



**KOMPARASI BIJI KELOR BERKULIT DAN BIJI KELOR TANPA
KULIT PADA PROSES KOAGULASI FLOKULASI LIMBAH CAIR KOPI
METODE BASAH**

SKRIPSI

Oleh

**Wendy Dreifyana M.
NIM 111710201009**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**KOMPARASI BIJI KELOR BERKULIT DAN BIJI KELOR TANPA
KULIT PADA PROSES KOAGULASI FLOKULASI LIMBAH CAIR KOPI
METODE BASAH**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Jurusan Teknik Pertanian (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian

Oleh

**Wendy Dreifyana M
NIM 111710201009**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah dengan penuh rasa syukur kepada Allah swt., skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, Achmad Misran dan Maslaha.



MOTO

Barangsiapa belum merasakan pahitnya belajar walau sebentar, maka ia akan
menanggung perihnya kebodohan

(Imam Syafii)

Atau

And Allah foud you lost and giuded you, never let you down and never hates you

(QS. Ad Dhuha)

Atau

There can be miracles when you believe though hope is frail, its hard to kill

(Mariah Carey)

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama :Wendy Dreifyana M.

NIM :111710201009

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Studi Komparasi Pemanfaatan Biji Kelor Berkulit dan Biji Kelor Tanpa Kulit Pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pengolahan Kopi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali dalam kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Adapun data yang terdapat di dalam tulisan ini dan hak publikasi adalah milik Laboratorium Teknologi Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,4 Mei 2015

Yang menyatakan,

Wendy Dreifyana M.
NIM111710201009

SKRIPSI

**KOMPARASI BIJI KELOR BERKULIT DAN BIJI KELOR TANPA
KULIT PADA PROSES KOAGULASI FLOKULASI LIMBAH CAIR KOPI
METODE BASAH**

Oleh

**Wendy Dreifyana M.
NIM111710201009**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama :Dr. Elida Novita, S.TP., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota :Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Komparasi Pemanfaatan Biji Kelor Berkulit dan Biji Kelor Tanpa Kulit Pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Kopi Metode Basah” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal :
tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Tim penguji:

Ketua,

Anggota,

Ir. Hamid Ahmad
NIP. 195502271984031002

Ririn Endah Badriani S.T.,M.T
NIP. 196912121998021001

Mengesahkan

Dekan,

Dr. Yuli Witono, S.TP., M.P.
NIP. 196912121998021001

SUMMARY

Comparative Of Utilization Shelled Moringa Seed And Unshell Moringa Seed In Coagulation Flocculation Wet Method Coffe Wastewater Process . Wendy Dreifyana Marsut, 111710201009; 2015: 56 pages; Department Of Agricultural Engineering Faculty Of Agricultural Technology University Of Jember.

Processing of coffee by the wet method produces a residue in the form of the washing water into the coffee liquid waste. The wastewater is acidic and have a complex structure that is not easily biodegradable. This liquid wastewater cause environmental pollution if discharged without treatment first. One of waste treatment that can be applied is coagulation flocculation. Waste treatment with coagulation flocculation aided by the addition of coagulant. Coagulant used in this study is a natural coagulant Moringa seeds.

This study aims to comparative study between the use of moringa seeds as coagulant in two conditions, that is shelled moringa seed and unshell moringa seed to decrease coffee effluent quality parameters such as pH, turbidity, TSS and COD. Moringa seeds are used as a coagulant divided into variations in particle size that is 60, 70 and 80 mesh. The purpose is to determine the effect of particle size on the decline of coffee wastewater quality parameters such as pH, turbidity, TSS and COD. Combination treatment coagulant of moringa seeds then added to 500 ml of liquid waste coffee with rotation speed, optimum pH and optimum dosage that has been done in the preliminary study. Results of preliminary research found flocculator rotation speed of 400 rpm, optimum pH 9 and optimum dosage 3 grams / 500 liter.

The results showed the final pH value in all treatment combinations have the value corresponding to the predetermined quality standards. The pH value of shelled moringa seeds on the particle size 60, 70 and 80 mesh respectively 7.1; 6.8 and 6.9 while for unshell moringa seed treatment without skin has a pH value of 8.0; 8.0 and 8.1.

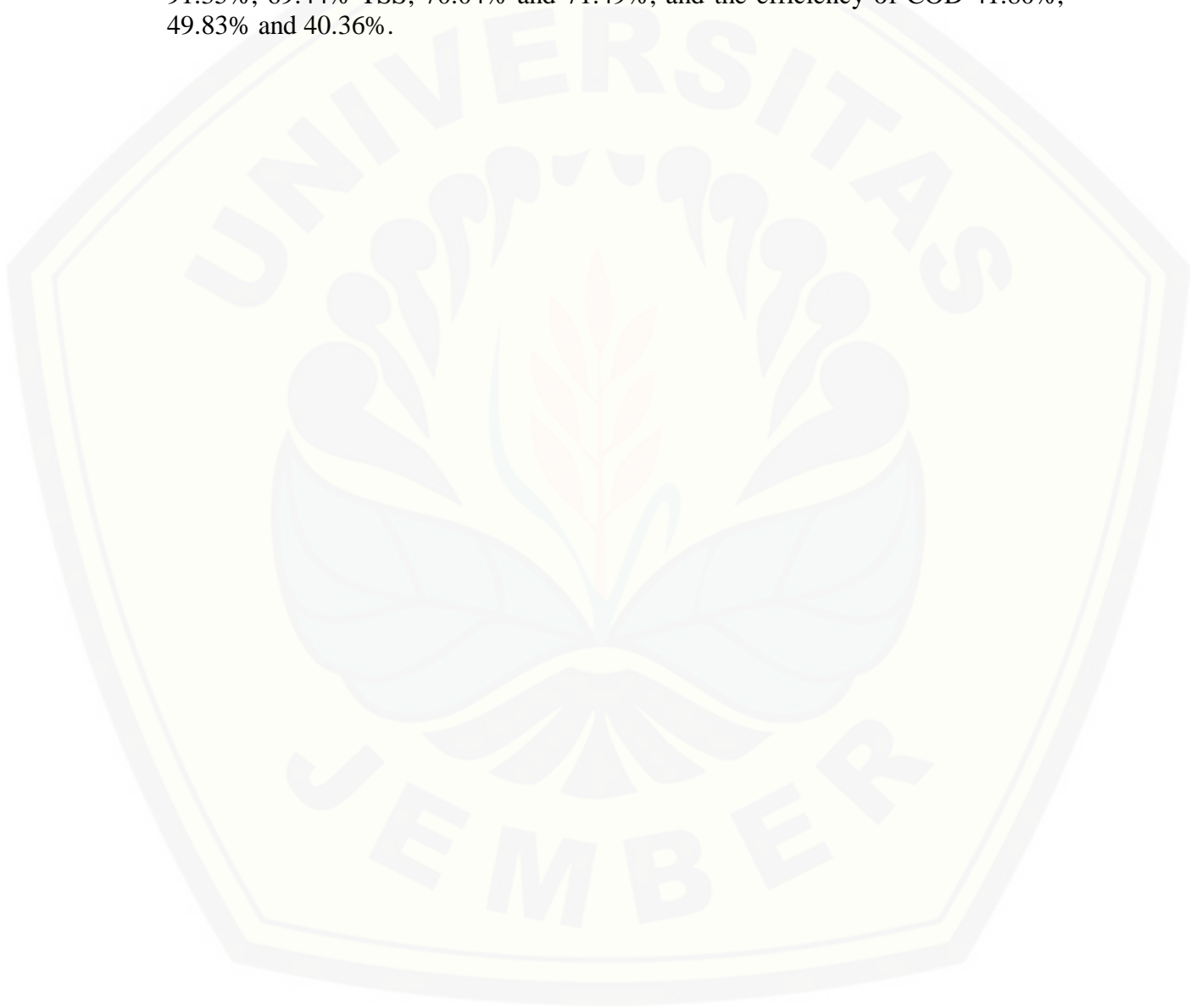
Initial turbidity value in the treatment of moringa seed crusted 448 NTU be 647.67 on the particle size of 60 mesh and then falling back to 425.67 NTU on the particle size of 70 mesh and a decline in the particle size of 80 mesh becomes 98.07 NTU while the moringa seed treatment skinless which owns 394.5 NTU initial turbidity fell to 52.93 NTU on the particle size of 60 mesh and then further down to 49.57 NTU at treatment particle size of 70 mesh and 38.70 NTU on the particle size of 80 mesh

TSS values early in Moringa seed treatment amounting crusted 126.79 mg / l rose to 189.7 mg / l on the particle size of 60 mesh, then dropped to 134.45 mg / l on the particle size of 70 mesh and continues to decline to 57.38 mg / l on the particle size of 80 mesh. TSS initial value for moringa seeds without skin of 139.95 mg / l decrease in all particle sizes. TSS values on the particle size of 60 mesh fell to 42.67 mg / l, then dropped to 41.93 mg / l on the particle size of 70 mesh and continue to drop to 39.27 mg / l on the size of 80 mesh.

COD value of the initial waste treatment moringa seed crusted of 3360 mg / l the higher becomes 3626.67 mg / l on the particle size of 60 mesh. The value then becomes 3040.00 on the particle size of 70 mesh; and 3493.33 on the particle size

of 80 mesh. COD value of the initial waste for treatment of moringa seed skinless 3762 mg / l down to 2189.67 mg /l for the treatment of a particle size of 60 mesh and then dropped to 1887.33 mg /l on the particle size of 70 mesh and climbed back into 2243.33 mg/l on the particle size of 80 mesh.

The value of efficiency in the treatment of moringa seed crusted on the particle size 60,70 and 80 mesh for turbidity is -64.17%; -7.90% And 75.14%, while for TSS -49.12%; - 6.04% and 5751% and COD -7.43%, 10.98% and - 2.85%. whereas for moringa seeds without skin on the particle size of 80 mesh 60.70 and have the value of the efficiency of turbidity of 88.15; 88.93% and 91.35%, 69.44% TSS; 70.04% and 71.49%, and the efficiency of COD 41.80%, 49.83% and 40.36%.



RINGKASAN

Studi Komparasi Pemanfaatan Biji Kelor Berkulit dan Biji Kelor Tanpa Kulit pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Kopi; Wendy Dreifyana Marsut, 111710201009; 2015: 56 halaman. Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Pengolahan kopi dengan cara basah menghasilkan residu berupa air cucian yang menjadi limbah cair kopi. Limbah cair tersebut bersifat asam dan memiliki struktur yang kompleks sehingga tidak mudah terurai secara biologis. Limbah cair ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan apabila dibuang tanpa dilakukan penanganan terlebih dahulu. Salah satu penanganan limbah yang dapat diterapkan adalah dengan koagulasi flokulasi. Penanganan limbah dengan koagulasi flokulasi dibantu dengan penambahan koagulan. Koagulan yang digunakan pada penelitian ini adalah koagulan alami biji kelor.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi komparasi antara penggunaan biji kelor sebagai koagulan dalam dua kondisi yaitu biji kelor berkulit dan biji kelor tanpa kulit pada penurunan parameter kualitas limbah cair kopi seperti pH, kekeruhan, TSS dan COD. Biji kelor yang digunakan sebagai koagulan dibagi lagi menjadi variasi ukuran partikel yaitu 60, 70 dan 80 mesh. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap penurunan parameter kualitas limbah cair kopi seperti pH, kekeruhan, TSS dan COD. Kombinasi perlakuan koagulan biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit kemudian ditambahkan pada 500 ml limbah cair kopi dengan kecepatan putaran, pH dan dosis optimum yang telah dilakukan pada penelitian pendahuluan. Hasil dari penelitian pendahuluan didapatkan kecepatan putaran flokulator 400 rpm, pH optimum 9 dan dosis optimum 3 gram/500 liter.

Hasil penelitian menunjukkan nilai pH akhir pada semua kombinasi perlakuan memiliki nilai yang sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Nilai pH perlakuan biji kelor berkulit pada ukuran partikel 60, 70 dan 80 mesh berturut-turut 7,1; 6,8 dan 6,9 sedangkan untuk perlakuan biji kelor tanpa kulit memiliki nilai pH 8,0; 8,0 dan 8,1.

Nilai kekeruhan awal pada perlakuan biji kelor berkulit 448 NTU menjadi 647,67 pada ukuran partikel 60 mesh kemudian turun kembali menjadi 425,67 NTU pada ukuran partikel 70 mesh dan makin menurun pada ukuran partikel 80 mesh menjadi 98,07 NTU sedangkan pada perlakuan biji kelor tanpa kulit yang memiliki kekeruhan awal 394,5 NTU turun menjadi 52,93 NTU pada ukuran partikel 60 mesh kemudian semakin turun hingga 49,57 NTU pada perlakuan ukuran partikel 70 mesh dan 38,70 NTU pada ukuran partikel 80 mesh.

Nilai TSS awal pada perlakuan biji kelor berkulit sebesar 126,79 mg/l naik menjadi 189,7 mg/l pada ukuran partikel 60 mesh, kemudian turun menjadi 134,45 mg/l pada ukuran partikel 70 mesh dan terus menurun menjadi 57,38 mg/l pada ukuran partikel 80 mesh. Nilai TSS awal untuk biji kelor tanpa kulit sebesar 139,95 mg/l semakin menurun pada semua ukuran partikel. Nilai TSS pada ukuran partikel 60 mesh turun menjadi 42,67 mg/l, kemudian turun menjadi 41,93 mg/l pada ukuran partikel 70 mesh dan terus menurun menjadi 39,27 mg/l pada ukuran 80 mesh.

Nilai COD limbah awal dari perlakuan biji kelor berkulit sebesar 3360 mg/l semakin tinggi menjadi 3626,67 mg/l pada ukuran partikel 60 mesh. Nilai tersebut kemudian menjadi 3040,00 pada ukuran partikel 70 mesh; dan 3493,33 pada ukuran partikel 80 mesh. Nilai COD limbah awal untuk perlakuan biji kelor tanpa kulit sebesar 3762 mg/l turun menjadi 2189,67 mg/l untuk perlakuan ukuran partikel 60 mesh kemudian turun menjadi 1887,33 mg/l pada ukuran partikel 70 mesh dan naik kembali menjadi 2243,33 mg/l pada ukuran partikel 80 mesh.

