eksperimen. Perhitungan ANOVA terdiri dari perhitungan derajat kebebasan, jumlah kuadrat, rata-rata jumlah kuadrat dan F-rasio. Tabel 6 menunjukkan ANOVA eksperimen taguchi untuk BODs, TSS serta minyak dan lemak.

Tabel 6. ANOVA Eksperimen Taguchi

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Sumber/Faktor | V | BODs | TSS | Minyak/Lemak |
| SS | MS | SS | MS | SS | MS |
| A | 2 | 27.15556 | 13.57778 | 1315.334 | 657.667 | 0.596876 | 0.298438 |
| B | 2 | 0.693035 | 0.346518 | 8.703068 | 4.351534 | 0.154601 | 0.077301 |
| C | 2 | 10.49447 | 5.247234 | 44.03918 | 22.01959 | 0.084956 | 0.042478 |
| D | 2 | 19.52974 | 9.764869 | 157.5692 | 78.78459 | 0.818026 | 0.409013 |
| SSfaktor Total |  | 57,8727 |  | 1525,645 |  | 1,6545 |  |
| Error | 18 | 183.81 | 10.21178 | 4582.16 | 254.5646 | 14.90 | 0.827539 |
| Total | 26 | 241.6848 |  | 6107.81 |  | 16.55 |  |

**Perhitungan Rasio S/N**

Data hasil eksperimen taguchi ditransformasikan ke dalam bentuk rasio S/N untuk mencari faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air limbah dengan baku mutu BODs, TSS serta kandungan minyak dan lemak. Sama halnya dengan perhitungan mean data eksperimen, Rasio S/N juga dengan menggunakan karakteristik *smaller the better.* Berikut ini merupakan contoh perhitungan rasio S/N untuk BODs dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Rasio\frac{S}{N}=-10xlog\left(\frac{1}{4}\sum\_{}^{}1.09+1.88+2.98+1.19\right)=3.14$$

Hasil perhitungan Rasio S/N untuk baku mutu BODs, TSS serta Minyak dan Lemak dapat dilihat dengan tabel 7, 8 dan 9 berikut ini :

Tabel 7. Perhitungan Rasio S/N untuk BODs

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Eksperimen | Replikasi BODs | S/N |
| R1 | R2 | R3 | R4 |
| 1 | 22,37 | 22,47 | 22,51 | 24,26 | 27,18 |
| 2 | 23,73 | 24,23 | 24,32 | 24,81 | 27,70 |
| 3 | 18,31 | 18,46 | 18,54 | 19,39 | 25,42 |
| 4 | 25,08 | 25,24 | 25,65 | 27,16 | 28,21 |
| 5 | 25,76 | 26,70 | 26,02 | 27,31 | 28,44 |
| 6 | 25,08 | 25,95 | 25,70 | 26,29 | 28,21 |
| 7 | 25,08 | 25,13 | 25,48 | 25,69 | 28,08 |
| 8 | 21,68 | 22,56 | 22,60 | 22,81 | 27,00 |
| 9 | 27,12 | 27,65 | 27,41 | 28,09 | 28,81 |

Tabel 8. Perhitungan Rasio S/N untuk TSS

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Eksperimen | Replikasi BODs | S/N |
| R1 | R2 | R3 | R4 |
| 1 | 51,73 | 51,86 | 51,82 | 51,99 | 34,29 |
| 2 | 45,60 | 46,19 | 46,10 | 46,78 | 33,29 |
| 3 | 45,20 | 45,44 | 45,35 | 45,68 | 33,14 |
| 4 | 26,93 | 27,50 | 27,09 | 28,07 | 28,75 |
| 5 | 27,47 | 27,72 | 28,41 | 27,98 | 28,91 |
| 6 | 14,19 | 14,81 | 15,06 | 15,42 | 23,43 |
| 7 | 15,60 | 16,00 | 15,64 | 16,40 | 24,03 |
| 8 | 18,53 | 19,45 | 19,41 | 20,36 | 25,76 |
| 9 | 27,60 | 27,89 | 28,13 | 28,18 | 28,93 |