Nilai efisiensi pada perlakuan biji kelor berkulit pada ukuran partikel 60,70 dan 80 mesh untuk kekeruhan adalah -64,17%; -7,90% dan 75,14% sedangkan untuk TSS -49,12%; -6,04% dan 5751% dan COD -7,43%; 10,98% dan -2,85%. sedangkan untuk biji kelor tanpa kulit pada ukuran partikel 60,70 dan 80 mesh memiliki nilai efisiensi kekeruhan sebesar 88,15%; 88,93% dan 91,35%, TSS 69,44%; 70,04% dan 71,49% dan nilai efisiensi COD 41,80%; 49,83% dan 40,36%.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Studi Komparasi Pemanfaatan Biji Kelor Berkulit dan Biji Kelor Tanpa Kulit Pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pengolahan Kopi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Elida Novita, S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan tenaga, waktu, pikiran, dan perhatian serta kesabaran berusaha memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
2. Ir. Hamid Ahmad dan Ririn Endah Badriani, S.T. M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan selama proses penulisan;
3. Dr. Yuli Witono S.TP., M.P. selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember, Dr.Ir.Bambang Marhaenanto,M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Dr. Dedy W. Soedibyo S.TP., Msi. selaku Dosen Pembimbing Anggota dan juga Ir.Muharjo Pudjojono selaku Komisi Bimbingan Teknik Pertanian;
4. Kedua orang tuaku, Achmad Misrandan Maslaha serta Kakakku Henie Yuniarsih yang telah memberi perhatian, bimbingan, doa dan kerja keras;
5. Teman-teman TEP 2011 yang telah berbagi pengalaman suka dan duka;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Jember, 4 Mei 2015

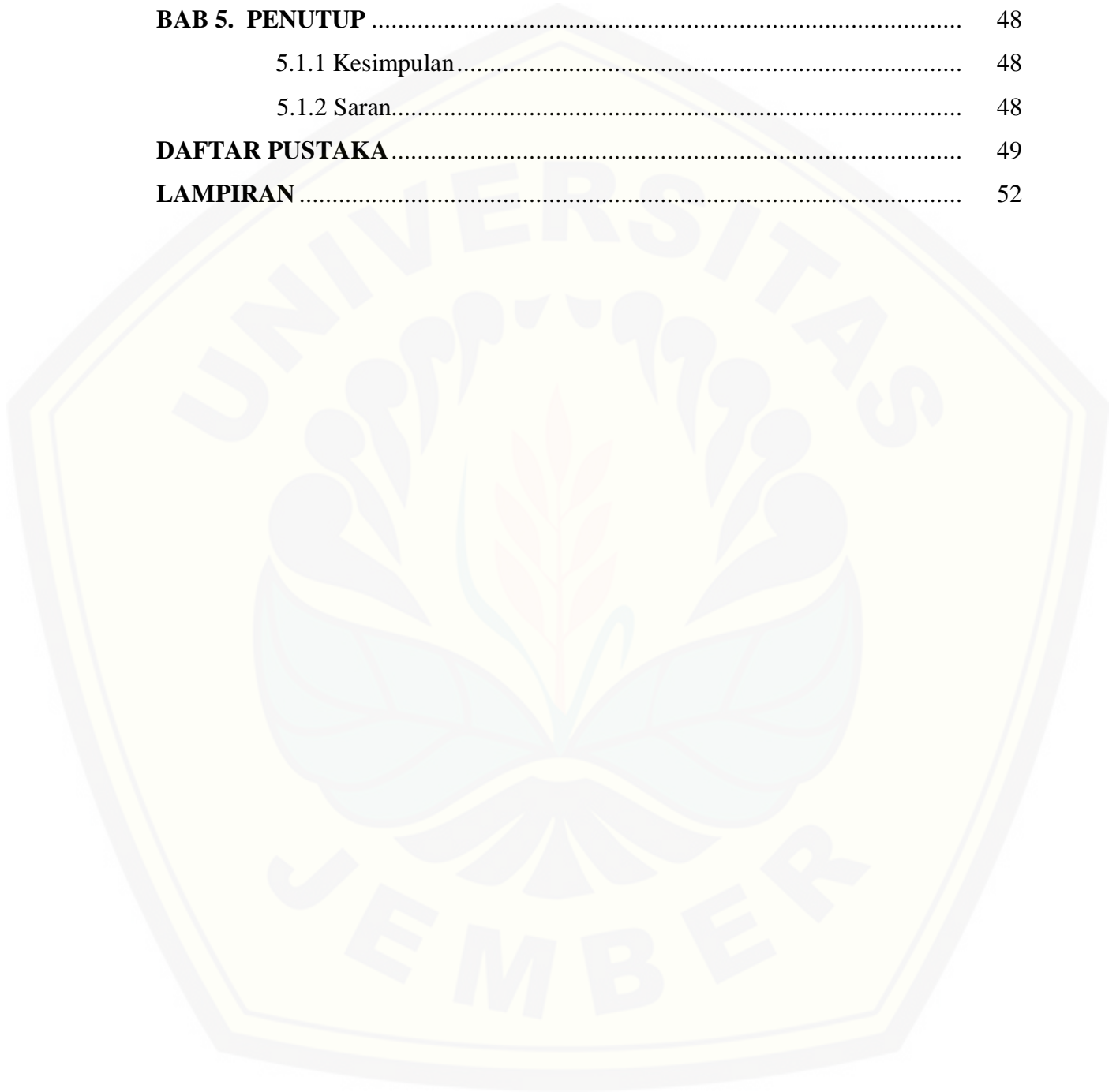
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SUMMARY	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kopi	4
2.1.1 Penanganan Pascapanen Kopi	5
2.1.2 Limbah Cair Kopi	5
2.2 Parameter Kualitas Air	6
2.2.1 Parameter Fisika	7
2.2.2 Parameter Kimia	7
2.2.3 Parameter Biologi	8
2.3 Koagulasi Flokulasi	8

2.3.1 Tahapan Terjadinya Koagulasi Flokulasi.....	9
2.3.2 Koagulan	10
2.3.4 Biji Kelor	10
2.4 Biji Kelor.....	10
2.5 Analisis Data.....	13
2.5.1 Analysis Of Variance	13
2.4.2 Efisiensi.....	13
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	14
3.2.1 Alat	14
3.2.2 Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	15
3.3.1 Penelitian Pendahuluan	16
3.3.2 Penelitian Utama.....	17
3.3.3 Rancangan Penelitian	18
3.3.4 Parameter Pengamatan	19
3.4 Analisis Data.....	21
3.4.1 Uji ANOVA	21
3.4.2 Efisiensi.....	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Karakteristik Limbah Cair Kopi	22
4.2 Penelitian Pendahuluan.....	25
4.2.1 Pembuatan Serbuk Biji Kelor	25
4.2.2 Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum.....	26
4.2.3 Penentuan pH Optimum	29
4.2.4 Penentuan Dosis Optimum	30
4.3 Penelitian Utama.....	32
4.3.1 Analisa pH.....	32
4.3.2 Analisa Kekeruhan.....	33
4.3.3 Analisa TSS	35

4.3.4 Analisa COD.....	38
4.4 Hasil Uji ANOVA	41
4.5 Efisiensi Kombinasi Perlakuan	44
BAB 5. PENUTUP	48
5.1.1 Kesimpulan.....	48
5.1.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	52



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman	
2.1	Kandungan Protein pada Biji Kelor.....	12
3.1	Kandungan Protein pada Biji Kelor.....	18
4.1	Karakteristik Limbah Cair Kopi Sidomulyo.....	22
4.2	Baku Mutu Limbah Cair Industri Kopi dan Kakao.....	25
4.3	Hasil Uji ANOVA Penelitian Utama.....	42
4.4	Hasil Uji Duncan.....	43
4.5	Efisiensi Kombinasi Perlakuan.....	45

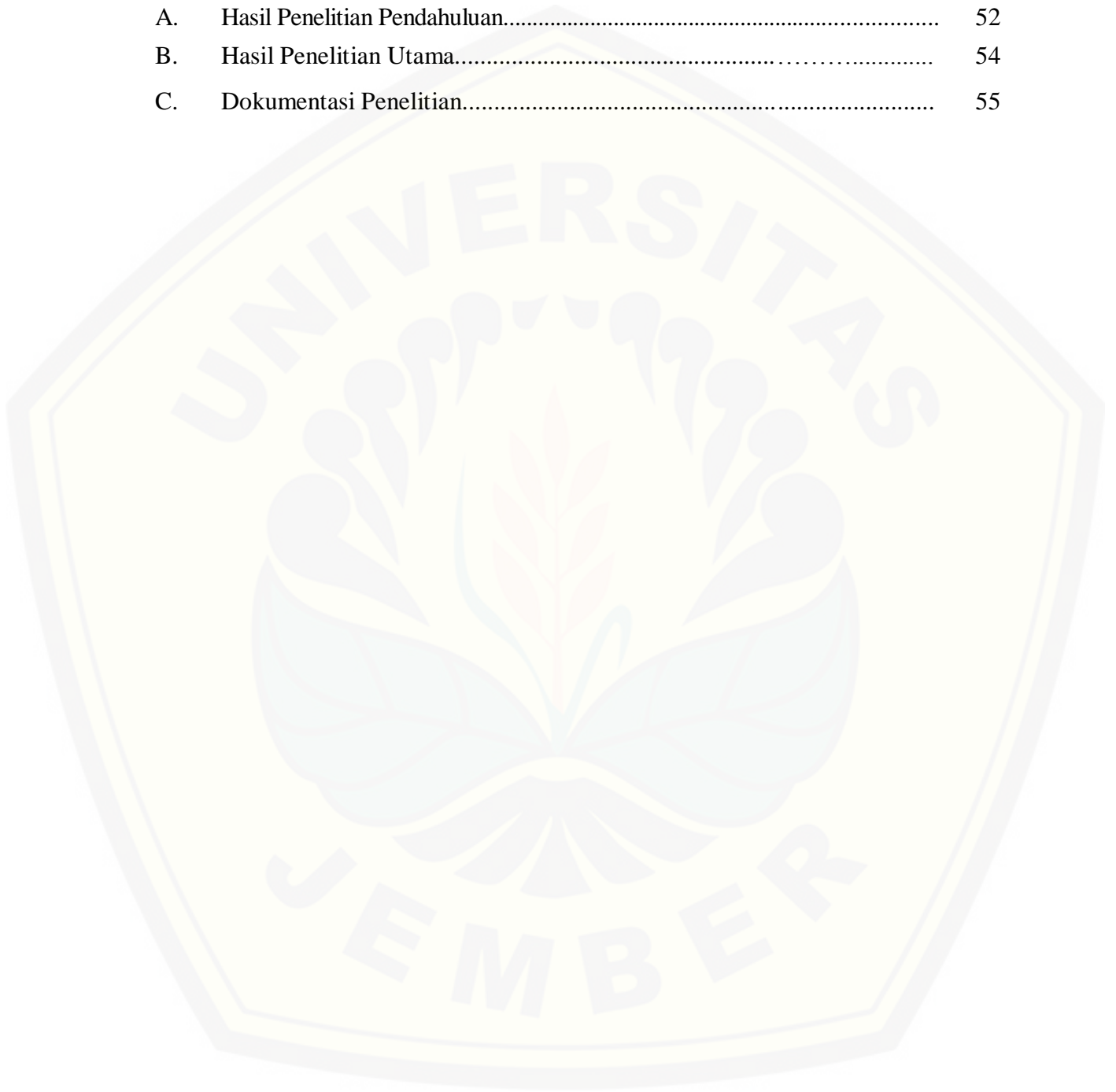
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Kelor Dalam Berbagai Kondisi.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
4.1 Limbah Cair Kopi Perkebunan Sidomulyo.....	23
4.2 Proses Pembuatan Koagulan.....	26
4.3 Hasil Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum.....	27
4.4 Hasil Penentuan pH Optimum.....	29
4.5 Hasil Penentuan Dosis Optimum.....	31
4.6 Grafik Komparasi pH.....	32
4.7 Grafik Komparasi Kekeruhan.....	34
4.8 Grafik Komparasi TSS.....	36
4.9 Grafik Komparasi COD.....	39
4.10 Grafik Efisiensi Kombinasi Perlakuan.....	45

DAFTARLAMPIRAN

Halaman

A.	Hasil Penelitian Pendahuluan.....	52
B.	Hasil Penelitian Utama.....	54
C.	Dokumentasi Penelitian.....	55



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang masuk dalam 5 besar penghasil kopi terbesar di dunia. Menurut Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia (2012), areal perkebunan kopi di Indonesia pada tahun 2010 mencapai lebih dari 1,210 juta hektar dengan total produksi sebesar 686.921 ton dimana 96% diantaranya adalah areal perkebunan kopi rakyat, dengan jumlah petani yang terlibat sebanyak 1.881.694 KK. Laju perkembangan areal kopi di Indonesia rata-rata mencapai sebesar 2,11% per tahun. Di Kabupaten Jember, sebaran luasan areal kopi rakyat mencapai 5.524,01 Ha yang tersebar di 8 Kecamatan. Terdapat dua macam cara pengolahan buah kopi menjadi biji kopi, yaitu cara kering dan cara basah. Pengolahan dengan cara kering lebih ramah lingkungan tetapi cukup sulit untuk melakukan pengontrolan terhadap kualitas yang seragam dan tepat. Pengolahan cara basah memberikan kualitas biji yang lebih baik, harga lebih tinggi dan pengontrolan kualitas lebih terjamin (Novita, 2012).

Pengolahan cara basah berkaitan erat dengan masalah limbah cair. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan oleh Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, diperlukan air sebanyak 10 – 30 m³ per ton buah kopi yang berpotensi menjadi limbah cair. Limbah cair proses basah tersebut memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan dapat mengganggu kehidupan organisme. Pencemaran lingkungan akibat adanya limbah cair kopi yang tidak ditangani antara lain rusaknya ekosistem perairan apabila limbah tersebut langsung dibuang ke badan sungai. Adanya pengurangan oksigen terlarut karena permintaan oksigen untuk menguraikan organik material melebihi ketersediaan oksigen menyebabkan kondisi anaerobik. Kondisi ini dapat berakibat fatal untuk makhluk yang berada dalam air dan juga bisa menyebabkan bau, lebih jauh lagi, bakteri yang dapat menyebabkan masalah kesehatan dapat meresap ke sumber air minum.

Salah satu penanganan dalam mengatasi masalah limbah cair kopi adalah koagulasi flokulasi. Menurut Kuntty (2007), koagulasi adalah proses pengolahan air atau limbah cair dengan cara menstabilisasi partikel-partikel koloid dan

suspended solid yang didalamnya berupa bakteri dan virus yang dihasilkan melalui kompresi lapisan ganda yang bermuatan listrik dan mengelilingi permukaan partikel, sedangkan flokulasi adalah proses pengolahan air dengan cara mengadakan kontak diantara partikel-partikel koloid yang telah mengalami destabilisasi sehingga ukuran partikel-partikel tersebut menjadi lebih besar.

Koagulan yang digunakan dalam proses koagulasi flokulasi ini adalah koagulan alami berupa biji kelor kering yang biasa juga disebut dengan *klentang*. Penelitian yang dilakukan oleh Bangun *et al.* (2013), mengemukakan bahwa biji kelor mampu mengurangi kandungan pencemar dengan penurunan turbiditas 77,4%, penurunan TSS 90% dan penurunan COD 63% pada sampel berupa limbah cair industri tahu dan dosis biji kelor sebanyak 5 gram/200 ml. Biji kelor yang digunakan pada penelitian tersebut merupakan biji kelor yang telah dipisahkan dari kulitnya dan dikondisikan ukurannya menjadi 70 mesh sedangkan penelitian koagulasi menggunakan biji kelor berkulit yang dilakukan oleh Hasanah (2014), dengan menggunakan limbah cair mocaf memiliki penurunan turbiditas 59,79%, penurunan TSS 75,46% dan penurunan COD 32,55% dengan dosis 850 mg/l.