Tabel 9. Perhitungan Rasio S/N untuk Minyak dan Lemak

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Eksperimen | Replikasi BODs | S/N |
| R1 | R2 | R3 | R4 |
| 1 | 1,09 | 1,88 | 2,98 | 1,19 | 3,14 |
| 2 | 0,31 | 1,08 | 1,40 | 0,82 | -5,21 |
| 3 | 0,65 | 1,08 | 1,73 | 0,80 | -1,07 |
| 4 | 1,19 | 2,07 | 3,26 | 1,34 | 4,01 |
| 5 | 1,00 | 1,55 | 2,55 | 1,94 | 3,38 |
| 6 | 0,39 | 1,21 | 1,60 | 1,26 | -3,16 |
| 7 | 0,44 | 0,61 | 1,05 | 0,49 | -5,09 |
| 8 | 0,28 | 1,12 | 1,41 | 1,16 | -5,68 |
| 9 | 0,93 | 0,97 | 1,90 | 1,46 | 1,30 |

**ANOVA Rasio S/N**

Setelah dilakukan perhitungan Rasio S/N, maka dilakukan perhitungan ANOVA. Berikut merupakan ANOVA untuk rasio S/N pada tabel 10.

Tabel 10 Perhitungan ANOVA untuk Rasio S/N

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Sumber/Faktor | V | BODs | TSS | Minyak/Lemak |
| SS | MS | SS | MS | SS | MS |
| A | 2 | 3.8581 | 1.9291 | 97.28519 | 48.6426 | 31.359 | 15.68 |
| B | 2 | 0.1869 | 0.0935 | 1.024707 | 0.51235 | 15.211 | 7.605 |
| C | 2 | 1.4803 | 0.7402 | 9.605775 | 4.80289 | 5.6173 | 2.809 |
| D | 2 | 2.87 | 1.435 | 21.92044 | 10.9602 | 75.438 | 37.72 |
| SSfaktor Total |  | 27611.5 |  | 30693.06 |  | 921.27 |  |
| Error | 18 | 34.65 |  | 395.78 |  | 762.37 |  |
| Total | 26 | 43.043 |  | 525.6194 |  | 889.99 |  |

Hasil perhitungan ANOVA, akan menjadi masukan untuk *Pooling Up* Faktor Rata-Rata Rasio S/N. Penggabungan faktor sebagai *error* dimulai dari faktor yang memiliki *sum of square* (SS) terkecil digabungkan ke dalam *pooled error* kemudian diuji-F terhadap *pooled error* tersebut. Banyaknya faktor yang akan di *pool* yaitu setengah dari jumlah faktor utama, sehingga pada penentuan faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas limbah ini hanya memerlukan 3 atau 4 faktor utama untuk di pooling.

 Untuk kualitas baku mutu limbah BODs, TSS dan kandungan minyak lemak setelah dilakukan *pooling up* faktor. Faktor yang paling berpengaruh adalah Faktor A (media filter zeolite: arang aktif) dan Faktor D (jumlah plat) terhadap kualitas baku limbah. Faktor-faktor ini akan menjadi masukan dalam proses rancang bangun media filtrasi pengolahan air limbah.

Berdasarkan Eksperimen Taguchi dan melalui proses pooling up faktor yang dilakukan dengan menggunakan karakteristik kualitas yang dituju, yaitu *smaller the better* diperoleh hasil kombinasi media filter yang paling optimal untuk BOD yaitu perbandingan zeolite dan arang aktif sebesar 50:50 dengan jumlah plat sebanyak 6 plat; untuk TSS perbandingan zeolite dan arang aktif sebesar 70:30 dengan jumlah plat sebanyak 4 plat; dan untuk Minyak/Lemak yaitu perbandingan zeolite dan arang aktif sebesar 70:30 dengan jumlah plat sebanyak 4 plat.

**Penentuan Nilai Prediksi Baku Mutu Limbah**

Setelah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas baku mutu limbah melalui *pooling up* faktor. Maka dilakukan perhitungan prediksi rata-rata optimal untuk BODs, TSS dan Minyak Lemak. Berikut perhitungan manual untuk $μ prediksi$ BODs

$μ prediksi$ = $\overbar{Y}+\left(\overbar{A\_{1}}- \overbar{Y}\right)+\left(\overbar{D\_{3}}- \overbar{Y}\right) $

= 24,35 + (21,95 – 24,35) + (22,29 – 24,35)

 = 19,89

Hasil rekapitulasi $μ prediksi$ untuk nilai mean hasil eksperimen dan Rasio S/N dapat dilihat pada tabel 11 berikut ini :

Tabel 11 $μ\_{ prediksi}$ untuk nilai mean dan S/N

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| $$μ\_{ prediksi}$$ | Mean | S/N |
| BODs | 19,89 | 25.97 |
| TSS | 15.98 | 24.21 |
| Minyak Lemak | 0.59 | -6.71 |