Pengolahan limbah cair kopi menggunakan metode koagulasi flokulasi ini merupakan salah satu pengolahan limbah primer secara fisik yang berujuan untuk memisahkan bahan-bahan pencemar yang terdapat pada limbah yang terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Limbah cair hasil proses koagulasi flokulasi ini diharapkan bisa dikonversikan dan diolah kembali ke pengolahan sekunder agar menjadi bahan yang memiliki nilai guna seperti bioetanol dan biogas dengan bantuan pengolahan. Penelitian ini juga akan menguji adanya perbedaan antara pemanfaatan biji kelor berkulit dan biji kelor tanpa kulit yang digunakan sebagai koagulan alami.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Berapa ukuran partikel biji kelor paling baik pada proses koagulasi flokulasi limbah cair kopi.
2. Perlakuan mana yang memiliki nilai efisiensi paling baik antara biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian meliputi pengukuran karakteristik limbah cair kopi, yaitu pH, kekeruhan, TSS, dan COD sebelum dan sesudah proses koagulasi flokulasi pada skala laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan dua metode perlakuan pada biji kelor, yaitu biji kelor berkulit dan biji kelor tanpa kulit dengan perbedaan ukuran partikel masing-masing yaitu 60 , 70 dan 80 mesh.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perlakuan ukuran partikel biji kelor paling baik pada proses koagulasi flokulasi limbah cair kopi.
2. Mengetahui nilai efisiensi paling baik antara biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah memberikan informasi cara menangani masalah pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah cair kopi serta dapat memberikan informasi perlakuan biji kelor terbaik untuk diterapkan pada proses koagulasi flokulasi limbah cair kopi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi

Kopi (*Coffea spp*) merupakan tanaman berbentuk pohon yang termasuk ke dalam family *Rubiaceae* dan genus *Coffea*. Kopi menyebar di Sumatera, Jawa, Bali, Sulawesi dan Nusa Tenggara Timur. Lebih dari 90% tanaman kopi Indonesia diusahakan oleh rakyat dan sisanya diolah oleh perkebunan besar seperti PTPN maupun perkebunan swasta. Indonesia memiliki luas areal rata-rata sebesar 1,44 Ha, dengan Sumatera sebagai kepulauan yang memiliki areal perkebunan kopi terluas yaitu dengan rata-rata 1,71 Ha (Tanimedia, 2013). Sistematika tanaman kopi menurut Rahardjo, (2012) adalah sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*

Sub kingdom : *Tracheobionita*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*

Sub Kelas : *Astridae*

Ordo : *Rubiaceae*

Genus : *Coffea*

Terdapat beberapa jenis kopi yang tersebar di seluruh wilayah di Indonesia diantaranya adalah :

a. Kopi Arabika

Kopi ini ditanam pada dataran tinggi yang memiliki iklim kering sekitar 1350-1850 m dari permukaan laut. Sedangkan di Indonesia sendiri kopi ini dapat tumbuh dan berproduksi pada ketinggian 1000 – 1750 m dari permukaan laut. Kopi ini memiliki tingkat aroma dan rasa yang kuat.

b. Kopi Liberika

Jenis kopi ini berasal dari dataran rendah Monrovia di daerah Liberia. Pohon kopi liberika tumbuh dengan subur di daerah yang memiliki tingkat kelembapan yang tinggi dan panas.

c. Kopi Robusta

Jenis kopi ini berasal dari Afrika, dari pantai barat sampai Uganda. Kopi robusta memiliki kelebihan dari segi produksi yang lebih tinggi di dibandingkan jenis kopi Arabika dan Liberika.

d. Kopi Hibrida

Kopi hibrida merupakan turunan pertama hasil perkawinan antara dua spesies atau varietas sehingga mewarisi sifat unggul dari kedua induknya. Namun, keturunan dari golongan hibrida ini sudah tidak mempunyai sifat yang sama dengan induk hibridanya.

2.1.1 Penanganan Pascapanen Kopi

Proses penanganan pascapanen kopi dimulai dari pemetikan buah secara manual dengan cara memetik buah yang telah masak. Ukuran kemasakan buah ditandai dengan perubahan warna kulit buah dilanjutkan dengan proses sortasi yang dilakukan untuk memisahkan buah yang superior (masak, bernas, seragam) dari buah inferior (cacat, hitam, pecah, berlubang dan terserang hama/penyakit). Sortasi buah dapat menggunakan air untuk memisahkan buah yang diserang hama. Kotoran seperti daun, ranting tanah dan kerikil harus dibuang karena dapat merusak mesin penggiling (Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, 2012).

Buah kopi merah diolah dengan cara proses basah atau semi-basah agar diperoleh biji kopi HS kering dengan kualitas yang baik sedangkan buah campuran hijau-kuning dan merah diolah dengan cara proses kering. Hal yang harus dihindari adalah menyimpan buah kopi di dalam karung plastik atau sak selama lebih dari 12 jam karena akan menyebabkan pra fermentasi sehingga aroma dan citarasa biji kopi menjadi tengik (Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, 2012).

2.1.2 Limbah Cair Kopi

Menurut Novita (2012), pengolahan buah kopi biasa dilakukan melalui dua cara yaitu cara basah dan cara kering. Metode pengolahan kering atau metode alami lebih ramah lingkungan tetapi cukup sulit untuk melakukan pengontrolan

terhadap kualitas yang seragam dan tepat. Metode pengolahan basah memberikan kualitas biji kopi yang lebih baik, harga lebih tinggi dan pengontrolan kualitas yang lebih terjamin. Akan tetapi masukan dari lingkungan yang dibutuhkan untuk proses seperti air lebih banyak. Proses pengolahan basah juga menghasilkan keluaran yang dapat menimbulkan pencemaran.

Berdasarkan kajian yang sudah dilakukan oleh Pusat Penelitian Kopi dan Kakao tahun 2010 diperlukan air sebanyak 10 – 30 m³ per ton buah kopi yang berpotensi menjadi limbah cair. Air limbah dari proses secara basah memiliki tingkat keasaman yang tinggi (Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, 2012).

Menurut Sariadi (2011), komponen utama dalam limbah cair kopi adalah bahan organik yang memiliki nilai COD hingga 50.000 mg/l dan nilai BOD hingga 20.000 mg/l. Limbah cair tersebut dapat mengakibatkan tingkat polusi yang tinggi seperti pengurangan oksigen karena nilai COD dan BOD yang tinggi. Karena adanya pengurangan oksigen terlarut maka kinerja oksigen untuk menguraikan material organik melebihi ketersediaan oksigen sehingga menyebabkan kondisi anaerobik yang dapat berakibat fatal untuk makhluk hidup yang ada di air. Kondisi ini juga dapat menyebabkan masalah kesehatan dan mengganggu kenyamanan akibat bau yang tidak sedap.

2.2 Kualitas Air

Menurut Rukaisih (2004), kualitas air merupakan parameter air yang dianalisis secara teliti sehingga menunjukkan mutu dan karakteristik air, hal ini ditentukan oleh jenis dan sifat bahan yang terkandung didalamnya. Bahan-bahan itu apabila tidak ditangani secara baik dapat menimbulkan pencemaran dan dapat menurunkan kualitas air.

Istilah pencemaran air bisa diartikan sebagai masuknya air oleh zat-zat yang tidak dikehendaki dengan konsentrasi diatas ambang batas yang telah ditentukan. Pengukuran kualitas air dilakukan dalam laboratorium dengan memperhatikan parameter-parameter zat pencemar.

Kualitas air limbah menunjukkan spesifikasi limbah yang diukur dari jumlah kandungan bahan pencemar di dalam limbah. Kandungan pencemar di dalam

limbah terdiri dari beberapa parameter. Semakin kecil jumlah parameter dan semakin kecil konsentrasinya, hal ini menunjukkan semakin kecil peluang untuk terjadinya pencemaran lingkungan (Kristanto, 2002). Beberapa parameter penentuan kualitas air antara lain :

2.2.1 Parameter Fisika

Parameter fisika yang digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi cahaya, suhu, kekeruhan, dan total padatan .

a. Kekeruhan

Menurut Ristiati (2007), kekeruhan merupakan intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan air umumnya disebabkan oleh adanya partikel tersuspensi seperti lumpur, bahan organik terlarut, plankton dll.

b. Total Padatan

Total padatan terdiri dari TDS (*Total Dissolved Solid*) dan TSS (*Total Suspended Solid*). TDS merupakan bahan-bahan terlarut dan koloid yang berupa senyawa kimia dan bahan lain yang tidak tersaring pada kertas filter berdiameter 0,45 μ m sedangkan TSS merupakan semua zat atau partikel yang tersuspensi dalam air dapat berupa komponen hidup seperti fitoplankton, fungi dsb. TSS adalah residu yang tertahan pada kertas filter terdiri dari lumpur, pasir halus dan jasad renik (Rao, 2005).

2.2.2 Parameter Kimia

Parameter kimia air berhubungan dengan ion-ion, senyawa, logam yang membahayakan dan senyawa lain yang bersifat racun. Dengan adanya senyawa ini kemungkinan besar bau, rasa dan warna air akan berubah (Ristiati, 2007).

a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat Keasaman atau pH merupakan gambaran jumlah atau aktivitas ion hidrogen dalam perairan. Nilai netral pH adalah 7. Nilai pH dapat mempengaruhi senyawa kimia dan toksisitas . Selain itu pH juga mempengaruhi nilai BOD, fosfat dan nutrien lain.

b. COD

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen dalam mg/l yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. COD merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah bahan organik pada limbah. COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik di dalam limbah.

2.2.3 Jenis- jenis Perlakuan Limbah Cair

Limbah yang akan ditangani, dapat melalui tahapan-tahapan yang dapat mengurangi kadar zat pencemar lebih baik apabila dilakukan dengan tahapan yang benar. Berikut merupakan jenis-jenis perlakuan limbah cair menurut Suharto (2011, 328) :

- a. Praperlakuan, melibatkan perlakuan fisika dan kimia dengan pemisahan kontaminan pada limbah cair seperti zat padat, lemak, sisa oli atau pelumas kendaraan serta minyak. Biasanya kontaminan ini disaring menggunakan saringan.
- b. Perlakuan limbah cair primer, pada perlakuan ini senyawa yang mengapung pada permukaan limbah cair dapat dipindahkan. Perlakuan primer terdiri dari perlakuan primer pada proses kimia dengan penambahan bahan koagulan (koagulasi flokulasi), proses perlakuan primer menggunakan proses adsorpsi (menggunakan media adsorben), perlakuan primer limbah cair menggunakan metode dialisis (menggunakan membran permeabel selektif dan perlakuan primer limbah cair dengan metode perpindahan oksigen.
- c. Perlakuan limbah cair sekunder, perlakuan ini bertujuan untuk melakukan kontak perlakuan limbah cair dengan mikroba agar terjadi biodegradasi senyawa organik dalam limbah cair menjadi produk tanpa pencemar dan menghasilkan limbah cair stabil. Perlakuan sekunder terdiri dari perlakuan sekunder dengan proses biologi limbah cair, perlakuan sekunder dengan proses aerobik limbah cair dan perlakuan sekunder limbah cair pada proses anaerobik (pembuatan gas bio)

- d. Perlakuan tersier limbah cair, diarahkan untuk menghilangkan senyawa-senyawa toksik dan meningkatkan kualitas effluent. Metode perlakuan tersier yang digunakan meliputi perlakuan dengan filtrasi granular, perlakuan dengan adsorpsi karbon aktif dan perlakuan dengan metode ozonisasi.

2.3 Sistem Koloid

Sistem koloid atau koloid merupakan suatu campuran dari zat yang tidak dapat bercampur, bentuk campuran dua atau lebih zat yang bersifat homogen namun memiliki ukuran partikel terdispersi yang cukup besar (1-100 nm), sehingga terkena efek Tyndall. Bersifat homogen berarti partikel terdispersi tidak terpengaruh oleh gaya gravitasi atau gaya lain yang menyebabkan pengendapan. Sifat homogen ini juga dimiliki oleh larutan, namun tidak dimiliki oleh campuran biasa atau suspensi. Koloid terbagi menjadi beberapa macam sesuai dengan fasa dispersi dan medium dispersinya (Suharto, 2011:203).

Komponen dari sistem koloid antara lain suspensi atau suatu campuran heterogen yang terdiri atas partikel-partikel kecil padat dalam suatu cairan yang bila dibiarkan akan mengendap ke bawah dan larutan atau campuran homogen yang memiliki partikel-partikel yang sangat kecil dan tetap tersebar merata biarpun dibiarkan dalam jangka waktu yang lama.

Partikel tersuspensi sangat sulit mengendap langsung secara alami. Hal ini karena adanya stabilitas suspensi koloid. Stabilitas koloid terjadi karena:

1. Gaya van der Waals. Gaya ini merupakan gaya tarik-menarik antara dua massa, yang besarnya tergantung pada jarak antar keduanya.
2. Gaya Elektrostatis. Gaya elektrostatis adalah gaya utama yang menjaga suspensi koloid pada keadaan yang stabil. Sebagian besar koloid mempunyai muatan listrik. Oksida metalik umumnya bermuatan positif, sedangkan oksida nonmetalik dan sulfida metalik umumnya bermuatan negatif. Kestabilan koloid terjadi karena adanya gaya tolak antar koloid yang mempunyai muatan yang sama. Gaya ini dikenal sebagai *zeta potensial*.
3. Gerak Brown. Gerak ini adalah gerak acak dari suatu partikel koloid yang disebabkan oleh kecilnya massa partikel. Makin kecil ukuran partikel koloid,

makin cepat gerak Brown yang terjadi begitu pula sebaliknya. Hal ini menjelaskan mengapa gerak Brown sulit diamati dalam larutan dan tidak ditemukan dalam zat padat.

4. Adsorpsi, adalah peristiwa penyerapan partikel atau ion atau senyawa lain pada permukaan partikel koloid disebabkan oleh luasnya permukaan partikel. Partikel koloid mudah mengadsorpsi warna. Adsorbent yang umum digunakan adalah karbon aktif dan serbuk halus logam seperti platina atau nikel.

2.4 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi adalah proses pengolahan zat cair dengan mendestabilisasi partikel koloid untuk memfasilitasi pertumbuhan partikel selama flokulasi. Flokulasi merupakan peristiwa penggumpalan partikel-partikel kecil hasil koagulasi menjadi flok yang lebih besar sehingga cepat mengendap (Putra *et al.*, 2009).

Koagulasi-flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan. Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid dan partikel dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan bahan kimia (koagulan). Akibat pengadukan cepat, koloid dan partikel yang stabil berubah menjadi tidak stabil karena terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif. Pembentukan ion positif dan negatif juga dihasilkan dari proses penguraian koagulan. Proses ini berlanjut dengan pembentukan ikatan antara ion positif dari koagulan (misal Al^{3+}) dengan ion negatif dari partikel (misal OH^-) dan antara ion positif dari partikel (misal Ca^{2+}) dengan ion negatif dari koagulan (misal SO_4^{2-}) yang menyebabkan pembentukan inti flok (presipitat). Segera setelah terbentuk inti flok, diikuti oleh proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap (Casey, 1997).

2.4.1 Tahapan Terjadinya Koagulasi Flokulasi

Proses koagulasi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, antara lain dosis koagulan, pH, kecepatan koagulasi dan waktu pengendapan. Berikut tahapan terjadinya koagulasi flokulasi :

a. Tahap pembentukan inti endapan

Zat koagulan sangat diperlukan sebagai penggabung antara koagulan dengan polutan atau residu. Agar penggabungan tersebut bisa berlangsung diperlukan pengadukan dan pengaturan pH. Pengadukan dilakukan pada kecepatan 60 sampai 100 rpm selama 1-5 menit. Pengaturan pH tergantung dari jenis koagulan yang digunakan. Pengadukan cepat merupakan bagian integral dari proses koagulasi. Tujuan pengadukan cepat adalah untuk mempercepat dan menyeragamkan penyebaran zat kimia melalui air yang diolah, serta untuk menghasilkan dispersi yang seragam dari partikel-partikel koloid, dan untuk meningkatkan kesempatan partikel untuk kontak dan bertumbukan satu sama lain. Proses koagulasi pada pengolahan air meliputi tiga tahap, antara lain: penambahan dan pencampuran bahan koagulan, pemisahan antara partikel koloid atau disebut destabilisasi, dan benturan antar partikel yang sudah mengalami destabilisasi akibat gerakan molekul atau pengadukan (Sugiharto, 2005).

b. Tahap flokulasi

Tahap flokulasi berfungsi membentuk partikel padat yang lebih besar agar partikel dapat diendapkan. Faktor yang mempengaruhi bentuk partikel yang lebih besar adalah kekeruhan pada air baku, bahan koagulan dan juga lamanya pengadukan. Koagulasi terpenuhi dengan penambahan ion-ion yang mempunyai muatan berlawanan dengan partikel koloid. Partikel koloid umumnya bermuatan negatif oleh karena itu ion-ion yang ditambahkan harus kation atau bermuatan positif (Sutresno, 2004).

c. Tahap pemisahan flok dengan cairan

Menurut Sugiharto (2005), flok yang terbentuk dipisahkan dengan cairannya yaitu dengan cara pengendapan atau pengapungan. Waktu pengendapan optimal untuk proses koagulasi flokulasi pada limbah atau residu seperti limbah cair industri atau

limbah cair tekstil minimal 60 menit hingga 3 jam. Tahap sedimentasi biasanya dilanjutkan dengan tahap filtrasi dengan menggunakan alat semi permeabel.

2.4.2 Koagulan

Koagulan adalah bahan kimia yang dibutuhkan air untuk membantu proses pengendapan partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan sendirinya. Koagulan adalah bahan kimia yang biasanya digunakan untuk mendapatkan air yang lebih jernih dan mempercepat proses pengendapan dan berfungsi untuk membantu proses koagulasi. Bahan yang sering dipakai sebagai koagulan ialah bahan organik yang berat molekulnya besar. biasanya sering disebut juga polielektrolit. Bahan ini ada yang asli (alamiah) dan ada yang sintetis. Pemilihan koagulan disesuaikan dengan jenis koloid yang terkandung di dalam air. Jenis koagulan biasanya memiliki tanda ion yang berlawanan dengan muatan ion yang terdapat pada air tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi daya tolak menolak antara sesama koloid sehingga terbentuk flok (Sutresno, 2004).

2.5 Biji Kelor

Kelor (*Moringa oleifera*) termasuk dalam jenis tumbuhan perdu yang memiliki ketinggian batang 7- 11 meter. Pohon kelor tidak terlalu besar, batang kayunya rapuh tetapi memiliki akar yang kuat. Daun kelor berbentuk bulat telur kecil bersusun majemuk dalam satu tangkai. Kelor dapat berkembang biak dengan baik pada daerah yang memiliki ketinggian 300 - 500 mdpl (Schwarz, 2000). Bagian yang dimanfaatkan adalah biji kelor yang terdapat pada buah kelor.



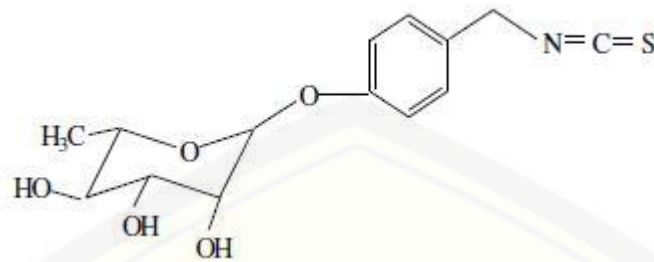


(c)

Gambar 2.1 Kelor dalam Berbagai Kondisi (a) Buah Kelor; (b) Biji Kelor Berkulit; (c) Biji Kelor Tanpa Kulit; (Anonim, 2014).

Menurut Sutanto (2006), biji buah kelor mengandung senyawa bioaktif yang berada pada protein inti biji kelor yaitu *rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate*. Zat ini mampu menjadi disinfektan dan menetralkan partikel-partikel lumpur serta logam yang terkandung dalam limbah sehingga sangat potensial digunakan sebagai koagulan alami untuk membersihkan air sehingga air layak diminum. Biji kelor dimanfaatkan juga untuk penjernihan air, kandungan senyawa yang terdapat pada serbuk biji kelor memiliki sifat antimikroba, khususnya terhadap bakteri. Sehingga walaupun di dalam air terdapat bakteri *Coli* akan tereduksi atau mati. Biji kelor merupakan alternatif koagulan yang dapat digunakan dengan dua cara yaitu biji kering dengan kulitnya dan biji kering tanpa kulitnya (Ndabigengesere *et al.*, 1995). Hasil analisis elemen biji kelor dengan kulit yaitu, 6,1% N; 54,8% C; dan 8,5% H, sedangkan untuk biji tanpa kulit, 5,0% N; 53,3% C dan 7,7% H (dalam % berat) sedangkan sisanya terdiri dari oksigen.

Biji kelor juga berperan sebagai koagulan yang efektif karena adanya zat aktif *4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate* yang terkandung dalam biji kelor. Zat aktif itu mampu mengadsorpsi partikel-partikel air limbah. Gambar struktur dari kandungan aktif *4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate* dalam biji kelor adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Struktur 4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate

2.5.1 Protein Pada Biji Kelor

Biji kelor merupakan bagian dari tanaman kelor yang memiliki protein dengan konsentrasi yang tinggi. Protein biji kelor penting untuk diketahui dalam proses penjernihan air, protein inilah yang berperan sebagai koagulan partikel-partikel penyebab kekeruhan.

Protein pada biji kelor yang terlarut dalam air memiliki muatan positif yang dapat berperan sebagai polielektrolit alami yang bersifat kationik. Berikut merupakan kandungan protein yang telah dianalisa oleh Hidayat (2013), dengan menggunakan metode biuret.

Tabel 2.1 Kandungan Protein pada Biji Kelor

Perlakuan Biji Kelor	Kandungan protein (ppm/gram)
Kulit Biji Kelor	15.680
Biji Kelor Tanpa Kulit	142.280
Biji Kelor Berkulit	73.547

(Sumber : Hidayat, 2013).

Ukuran partikel koagulan dapat mempengaruhi kuantitas kekeruhan (*turbiditas*) dalam air. Semakin kecil (halus) ukuran partikel koagulan biji kelor maka penurunan turbiditas air sungai juga cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan semakin kecil ukuran partikel bahan koagulan, suspensi tersebut

semakin mudah larut dalam air dan campuran semakin homogen. Campuran homogen antara bahan koagulan dan partikel-partikel padatan tersuspensi akan menghasilkan kontak yang lebih intim, akibatnya proses pembentukan flok dalam air semakin mudah. Semakin banyak jumlah flok-flok yang terbentuk, maka proses pemisahan TSS dari air baku semakin efektif (Husin dan Pandia, 2005). Hidayat (2013), menyatakan bahwa biji kelor bagian dalam beserta kulit biji kelor dan biji bagian dalam saja sama-sama memiliki aktivitas koagulasi.

2.5.2 Biji Kelor Sebagai Koagulan

Koagulasi merupakan salah satu cara yang umum digunakan untuk menurunkan kandungan zat pencemar dari dalam air yang diekspresikan sebagai kekeruhan, warna dan zat organik. Selain itu koagulasi juga dimanfaatkan untuk menurunkan kandungan ion logam dalam air. Kandungan Protein, Lemak dan Karbohidrat Dalam Biji Kelor (Dalam % Berat Penggunaan koagulan biji kelor pada dosis 1250 mg/l dapat mengurangi kekeruhan, TSS dan COD limbah cair industri tekstil sebesar 77,77%, 83,69% dan 75,86% (Rambe, 2009).

Biji kelor sebagai penjernih air telah diteliti dengan memanfaatkan biji kelor yang berperan sebagai pengendap (koagulan) dengan hasil yang memuaskan. Hasil penelitian Chandra (2004), biji kelor bisa dimanfaatkan sebagai bahan koagulan (bioflokulan) dalam mengolah limbah cair pabrik tekstil. Penelitian ini menghasilkan degradasi warna sampai 98 %, penurunan BOD 62 % dan dapat menurunkan kandungan lumpur limbah menjadi 70 ml per liter. Proses penjernihan air dengan biji kelor dapat berlangsung melalui proses fisik (pengadukan dan penyaringan) dan biologis (penggumpalan atau pengendapan) bahkan proses penyerapan. Biji kelor sebagai koagulan tidak beracun, dapat diuraikan secara biologis, dan ramah lingkungan.

2.6 Analisa Data

2.6.1 Analysis Of Variance (ANOVA)

Analisis varians (*analysis of variance*) atau ANOVA adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk dalam cabang statistika inferensi. Uji dalam

anova menggunakan uji F karena dipakai untuk pengujian lebih dari 2 sampel. Dalam praktik, analisis varians dapat merupakan uji hipotesis (lebih sering dipakai) maupun pendugaan (*estimation*, khususnya di bidang genetika terapan). Para peneliti yang mempelajari dua kelompok atau lebih dapat menggunakan ANOVA untuk menentukan apakah terdapat perbedaan diantara kelompok. ANOVA digunakan untuk melakukan analisis komparasi multivariabel. ANOVA dapat dipergunakan untuk menguji apakah nilai rata-rata sampel berbeda atau tidak dari sejumlah sampel dan perlakuan. (Sugiharto, 2009:2).

2.5.2 Efisiensi

Efisiensi adalah penggunaan sumber daya secara minimum untuk pencapaian hasil yang optimum. Efisiensi menganggap bahwa tujuan telah ditentukan dan berusaha untuk mencari cara yang paling baik untuk mencapai tujuan tersebut. Efisiensi hanya dapat dievaluasi dengan penilaian-penilaian relatif, membandingkan antara masukan dan keluaran yang diterima. Menurut Anindita (2004:13), efisiensi merupakan suatu ukuran dalam membandingkan rencana penggunaan masukan dengan penggunaan yang direalisasikan atau perkataan lain penggunaan yang sebenarnya. Sedangkan pengertian efisiensi menurut Hasibuan dan Malayu (2007:233), efisiensi adalah perbandingan yang terbaik antara input (masukan) dan output, seperti halnya juga hasil optimal yang dicapai dengan penggunaan sumber yang terbatas. Dengan kata lain hubungan antara apa yang telah diselesaikan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air-Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian Universitas Jember. Analisa COD dilaksanakan di Laboratorium Analisis Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan mulai bulan Juli sampai dengan September 2014 .

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

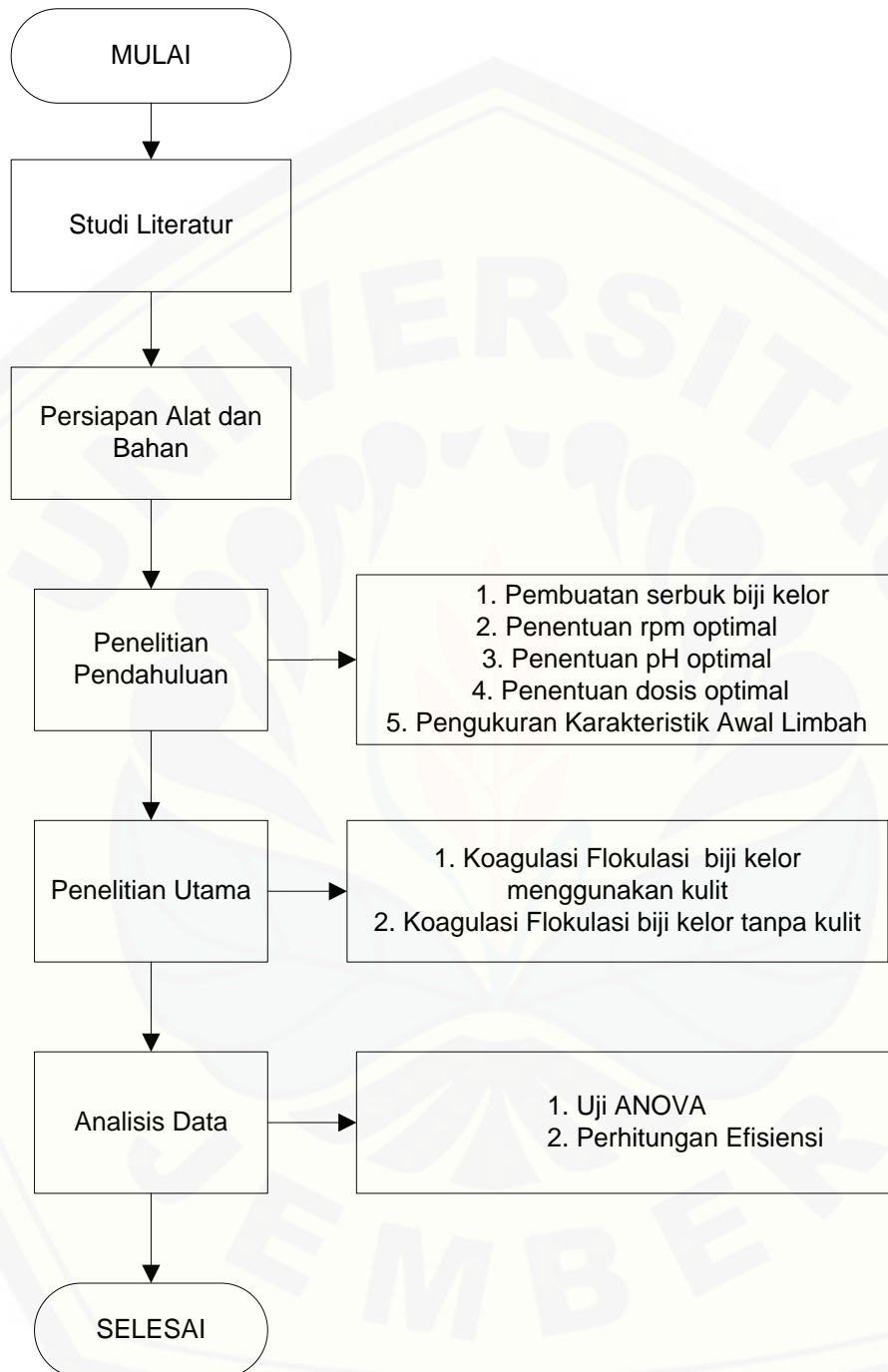
1. Jerigen Air 30 liter
2. Jart test Health H-FL-6 Flocculator
3. pH meter Calibration Check HI 223
4. Neraca Analitik OHAUS
5. Beaker Glass Pyrex 1000 ml
6. Beaker Glass Pyrex 500 ml
7. Turbidimeter TN-100
8. Stopwatch
9. Ayakan (60,70 dan 80 mesh)
10. Cawan Aluminium
11. Kertas Saring 0,45 μ
12. Oven merk Memmert
13. Blender
14. COD Reaktor
15. Spektrofotometer

3.2.2 Bahan

1. Limbah Cair Kopi
2. Biji Kelor
3. Aquades
4. Reagent COD HR
5. NaOH 1 M
6. H₂SO₄ Teknis

3.3 Prosedur Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat digambarkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian ini diawali dengan penelitian pendahuluan antara lain membuat serbuk biji kelor, menentukan kecepatan pengadukan, pH dan dosis optimum.

a. Pembuatan Koagulan Biji Kelor

Biji kelor yang digunakan adalah biji yang sudah tua dan kering. Pada perlakuan pertama, biji kelor dihaluskan beserta dengan kulitnya. Sedangkan perlakuan kedua, biji kelor dikupas sebelum di haluskan. Biji kelor dipisahkan menjadi beberapa ukuran partikel dengan menggunakan ayakan mesh berukuran 60, 70 dan 80 dan kadar airnya dikondisikan hingga mencapai kurang lebih atau sama dengan 10%.

b. Penentuan kecepatan pengadukan optimal

Penentuan kecepatan pengadukan optimal pada penelitian menggunakan alum sebagai koagulan. Alum yang ditambahkan pada limbah cair kopi dengan dosis 850 mg ditambahkan secara bertahap pada kecepatan 300 rpm, 400 rpm dan 500 rpm. Parameter yang diamati adalah kekeruhan terkecil.

c. Penentuan pH optimum

Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa koagulan biji kelor bekerja paling baik. Prosedur penentuan pH optimum sebagai berikut :

- 1) 6 buah beaker glass diisi 500 ml limbah cair kopi dan ditentukan pH nya menggunakan NaOH 50% dan H₂SO₄ teknis hingga didapatkan nilai pH 4, 5, 6, 7, 8 dan 9.
- 2) Beaker glass yang berisi limbah cair kopi dan sudah ditentukan rentang pHnya diberi koagulan biji kelor berukuran 60 mesh sebanyak 850mg
- 3) Dilakukan proses koagulasi dengan kecepatan yang di dapatkan dari penentuan rpm optimal dan proses koagulasi dengan kecepatan 150 rpm selama 15 menit.
- 4) Setelah itu dilakukan proses pengendapan dan pengukuran parameter kekeruhan pada cairan yang bening.

d. Penentuan dosis optimum koagulan

Penentuan dosis koagulan dilakukan untuk menentukan dosis yang tepat pada pengolahan limbah cair kopi. Setelah pH optimum diketahui, maka digunakan dua pH optimum untuk menemukan dosis optimum.