1. **KESIMPULAN DAN SARAN**

Faktor- faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas air limbah IKM dan rumah makan antara lain BODs, TSS serta kandungan Minyak dan Lemak. Berdasarkan eksperimen Taguchi dengan menggunakan karakteristik kualitas yang dituju, *yaitu smaller the better* diperoleh hasil kombinasi media filter yang paling optimal untuk BODs yaitu perbandingan zeolite dan arang aktif sebesar 50:50 dengan jumlah plat sebanyak 6 plat; untuk TSS perbandingan zeolite dan arang aktif sebesar 70:30 dengan jumlah plat sebanyak 4 plat; dan untuk Minyak/Lemak yaitu perbandingan zeolite dan arang aktif sebesar 70:30 dengan jumlah plat sebanyak 4 plat. Sehingga dapat disimpulkan kondisi optimal terpilih untuk rancang bangun IPAL *portable* yakni perbandingan zeolit dan arang aktif sebesar 70:30 dengan jumlah plat sebanyak 4.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu ditambahnya faktor dan level untuk melakukan eksperimen taguchi untuk meningkatkan kualitas mutu dari IPAL. Selain itu rancang bangun IPAL kedepannya dapat dikaji lagi kapasitasnya untuk skala industri yang lebih besar sehingga tidak hanya untuk skala IKM saja.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aber, S., Salari, D., & Parsa, M. R. (2010). Employing the Taguchi method to obtain the optimum conditions of coagulation-flocculation process in tannery wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, *162*(1), 127–134. https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.05.012

Aikenhead, G., Farahbakhsh, K., Halbe, J., & Adamowski, J. (2015). Application of process mapping and causal loop diagramming to enhance engagement in pollution prevention in small to medium size enterprises: Case study of a dairy processing facility. *Journal of Cleaner Production*, *102*, 275–284. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.069

Alinsafi, A., Khemis, M., Pons, M. N., Leclerc, J. P., Yaacoubi, A., Benhammou, A., & Nejmeddine, A. (2005). Electro-coagulation of reactive textile dyes and textile wastewater. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *44*(4), 461–470. https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.06.010

Chandra, B. (2007). *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.

Fukushima, Y., & Tan, Y. S. (2014). A systematic framework to assess the feasibility and effectiveness of carbohydrate-rich wastewater treatment with bioresource exploitation alternatives in small- and medium-sized enterprises. *Journal of Cleaner Production*, *74*, 172–182. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.058

Ginting, P. (2007). *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Bandung: Yrama Widya.

Hanum, F., Tambun, R., Ritonga, M. Y., Kasim, W. W., Kimia, D. T., Teknik, F., … Aluminium, E. (2015). Aplikasi elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit, *4*(4), 13–17.

Holt, P.K. ; G.W, Barton ; C.A, M. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemos Phere*, *59*(3), 355–367.

Ioannou-Ttofa, L., Michael-Kordatou, I., Fattas, S. C., Eusebio, A., Ribeiro, B., Rusan, M., … Fatta-Kassinos, D. (2017). Treatment efficiency and economic feasibility of biological oxidation, membrane filtration and separation processes, and advanced oxidation for the purification and valorization of olive mill wastewater. *Water Research*, *114*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.020

Kobya, M., Can, O. T., & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, *100*(1–3), 163–178. https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00102-X

Ngatin, Agustinus; Sarungu, Yunus; Gozali, M. (2010). Pengaruh Pasangan Elektroda Terhadap Proses Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Air Buangan Industri Tekstil. *Jurnal Refrigerasi, Tata Udara Dan Energi*, *Vol.4*, *No*, 421.

Palar, H. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*.

Reddithota, D., Yerramilli, A., & Krupadam, R. J. (2007). Electrocoagulation: A cleaner method for treatment of Cr(VI) from electroplating industrial effluents. *Indian Journal of Chemical Technology*, *14*(3), 240–245.

Ross, P. . (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York: Mc Graw-Hill Companies Inc.

Siringo, E; Kusrijadi, A; Sunarya, Y. (2013). Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Aluminium Sebagai Sacrificial Electrode. *Jurnal Sains Dan Teknologi Kimia*, *Volume 4.*, 96–107.

Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi* (Edisi Pert). Yogyakarta: Graha Ilmu.

Sulaksono, A., Effendi, H., & Kurniawan, B. (2015). Kajian Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Kecil Menengah (Ikm) Batik Klaster Trusmi Kabupaten Cirebon. *2015*, *5*(1), 17–24. https://doi.org/10.19081/jpsl.2015.5.1.17

Ulrich, Karl; Eppinger, S. (2001). *Perancangan dan Pengembangan Produk* (Second Edi). Singapore: The McGraw-Hill Companies.