- 1) Disiapkan 6 buah beaker glass yang diisi dengan 500 ml limbah cair kopi.
- 2) Ditambahkan koagulan sebesar 4000 ppm, 6000 ppm, 8000 ppm, 10.000 ppm, 12.000 ppm dan 14.000 ppm pada masing-masing beaker glass pada pH pertama.
- 3) Dilakukan proses koagulasi menggunakan kecepatan putaran optimum dan proses koagulasi dengan kecepatan 150 rpm selama 15 menit kemudian diendapkan selama 60 menit dan diukur kekeruhan pada cairan yang bening.

e. Pengukuran Karakteristik Awal Limbah Cair Kopi

Limbah cair kopi diperoleh dari perkebunan kopi rakyat di Desa Sidomulyo Kecamatan Silo Kabupaten Jember. Parameter awal limbah cair kopi yang akan diukur adalah pH, kekeruhan, TSS dan COD.

3.3.2 Penelitian Utama

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan perlakuan biji kelor menggunakan kulit dengan biji kelor tanpa kulit dan ukuran partikel pada penurunan pH, kekeruhan, TSS dan COD limbah cair kopi. Prosedur penelitian utama yaitu sebagai berikut :

- a. Disiapkan 9 buah beaker glass yang dibagi menjadi tiga rangkaian yang diisi 500 ml limbah cair kopi. Masing-masing beaker glass ditentukan pH nya menggunakan H_2SO_4 teknis (PA) dan NaOH 1N hingga didapatkan nilai pH optimum yang sudah didapatkan.
- b. Pada tiap rangkaian beaker glass diberi dosis koagulan yang sama sesuai dengan hasil pengukuran dosis optimum yang sudah dicoba namun dengan ukuran biji kelor yang berbeda yaitu tiga beaker glass diisi dengan ukuran 60 mesh, tiga gelas kedua diisi dengan 70 mesh dan tiga gelas ketiga diisi dengan 80 mesh.

- c. Proses pengadukan dilakukan secara bersamaan pada 3 sampel untuk pengulangan .
- d. Dilakukan proses koagulasi menggunakan putaran (rpm) yang sudah didapatkan dan proses koagulasi dengan kecepatan 150 rpm selama 15 menit.
- e. Setelah proses koagulasi-flokulasi selesai, dilakukan pengendapan terhadap limbah cair kopi selama 60 menit. Setelah pengendapan selesai, dilakukan pengukuran terhadap parameter pH, kekeruhan, TSS dan COD pada cairan yang bening.

3.3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen. Tujuan dari metode ini adalah mengetahui perbedaan perlakuan biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit dengan variasi ukuran partikel. Penelitian ini menggunakan 6 perlakuan dan masing-masing perlakuan dilakukan percobaan 3 kali ulangan. Variabel eksperimen dalam penelitian ini ada 2 yaitu kondisi permukaan biji dan ukuran partikel. Kombinasi perlakuan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel dan Parameter Penelitian

VariabelEksperimen	Perlakuan	Kode	Parameter Respon
Kondisi Biji	Berkulit	K1	a. pH
	Tanpa kulit	K2	b. Kekeruhan c. TSS d. COD
Ukuran Partikel	60 mesh	P1	
	70 mesh	P2	
	80 mesh	P3	

Kombinasi Perlakuan :

K1P1 : Biji kelor berkulit ukuran 60 mesh

K1P2 : Biji kelor berkulit ukuran 70 mesh

K1P3 : Biji kelor berkulit ukuran 80 mesh

K2P1 : Biji kelor tanpa kulit ukuran 60 mesh

K2P2 : Biji kelor tanpa kulit ukuran 70 mesh

K2P3 : Biji kelor tanpa kulit ukuran 80 mesh

3.3.4 Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati pada limbah cair kopi yaitu pH, kekeruhan, TSS dan COD sebelum dan sesudah proses koagulasi flokulasi.

3.4 Analisis Data

3.4.1 Uji ANOVA

Pengolahan data yang diperoleh pada penelitian ini diolah dengan menggunakan program SPSS versi 16. Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui perbedaan pada setiap kombinasi perlakuan. Hasil akhir dari uji ANOVA dinyatakan pada F. Apabila F yang dihitung didapatkan setelah F pada derajat bebas dengan kepercayaan error sebesar 0,01 (1%) atau 0,05 (5%) lebih besar atau lebih kecil maka dapat ditentukan menolak atau menerima hipotesis nol (H_0). Hipotesis yang diuji dalam ANOVA adalah:

H_0 : Tidak ada perbedaan nyata antara berbagai perlakuan biji kelor terhadap parameter pengamatan.

H_1 : Terdapat perbedaan nyata antara berbagai perlakuan biji kelor terhadap parameter pengamatan.

Uji Duncan merupakan uji lanjutan untuk mengetahui nilai rata-rata yang sama dan nilai rata-rata yang tidak sama ketika pengujian kehomogenan beberapa nilai tengah memberikan hasil menolak hipotesis nol (H_0) dan menerima hipotesis H_1 . Uji Duncan dilakukan untuk membandingkan pengaruh perlakuan dengan jumlah sampel dengan melihat nilai P (sig), jika hasil kurang dari 0,05 maka berbeda nyata dan jika lebih dari 0,05 maka tidak berbeda nyata. Abjad yang ada pada masing-masing perlakuan pada uji Duncan menunjukkan nilai tengah mana saja yang sama dan nilai tengah mana saja yang tidak sama (Walpole, R. 1992: 382).

3.4.2 Efisiensi

Nilai efisiensi pH, kekeruhan, TSS, dan COD dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

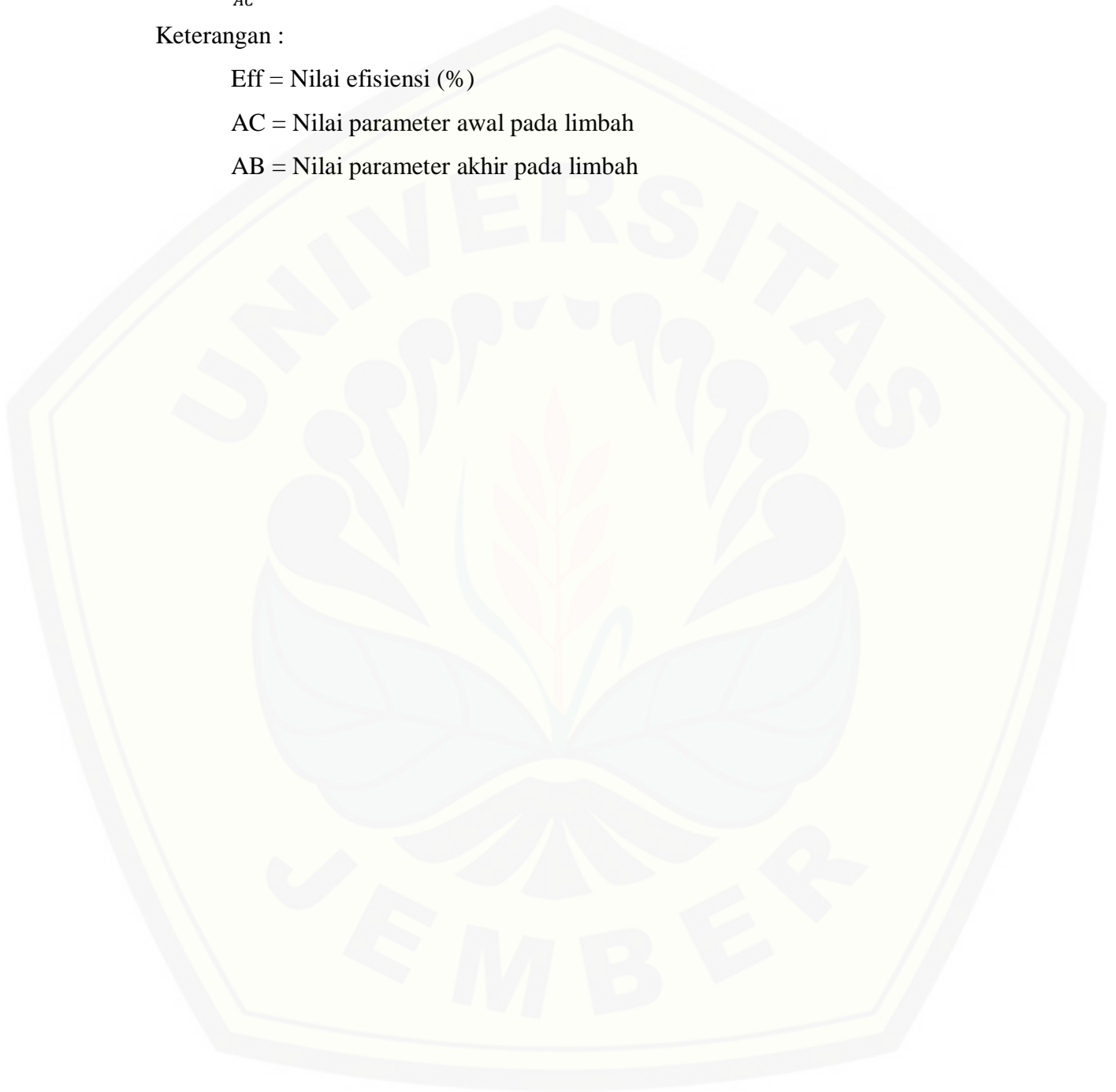
$$\text{Eff} = \frac{AB-AC}{AC} \times 100\% \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan :

Eff = Nilai efisiensi (%)

AC = Nilai parameter awal pada limbah

AB = Nilai parameter akhir pada limbah



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Cair Kopi

Limbah cair kopi yang menjadi sampel dalam penelitian ini adalah limbah cair kopi yang berasal dari industri kopi rakyat di Sidomulyo, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember. Penelitian ini menggunakan limbah cair kopi yang diambil pada waktu yang berbeda. Limbah cair kopi yang diambil pertama kali merupakan limbah cair kopi hasil proses pencucian buah kopi dan proses *pulping* dan pasca fermentasi. Limbah cair kopi kedua diambil selang beberapa jam setelah proses pencucian biji kopi dan *pulping* dilakukan.

Karakteristik limbah cair kopi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda pada tiap parameter meskipun waktu pembuangannya pada waktu yang berbeda. Menurut Chandra *et al.* (2008), hal ini dikarenakan limbah cair kopi memiliki komponen utama berupa melanoidin yang memiliki struktur yang kompleks dan mengakibatkan limbah cair kopi sulit didegradasi secara biologis sehingga nilai parameternya cenderung tetap. Limbah cair hasil proses pengolahan kopi tersebut kemudian diukur tiap parameter agar dapat diketahui apakah sudah memenuhi standart yang ditetapkan (baku mutu). Berikut merupakan karakteristik limbah cair kopi yang disajikan dalam bentuk tabel 4.1

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair Kopi Perkebunan Sidomulyo

Karakteristik	Rentang nilai
pH	4,5 – 5,1
TSS (mg/l)	126,79 – 139,95
Kekeruhan (NTU)	394,5 – 448
COD (mg/l)	3360 – 3762

(Sumber : Data Primer Diolah, 2014)

Menurut Enden dan Cavert (dalam Novita, 2012:28), karakteristik limbah cair hasil dari proses pengupasan kopi pada pengolahan basah yang mengandung konsentrasi pencemar yang tinggi karena kandungan bahan organik hasil proses pengupasan daging buah dan lendir. Air limbah dari proses pengolahan basah memiliki tingkat keasaman tinggi dan mengganggu kehidupan organisme secara biologis dan kimiawi. Limbah cair kopi juga dapat menimbulkan pencemaran pada badan sungai apabila langsung dibuang tanpa ditangani terlebih dahulu. Limbah cair pengolahan kopi perkebunan rakyat Sidomulyo dapat dilihat pada gambar 4.1



(a)



(b)

Gambar 4.1 Limbah Cair Pengolahan Kopi Rakyat Sidomulyo (a) Limbah Cair Kopi Hasil Pencucian Buah dan *Pulping*; (b) Limbah Cair Kopi yang Menggenang (Data Primer Diolah, 2014).

Limbah cair kopi yang menggenang pada bak penampungan merupakan limbah cair kopi hasil proses pencucian buah, *pulping* dan juga pencucian pasca fermentasi sedangkan limbah cair kopi yang menggenang pada kolam gambar diatas merupakan limbah cair kopi hasil dari berbagai proses pengolahan kopi seperti pencucian buah, *pulping* dan pencucian pasca fermentasi namun dalam jangka waktu yang sudah lama. Dalam UU No. 32 Tahun 2009 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup dan PP RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air, yang dimaksud dengan pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan

peruntukkannya. Tabel 4.2 berikut merupakan baku mutu limbah cair untuk industri pengolahan kopi dan kakao.

Tabel 4.2 Baku Mutu Limbah Cair Industri Kopi dan Kakao

Parameter	Jumlah Maksimum
BOD	75 mg/l
COD	200 mg/l
TSS	100 mg/l
Minyak dan Lemak	20 mg/l
pH	6-9

(Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 2 Tahun 2013)

Dari hasil pengukuran karakteristik limbah cair kopi yang diambil di Perkebunan Kopi Rakyat Sidomulyo, diketahui bahwa nilai COD sebesar 3360 mg/l dan 3760 mg/l sangat jauh dari baku mutu yang ditetapkan yaitu 200 mg/l. Nilai COD yang sangat tinggi dikarenakan banyaknya bahan organik yang berasal dari proses pengolahan terutama saat proses *pulping* karena lendir yang berada pada buah kopi akan menyatu dengan air saat dialirkan.

Nilai pH yang juga tidak memenuhi nilai baku mutu 6-9 melainkan lebih asam yaitu 4-5. Nilai pH yang asam akan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan terutama pada perairan karena dapat menyebabkan korosi sehingga kadar besi atau logam pada perairan akan meningkat.

Nilai TSS juga belum bisa dikategorikan lolos baku mutu karena nilai berada di atas 100 mg/l yaitu sebesar 126,79 mg/l dan 135,95 mg/l. Maka dapat disimpulkan bahwa semua nilai parameter yang telah diukur melebihi ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan. Hal ini membuat limbah cair kopi tersebut tidak bisa dibuang begitu saja karena akan menyebabkan pencemaran dan dapat menyebabkan kurangnya kadar oksigen terlarut (DO) serta dapat mematikan biota dan mikroorganisme yang ada dalam perairan.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu upaya untuk membuat limbah cair kopi bisa memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan salah satunya adalah proses koagulasi flokulasi. Koagulasi flokulasi merupakan proses penjernihan air yang menerapkan gaya tarik menarik antar partikel koloid dengan partikel koagulan. Koagulan yang digunakan pada penelitian ini adalah koagulan alami biji kelor.

4.2 Penelitian Pendahuluan

Penelitian komparasi biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit dilakukan secara dua tahap yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan meliputi persiapan bahan dan penentuan putaran pengadukan optimum, pH optimum dan dosis optimum.

4.2.1 Pembuatan Serbuk Biji Kelor

Biji kelor yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kelor yang sudah tua dan kering di pohonnya. Biji kelor dikeluarkan dari buahnya kemudian dipisahkan dari sayap yang menempel. Biji kelor kemudian dimasukkan oven selama 30 menit pada suhu 105°C untuk menghilangkan kelembaban yang kemungkinan timbul saat penyimpanan.

Biji kelor yang kemudian dibagi menjadi dua bagian yaitu penggunaan berkulit dan tanpa kulit. Biji kelor yang masih berkulit langsung dihaluskan tanpa melalui pengupasan terlebih dahulu. Sedangkan biji kelor tanpa kulit harus melalui tahap pengupasan satu persatu terlebih dahulu. Proses pengupasan ini dilakukan secara manual, kemudian dilanjutkan pada tahap penghalusan dan pengayakan. Ayakan yang digunakan adalah ukuran 60, 70 dan 80 mesh. Alasan penggunaan beberapa ukuran tersebut dikarenakan penelitian sebelumnya (Hasanah, 2014), tentang optimasi penggunaan biji kelor sebagai koagulan, menggunakan ukuran partikel biji kelor ± 50 mesh tanpa menjadikan ukuran partikel biji kelor sebagai faktor yang mempengaruhi optimasi proses koagulasi flokulasi. Menurut Bangun *et al.* (2013), dengan adanya perubahan bentuk menjadi partikel yang lebih kecil, maka zat aktif pada biji kelor tersebut semakin besar. Penelitian ini akan memberi informasi apakah suatu ukuran partikel berpengaruh pada tingkat penurunan parameter kualitas limbah cair kopi.

Penentuan proses pengkondisian kadar air menggunakan gravimetri hingga kadar air mencapai $\leq 10\%$. Menurut Bangun *et al.* (2013:8), kadar air biji kelor yang efektif untuk digunakan pada proses koagulasi flokulasi sekitar 10% karena apabila kandungan air dalam biji kelor semakin besar, maka kemampuannya dalam menyerap limbah cair semakin kecil karena zat aktif pada kelor (*4-alfa-4rhamnosyloxyl-benzil-isothiochinate*) tidak dapat berada di permukaan biji kelor tetapi tertutupi oleh air sehingga kelembapan biji kelor harus kecil.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Proses Pembuatan Koagulan (a) Biji Kelor Kering; (b) Pengukuran Kadar Air; (c) Serbuk Biji Kelor; (Sumber: Data Primer Diolah).

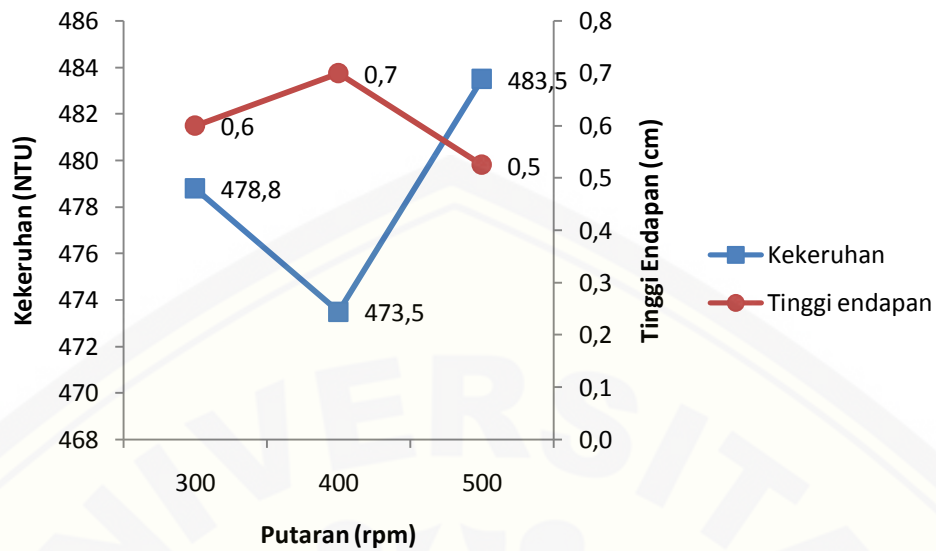
4.2.2 Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum

Pengadukan merupakan faktor yang sangat penting saat proses koagulasi karena pada intinya prinsip koagulasi adalah pengadukan cepat yang akan membuat tumbukan antar ion. Tujuan pengadukan cepat adalah untuk

mempercepat dan menyeragamkan penyebaran zat kimia melalui air yang diolah, serta untuk menghasilkan dispersi yang seragam dari partikel-partikel koloid, dan untuk meningkatkan kesempatan partikel untuk kontak dan bertumbukan satu sama lain (Sugiharto, 2005).

Penentuan pengadukan optimum bertujuan untuk mengetahui berapa putaran (rpm) yang dibutuhkan untuk proses koagulasi. Hal ini dikarenakan tidak adanya dasar atas penentuan kecepatan putaran saat dilakukan koagulasi. Metode dalam penentuan kecepatan pengadukan optimum adalah *trial and error*. Koagulan yang digunakan adalah alum. Penggunaan alum sebagai koagulan dikarenakan alum memiliki reaksi ganda membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan Al^{3+} . Ion Al^{3+} yang terlarut dalam residu akan berfungsi sebagai penetral muatan negatif koloid dan $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Hannah, dalam Novita, 1997). Selain itu alum merupakan koagulan yang mudah ditemui dan harganya relatif terjangkau. Menurut Reundou dan Commenges (2001), biji kelor dan alum menghasilkan makroflok yang sama besar pada dosis yang sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biji kelor dan alum memiliki kinerja yang sama untuk pengolahan air limbah terutama pada limbah yang memiliki komponen utama melanoidin dan kondisi pH yang tepat.

Untuk mengetahui berapa kecepatan pengadukan optimum pada proses koagulasi, maka nilai *trial and error* yang digunakan adalah 300 rpm, 400 rpm dan 500 rpm. Pemilihan rentang 300 sampai dengan 500 dikarenakan nilai putaran di bawah 300 rpm pada alat yang digunakan sangat lambat untuk digunakan pada pengadukan cepat. Hasil dari penentuan kecepatan optimum dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Hasil Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum

Nilai awal kekeruhan sebesar 520 NTU kemudian berada pada nilai kekeruhan 478 NTU dan tinggi sedimen 0,6 cm pada kecepatan pengadukan 300 rpm. Nilai kekeruhan yang masih besar menunjukkan jika pengadukan cepat tidak mencapai hasil optimum karena gerak acak partikel atau gerak Brown yang ditimbulkan tidak membuat partikel alum yang ditambahkan mengalami kontak dengan limbah cair kopi.

Pada kecepatan 400 rpm nilai kekeruhan menurun menjadi 473,5 NTU dan tinggi sedimen 0,7 cm. Kecepatan 400 rpm ini merupakan kecepatan yang berada pada kondisi yang tepat sehingga kontak antar partikel masih bisa berlangsung tanpa menimbulkan proses deflokulasi. Pengadukan yang terlalu lambat akan menyebabkan ion yang terdapat pada larutan tidak dapat bertumbukan dengan baik sehingga menyisakan partikel-partikel kecil yang masih mengapung bebas dan menambah nilai kekeruhan.

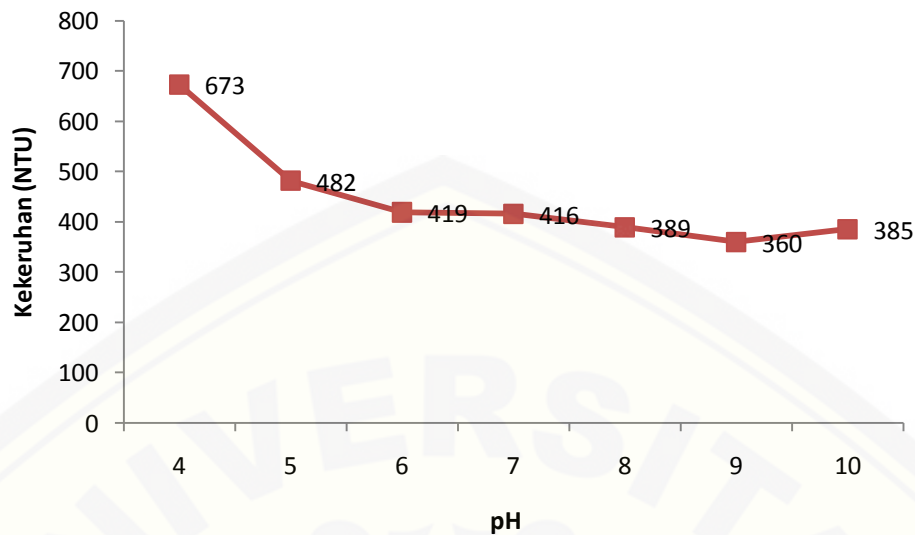
Pada kecepatan 500 rpm nilai kekeruhan meningkat kembali hingga menjadi 483,5 NTU dan tinggi sedimen 0,5 cm. Hal ini kemungkinan karena kontak antar partikel yang terjadi sudah mengalami deflokulasi sehingga partikel yang seharusnya saling tarik menarik menjadi tolak menolak karena keberadaan muatan positif yang terlalu banyak sehingga menimbulkan gaya tolak menolak antar partikel dan kekeruhan meningkat. Pengadukan terlalu cepat juga dapat

menyebabkan ion dalam larutan bertumbukan terus menerus dan menimbulkan lapisan parikel yang lebih tebal dan tidak bisa menjangkau sisa partikel yang lain.

Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa kecepatan pengadukan optimum yang didapatkan adalah 400 rpm dengan nilai kekeruhan terendah diantara ketiganya dan nilai tinggi endapan paling besar diantara ketiganya. Pada umumnya, pengadukan dengan putaran yang stabil seperti pada putaran 400 rpm menghasilkan jarak antar partikel yang lebih dekat namun stabil yang dapat menghasilkan kontak antar partikel. Menurut teori yang dikemukakan oleh Suryadiputra (2000), hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses koagulasi adalah pengadukan harus benar-benar merata, sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang berada dalam air. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan terlalu lambat mengakibatkan lambatnya flok terbentuk dan sebaliknya apabila pengadukan terlalu cepat berakibat pecahnya flok yang terbentuk.

4.2.3 Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum pada penelitian ini dikarenakan rata-rata pH limbah cair kopi tergolong asam sehingga jika partikel yang di *treatment* memiliki pH kecil maka kesempatan adanya tumbukan antar partikel yang sudah tidak stabil dan yang akan memacu pembentukan flok sangat kecil. Oleh karena itu penentuan pH optimum merupakan salah satu langkah yang penting dalam proses koagulasi flokulasi. Rentang pH ditentukan mulai dari 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10. Penentuan rentang seperti ini dikarenakan rata-rata limbah cair kopi memiliki pH antara 3 sampai dengan 5, sedangkan proses koagulasi flokulasi memiliki tingkat keberhasilan yang rendah bila derajat keasaman kecil sehingga kemungkinan melebarkan rentang pada beberapa nilai pH sampai rentang basa dapat dilakukan hingga menemui titik optimum. Hasil dari penentuan pH optimum dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil pH Optimum

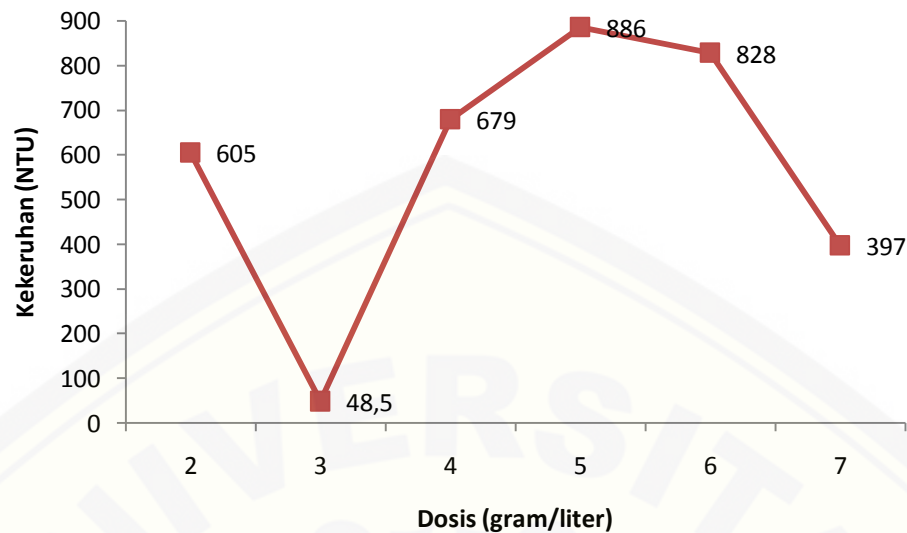
Pada gambar 4.4, parameter acuan yang digunakan sebagai penentuan pH optimum adalah nilai kekeruhan yang awalnya sebesar 840 NTU. Diketahui nilai kekeruhan untuk menentukan pH optimum memiliki nilai yang fluktuatif. Pada rentang pH 4 sampai dengan 8 mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya pH sehingga rentang pH lebih dilebarkan lagi hingga menemui titik optimal. Pada pH 9 nilai kekeruhan turun dari 389 NTU menjadi 360 NTU dan pada pH 10 mengalami kenaikan kembali hingga 385 NTU. Dari jumlah rentang pH 4 sampai dengan 10 dapat ditentukan bahwa titik optimal berada pada pH 9.

Kekeruhan yang tinggi pada keadaan asam (nilai pH 4 sampai dengan 6) dikarenakan koagulan tidak bertumbukan dengan baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rachmawati *et al.* (2009), jika konsentrasi partikel koloid terdispersi pada larutan dengan pH yang rendah maka kesempatan untuk terjadi tumbukan antar partikel yang telah terdestabilisasi akan kecil. Teori ini memungkinkan pH yang berada pada rentang basa akan lebih efektif menyisihkan kekeruhan yang terkandung dalam limbah cair kopi. Hal ini terbukti seiring dengan bertambahnya nilai pH, nilai kekeruhan semakin kecil.

4.2.4 Penentuan Dosis Optimum

Penentuan dosis optimum sangat berpengaruh pada jumlah koagulan yang disediakan. Berdasarkan beberapa penelitian tentang pemanfaatan biji kelor mengatakan dosis koagulan sangat berpengaruh terhadap penyisihan kekeruhan namun dengan takaran yang tepat. Rentang dosis optimum dimulai pada takaran 2 gram hingga 7 gram.

Pengambilan rentang tersebut didasarkan pada berbagai penelitian koagulasi yang menggunakan biji kelor sebagai koagulan seperti dilakukan oleh Bangun *etal.* (2012) yang menggunakan biji kelor sebagai koagulan. Pada penelitian tersebut dosis optimum yang digunakan saat proses koagulasi flokulasi adalah 5 gram/liter. Sedangkan Putra *et al.*(2013), menyatakan bahwa dosis optimum koagulan adalah 3 gram/liter. Pada penelitian tersebut limbah yang digunakan adalah limbah cair tahu, karena karakteristik limbah cair tahu yang sangat berbeda dengan limbah cair kopi, maka rentang dosis lebih diperluas. Wiley dan Sons (1995), mengemukakan bahwa dosis koagulan sangat berpengaruh terhadap penyisihan turbiditas limbah cair industri tahu karena dengan memberikan dosis yang tepat maka penyisihan turbiditas sampel akan semakin signifikan. Suatu koagulan dikatakan efektif, apabila mampu mengurangi nilai turbiditas sebesar 50% sehingga koagulan partikel biji kelor ini merupakan koagulan yang efektif untuk menurunkan turbiditas limbah cair industri tahu. Hasil dari penentuan dosis optimum dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil Penentuan Dosis Optimum

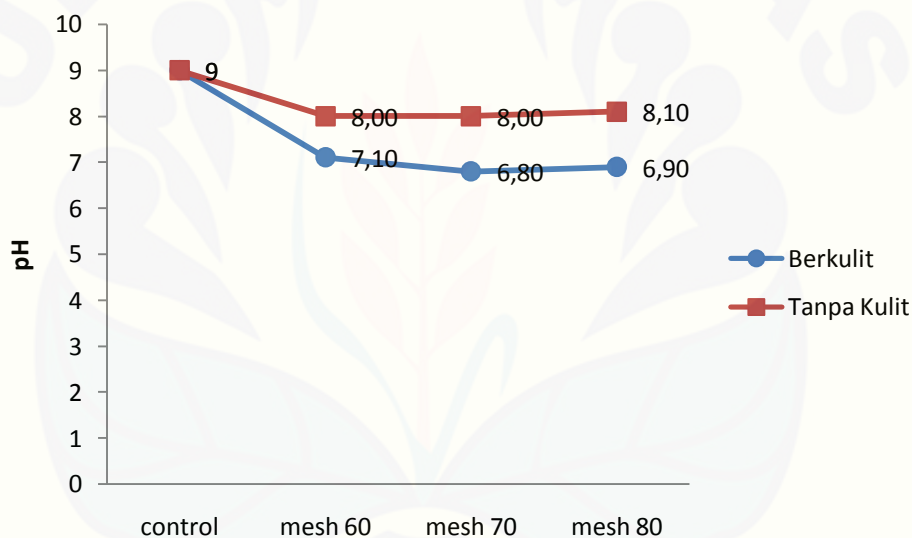
Nilai kekeruhan awal sampel yang digunakan untuk penentuan dosis optimum sebesar 1140 NTU. Pada gambar 4.5 dapat diketahui nilai kekeruhan dari dosis 2 gram masih tergolong cukup tinggi yaitu sebesar 605 NTU. Hal ini disebabkan karena jumlah koagulan terlalu sedikit sehingga residu yang terdapat pada limbah cair kopi tidak dapat diserap. Pada dosis 3 gram nilai kekeruhan turun menjadi sangat kecil yaitu 48,5 NTU. Penurunan nilai kekeruhan ini dikarenakan pemberian dosis yang tepat sehingga proses tumbukan antar partikel terjadi dengan baik. Dosis 3 gram merupakan dosis yang tepat karena menurut Wiley dan Sons (1995), suatu koagulan dikatakan efektif apabila mampu menurunkan nilai turbiditas hingga 50% . Untuk dosis 4 gram hingga 7 gram, nilai kekeruhan semakin meningkat dikarenakan limbah cair kopi jenuh karena adanya adsorpsi kation berlebih. Polimer polimer berlebih akan menutupi permukaan koloid sehingga rantai akhir tidak mampu menempel. Pada dosis 8 gram kekeruhan turun kembali hingga 397 NTU. Nilai ini sudah mengurangi hampir 50% nilai kekeruhan namun tidak lebih baik dari dosis 3 gram. Selain itu pemakaian dosis 8 gram dinilai terlalu banyak membutuhkan koagulan yang jumlahnya terbatas.

4.3 Penelitian Utama

Hasil kecepatan pengadukan (rpm), pH, dan dosis optimum akan digunakan pada penelitian utama.

4.3.1 Analisis pH

Menurut Soemirat (2000), pH adalah derajat keasaman dan merupakan singkatan dari *puissance de H*. Derajat keasaman atau pH air menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen dalam larutan tersebut dan dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (dalam mol per liter) dalam suhu tertentu. Data dalam bentuk grafik ditunjukkan pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik Komparasi Nilai pH

Pada grafik dapat diketahui bahwa perlakuan biji kelor tanpa kulit memiliki nilai limbah cair kopi dengan pH yang hampir seragam namun lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan biji kelor berkulit. Nilai pH awal limbah cair kopi pada semua perlakuan yaitu menggunakan pH optimum yaitu 9. Nilai pH biji kelor berkulit turun berturut-urut pada ukuran partikel 60, 70 dan 80 adalah 7,1;6,8 dan 6,9 sedangkan untuk perlakuan biji kelor tanpa kulit memiliki nilai pH 8,0;8,0 dan 8,1.

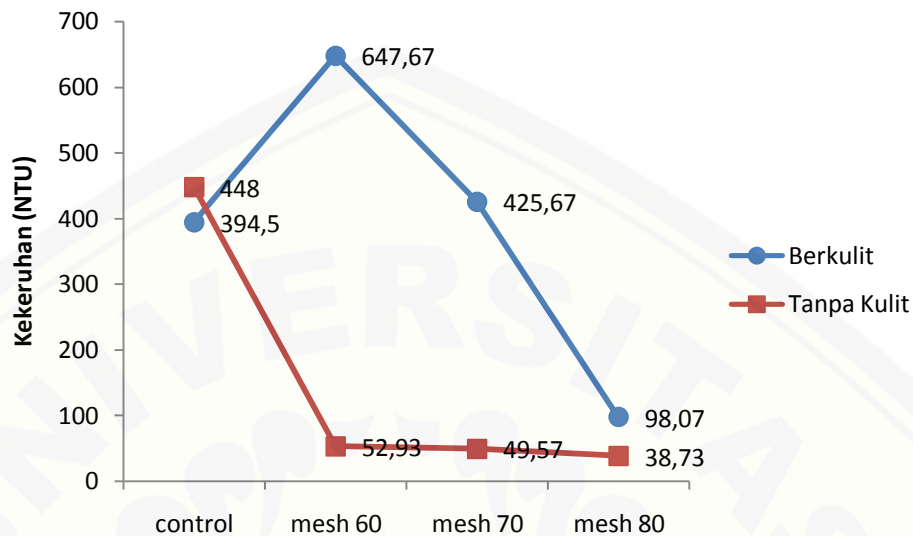
Dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai pH yang dihasilkan pada kedua perlakuan memiliki rentang yang tidak begitu jauh dan penurunan pH yang terjadi tidak begitu besar. Penurunan nilai pH pada biji kelor tanpa kulit hanya turun satu nilai dari nilai pH yang dikondisikan, sedangkan nilai pH pada biji kelor berkulit menunjukkan nilai penurunan hingga turun hampir 2 nilai. Penurunan nilai pH pada semua kombinasi perlakuan memiliki nilai yang baik karena memiliki nilai pH yang hampir sama dengan pH optimum dan pH pada baku mutu yang sudah ditetapkan yaitu 6 sampai dengan 9 . Semakin besar nilai pH maka limbah cair bernilai basa. pH basa akan membantu koagulan untuk bekerja lebih efektif dibandingkan dengan pH asam.

Ditinjau dari perlakuan ukuran mesh maupun kondisi biji kelor baik berkulit maupun tanpa kulit, nilai penurunan pH pada penelitian utama tidak memiliki rentang penurunan yang begitu jauh. Menurut Husin dan Pandia (2005), penambahan koagulan biji kelor dalam air ternyata dapat mempengaruhi beberapa kandungan parameter air dengan baik kecuali pada pH. Pengaruh pemberian koagulan terhadap penurunan pH air tidak begitu signifikan yaitu penurunan maksimal hanya 15% sedangkan menurut Chandra (2000), proses koagulasi menggunakan biji kelor memberikan pengaruh kecil terhadap derajat keasaman dan konduktivitas. Jika dibandingkan dengan kedua pernyataan tersebut, nilai pH pada penelitian ini memiliki persamaan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya karena nilai pH yang turun pada tiap perlakuan hanya berkisar 15%.

4.3.2 Analisa Kekeruhan

Kekeruhan (turbiditas) adalah suatu istilah yang menjelaskan partikel-partikel (butiran) tanah liat, pasir, bahan-bahan mineral, sampah-sampah organik, plankton dan organisme mikroskopi lainnya yang dapat menghalangi jalannya cahaya melalui air. Kekeruhan merupakan sifat optis dari suatu larutan, yaitu hamburandan absorpsi cahaya yang melalui larutan tersebut. Kekeruhan pada air umumnya disebabkan oleh suspensi materi seperti tanahliat, lumpur, zat organik dan anorganik, plankton dan zat-zat halus lainnya (mikroorganisme). Menurut Effendi (2003), tingginya nilai kekeruhan juga dapat mempersulit usaha

penyaringan dan mengurangi efektifitas desinfeksi pada proses penjernihan air. Data dalam bentuk grafik ditunjukkan dalam gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik Komparasi Nilai Kekeruhan

Grafik di atas menunjukkan nilai kekeruhan yang didapat setelah proses koagulasi flokulasi menggunakan biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit. Perlakuan biji kelor berkulit pada berbagai ukuran partikel memiliki nilai kekeruhan awal limbah sebesar 448 NTU namun nilai kekeruhan tersebut melonjak lebih tinggi menjadi 647,67 pada ukuran partikel 60 mesh kemudian turun kembali menjadi 425,67 NTU pada ukuran partikel 70 mesh dan makin menurun pada ukuran partikel 80 mesh menjadi 98,07 NTU.

Perlakuan biji kelor tanpa kulit pada berbagai ukuran partikel memiliki nilai kekeruhan yang lebih rendah dibanding dengan nilai kekeruhan limbah awal. Kekeruhan limbah awal yang semula bernilai 394,5 NTU turun hingga nilai menjadi 52,93 NTU pada ukuran partikel 60 mesh kemudian semakin turun hingga 49,57 NTU pada perlakuan ukuran partikel 70 mesh dan 38,70 NTU pada ukuran partikel 80 mesh.

Nilai kekeruhan yang semakin tinggi pada penggunaan biji kelor berkulit dikarenakan oleh partikel biji kelor yang digunakan sebagai koagulan lebih banyak mengandung kulit. Kulit yang juga dihaluskan tersebut seperti yang sudah disampaikan oleh Hidayat (2013), memiliki nilai protein yang rendah dan serat

yang tidak larut dalam air sehingga butiran kecil kulit biji kelor yang digunakan sebagai koagulan tidak bisa menyerap anion limbah cair kopi sehingga kekeruhan meningkat. Kulit memiliki kandungan protein yang sedikit yang kemungkinan besar mengalami denaturasi akibat pemanasan langsung saat dioven. Protein yang mengalami denaturasi tersebut tidak mampu lagi tarik-menarik dengan koloid pada limbah cair kopi dikarenakan kation yang terdapat pada kulit semakin kecil.

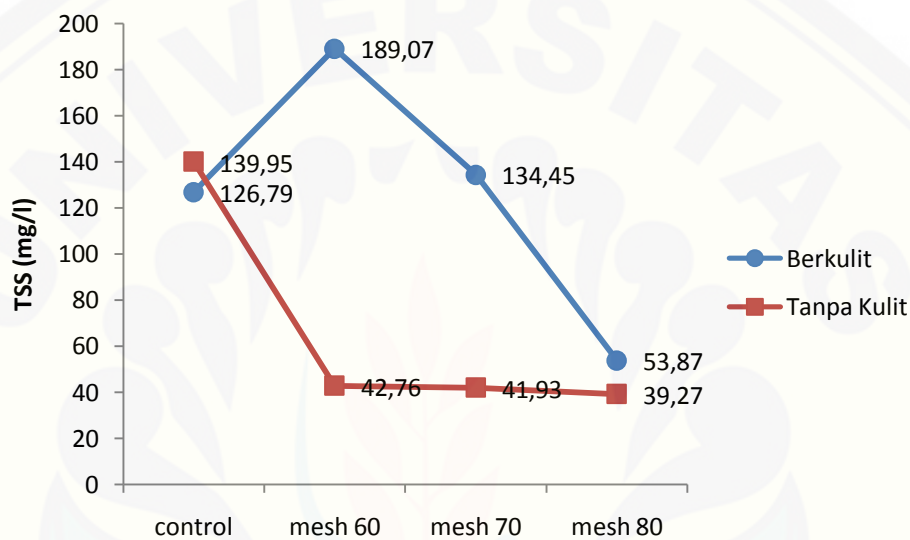
Dari segi ukuran partikel pada kedua kombinasi perlakuan, dapat diketahui bahwa semakin besar ukuran mesh partikel yang digunakan maka nilai kekeruhan semakin kecil. Meskipun pada perlakuan biji kelor berkulit nilai kekeruhan masih tinggi, namun nilai kekeruhan tersebut semakin menurun saat ukuran mesh yang digunakan. Hal ini juga terjadi pada perlakuan biji kelor tanpa kulit. Nilai kekeruhan pada perlakuan biji kelor tanpa kulit memiliki hasil yang sangat baik. Nilai kekeruhan mengalami penurunan seiring dengan dengan mesh yang semakin besar. Semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan partikel akan lebih besar sehingga zat aktif pada biji kelor tersebut semakin besar dan dapat bekerja lebih efektif. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Husin dan Pandia (2005), bahwa semakin kecil (halus) ukuran partikel koagulan biji kelor maka penurunan turbiditas air sungai juga cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan semakin kecil ukuran partikel bahan koagulan, suspensi tersebut memiliki luas permukaan yang luas sehingga ruang penyerapan antar ion akan semakin luas pula.

4.3.3 Analisa TSS

TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Masuknya padatan tersuspensi dapat menimbulkan kekeruhan dan akan menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton sehingga konduktivitas primer perairan menurun yang pada gilirannya menyebabkan gangguan keseluruhan rantai makanan (Suriawiria, 2005).

Suriawiria (2005), juga mengemukakan bahwa TSS pada limbah cair kopi terdiri dari partikel halus bekas proses *pulping* dan partikel organik yang

berbentuk lendir. TSS merupakan padatan yang tidak dapat lolos dari kertas saring perpori $0,45 \mu\text{m}$. Padatan tersuspensi yang terdapat pada limbah cair kopiterdiri dari berbagai macam zat seperti bahan organik dan anorganik. Bahan-bahan organik yang merupakan zat tersuspensi terdiri dari berbagai jenis senyawa seperti gula dan pektin yang melayang-layang dalam air atau dapat juga berupa mikroorganisme seperti bakteri, algae, dan sebagainya. Grafik komparasi nilai TSS pada kedua perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik Komparasi Nilai TSS

Nilai TSS awal untuk biji kelor berkulit sebesar $126,79 \text{ mg/l}$ naik menjadi $189,7 \text{ mg/l}$ pada ukuran partikel 60 mesh, kemudian turun menjadi $134,45 \text{ mg/l}$ pada ukuran partikel 70 mesh dan terus menurun menjadi $57,38 \text{ mg/l}$ pada ukuran partikel 80 mesh. Nilai TSS awal untuk biji kelor tanpa kulit sebesar $139,95 \text{ mg/l}$ semakin menurun pada semua ukuran partikel. Nilai TSS pada ukuran partikel 60 mesh turun menjadi $42,67 \text{ mg/l}$, kemudian turun menjadi $41,93 \text{ mg/l}$ pada ukuran partikel 70 mesh dan terus menurun menjadi $39,27 \text{ mg/l}$ pada ukuran 80 mesh.

Nilai TSS yang diperoleh dari kedua kombinasi perlakuan sudah memenuhi nilai baku mutu untuk TSS yaitu 100 mg/l kecuali pada kombinasi perlakuan biji kelor berkulit pada ukuran partikel 60 dan 70 mesh. Penurunan nilai TSS pada perlakuan biji kelor tanpa kulit bisa dikatakan efektif karena menurut Bangun *et*

al. (2013), koagulan dapat dikatakan efektif bila penurunan TSS mencapai 50%. Maka dapat dikatakan bahwa penyisihan TSS pada perlakuan biji kelor tanpa kulit sudah efektif karena mampu menyisihkan TSS hingga 50%.

Nilai TSS yang diperoleh akan mempengaruhi kekeruhan limbah cair kopi, semakin tinggi nilai TSS maka kekeruhan juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya efek Tyndall yang disebabkan oleh keberadaan TSS sehingga menghalangi sinar yang akan menembus suspensi. Nilai TSS pada perlakuan menggunakan biji kelor berkulit pada ukuran partikel 60 mesh semakin bertambah dikarenakan partikel kulit biji kelor yang tidak bisa bergabung dengan partikel limbah cair kopi karena ukuran partikel yang besar dan tidak adanya kation yang dapat menimbulkan gaya tarik-menarik dengan muatan negatif (anion) pada limbah cair kopi. Meskipun dosis yang diberikan sama, kandungan koagulan biji kelor berkulit lebih banyak mengandung kulit. Zat aktif pada kelor (*4-alfa-4rhamnosyloxyl-benzil-isothiochinate*) tidak dapat berada di permukaan biji kelor sehingga koagulan bekerja kurang efektif dibanding dengan perlakuan tanpa kulit. Kulit biji kelor tersebut menjadi padatan melayang dan sulit mengendap dengan waktu pengendapan selama 60 menit karena berat yang ringan sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk turun ke dasar beaker glass. Menurut Putra *et al.* (2013), proses pengendapan pasca koagulasi flokulasi membutuhkan waktu setidaknya 1 hingga 3 jam. Padatan melayang tersebut tidak bisa bereaksi dengan limbah cair kopi karena zat aktif pada biji kelor yang berfungsi sebagai disinfektan hanya terdapat pada biji kelor bagian dalamnya saja sehingga membuat nilai kekeruhan semakin tinggi.

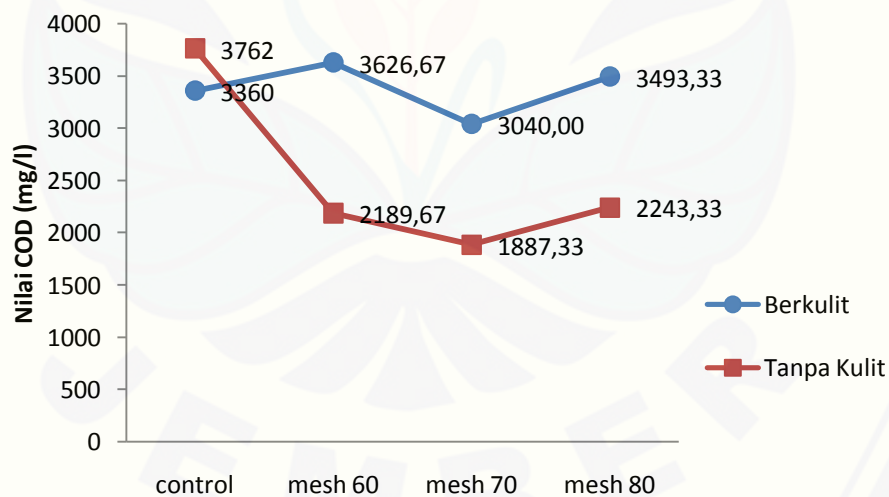
4.3.5 Analisa COD

COD(*Chemical Oxygen Demand*) merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah bahan organik pada limbah. COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik di dalam limbah (Bangun *et al.*, 2013). Nilai COD merupakan suatu ukuran tingkat pencemaran oleh bahan organik. Pengukuran COD dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air dengan berdasarkan reaksi kimia dari suatu

bahan oksidan. Semakin tinggi nilai COD dalam suatu pengukuran mengindikasikan adanya pencemaran, sehingga air yang memiliki nilai COD tinggi memiliki kualitas yang rendah.

COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik di dalam air. Uji COD juga banyak digunakan sebagai pengukur tingkat polusi limbah. Pengujian ini dibuat untuk mengukur oksigen yang diperlukan untuk oksidasi bahan organik dalam sampel. Bahan pengoksidasi yang digunakan yaitu kalium dikromat.

COD awal limbah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan COD dari pengolahan kopi metode semi basah yang banyak menggunakan air yaitu berkisar antara 3360 – 3762 mg/l. Limbah cair pertama bernilai 3360 mg/l berasal dari proses pengupasan buah kopi (*pulping*), pencucian buah kopi dan pencucian pasca fermentasi sedangkan limbah cair kedua memiliki nilai COD sebesar 3762 mg/l berasal dari limbah pencucian buah kopi dan pengupasan buah kopi (*pulping*). Data komparasi nilai COD setelah perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Komparasi Nilai COD

Dalam grafik tersebut diketahui bahwa nilai COD dari semua kombinasi perlakuan cukup besar. Nilai COD limbah awal dari perlakuan biji kelor berkulit sebesar 3360 mg/l semakin tinggi menjadi 3626,67 mg/l pada ukuran partikel 60

mesh. Nilai tersebut kemudian menjadi 3040,00 pada ukuran partikel 70 mesh; dan 3493,33 pada ukuran partikel 80 mesh. Nilai COD limbah awal untuk perlakuan biji kelor tanpa kulit sebesar 3762 mg/l turun menjadi 2189,67 mg/l untuk perlakuan ukuran partikel 60 mesh kemudian turun menjadi 1887,33 mg/l pada ukuran partikel 70 mesh dan naik kembali menjadi 2243,33 mg/l pada ukuran partikel 80 mesh.

Nilai COD awal yang berbeda pada setiap perlakuan dikarenakan pengambilan limbah pada proses yang berbeda. Menurut Novita (2012), COD pada limbah cair kopi proses pengupasan minimasi air berkisar antara 14.000-26.000 mg/l dan pada proses pencucian memiliki nilai yang lebih rendah yaitu antara 7000-21.000 mg/l. Namun perbedaan nilai COD pada setiap proses di Perkebunan Kopi Rakyat Sidomulyo tidak memiliki rentang yang begitu jauh. Meskipun begitu, nilai tersebut masih jauh diatas ambang batas yang dianjurkan yaitu 100 mg/l.

Biji kelor dari kedua perlakuan ini kurang efektif dalam penyisihan COD karena pengurangan kadar COD tidak sampai 50%. Selain itu, hasil COD dari perlakuan menggunakan biji kelor berkulit memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai COD limbah awal yaitu pada kombinasi perlakuan ukuran partikel 60 mesh. Hal ini dikarenakan biji kelor berkulit tidak bisa bekerja secara efektif dalam mengurangi bahan organik dikarenakan partikel-partikel koagulan yang memiliki kandungan protein dan zat aktif anti mikroba kemungkinan tertutupi oleh kulit biji kelor yang dihaluskan.

Hasil COD pada perlakuan biji kelor berkulit dengan ukuran partikel 70 dan 80 mesh mengalami penurunan meskipun hanya sedikit sama halnya dengan hasil COD pada perlakuan biji kelor tanpa kulit dengan ukuran partikel 60, 70 dan 80 mesh yang hanya mengalami sedikit penurunan. Hal ini terjadi karena polimer kationik dapat mengurangi kandungan bahan organik. Partikel koloid yang berasal dari bahan organik memiliki muatan listrik negatif. Penambahan polimer kation dari biji kelor tanpa kulit pada partikel koloid dengan muatan negatif ini akan membentuk jembatan partikel antar partikel koloid. Jembatan partikel ini akan saling terhubung satu sama lain sehingga diperoleh massa yang cukup untuk

mengendap. Dengan mengendapnya bahan organik maka nilai COD akan turun. Penurunan COD juga dikarenakan sifat anti mikroba yang dimiliki oleh biji kelor. Hal ini sesuai dengan apa yang dikemukakan oleh Ghebremichael *et al.* (2004), bakteri gram positif dan negatif dapat terflokulasi oleh protein yang terdapat pada biji kelor.

Hasil COD yang diperoleh setelah proses koagulasi masih berada di atas ambang batas atau baku mutu yang diperuntukkan yaitu 100 mg/l. COD yang diperoleh dari proses koagulasi masih belum bisa memenuhi standar atau baku mutu yang telah ditetapkan. Hal ini dikarenakan terlalu banyak zat organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah cair kopi tersebut. Menurut Putra *et al.* (2013), dalam proses pengolahan limbah cair, koagulasi merupakan bagian dari *primary treatment* yang memiliki tujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi dalam air sehingga untuk dapat menyisihkan kadar COD yang tinggi pada limbah diperlukan pengolahan lebih lanjut yaitu *secondary treatment* yang bertujuan menghilangkan material organik pada limbah. Namun bukan berarti proses koagulasi tidak bisa menyisihkan kadar COD, proses koagulasi masih bisa menyisihkan kadar COD limbah cair namun *secondary treatment* menghilangkan kadar COD lebih besar. Hal ini bisa jadi dikarenakan beberapa faktor antara lain waktu pengendapan yang relatif singkat. Menurut Husin dan Pandia (2005), selain ukuran partikel, waktu pengendapan juga berpengaruh terhadap penyisihan kadar kekeruhan dan COD. Waktu penyisihan paling efektif adalah selama 1 hingga 3 jam. Pada penelitian ini waktu penyisihan yang digunakan hanya 1 jam jauh dari waktu efektif yang disarankan untuk pengolahan air limbah menggunakan biji kelor. Dalam waktu yang singkat tersebut sebagian besar flok yang terbentuk pada proses flokulasi tidak mampu untuk turun karena semakin banyak flok yang terbentuk maka partikel yang terikat pada zat aktif biji kelor dan membentuk flok semakin kecil. Semakin kecil ukuran flok yang terbentuk maka semakin besar pula waktu yang diperlukan flok tersebut untuk turun ke dasar limbah cair kopi dan membentuk sedimen.

4.4 Hasil Uji ANOVA

Data parameter pH, Kekeruhan, TSS dan COD hasil perlakuan koagulasi flokulasi dari setiap kombinasi perlakuan kemudian dianalisis dengan uji ANOVA (*Analysis Of Variance*) menggunakan software SPSS versi 16.0. Uji ANOVA dilakukan untuk menganalisa perbedaan antar perlakuan terhadap parameter pengamatan. Hasil akhir dari uji ANOVA dinyatakan pada F. Apabila F yang dihitung didapatkan setelah F pada derajat bebas dengan kepercayaan error 0,05 (5%) lebih besar atau lebih kecil maka dapat ditentukan menolak atau menerima hipotesis nol (H_0). Hasil analisa dari ANOVA disajikan dalam bentuk tabel yang terdapat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Uji ANOVA Penelitian Utama

		Sum of Squares	df	Mean Square	F hitung	Sig.	F tabel
pH	Between Groups	9.778	5	1.956	17.600	.000	4.68
	Within Groups	1.333	12	.111			
	Total	11.111	17				
Kekeruhan	Between Groups	990.939.778	5	198.187.956	16.936	.000	4.68
	Within Groups	140.428.667	12	11.702.389			
	Total	1.131.368.444	17				
TSS	Between Groups	59692,944	5	11938,589	16,914	.000	4.68
	Within Groups	8470,000	12	705,833			
	Total	68162,944	17				
COD	Between Groups	8.160.008.278	5	1.632.001.656	31.063	.000	4.68
	Within Groups	630.451.333	12	52.537.611			
	Total	8.790.459.611	17				

(Sumber : Data Primer Diolah, 2014)

Tabel 4.3 menunjukkan nilai hasil pengujian ANOVA menggunakan SPSS. Nilai F hitung yang telah didapatkan dari perhitungan pada SPSS akan dibandingkan dengan nilai F tabel yang didapat pada tabel nilai kritik sebaran F. Nilai signifikansi pada tabel akan dibandingkan dengan taraf signifikansi atau taraf kepercayaan yang digunakan yaitu $\alpha=0,05$.

Hasil perhitungan pada SPSS menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada tiap kombinasi perlakuan terhadap nilai pH, kekeruhan, TSS dan COD. Hal ini ditunjukkan melalui nilai taraf signifikansi 0,05 lebih besar daripada nilai

signifikansi pada tiap parameter dan nilai F hitung lebih besar dari F tabel maka keputusannya adalah tolak H_0 dan H_1 diterima. Artinya terdapat perbedaan nyata antara berbagai perlakuan kondisi permukaan kulit terhadap parameter pengamatan. Dengan demikian akan dilakukan uji lanjutan terhadap semua parameter.

Uji Duncan dilakukan untuk membandingkan pengaruh perlakuan dengan jumlah sampel dengan melihat nilai P (sig), jika hasil kurang dari 0,05 maka berbeda nyata dan jika lebih dari 0,05 maka tidak berbeda nyata. Abjad yang ada pada masing-masing perlakuan pada uji Duncan menunjukkan nilai tengah mana saja yang sama dan nilai tengah mana saja yang tidak sama. Uji lanjutan (*post hoc*) dengan menggunakan metode Duncan dapat diuraikan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Uji Duncan

Perlakuan	pH	Kekeruhan	TSS	COD
K1P1	7,1 ± 0,0 ^b	647,67 ± 16,77 ^c	189,06 ± 4,13 ^c	3626,67 ± 46,19 ^c
K1P2	6,8 ± 0,0 ^a	559,33 ± 261,82 ^b	134,46 ± 64,41 ^b	3040,00 ± 240,00 ^b
K1P3	6,6 ± 0,577 ^b	425,66 ± 36,31 ^a	53,87 ± 8,93 ^a	3493,33 ± 440,61 ^c
K2P1	8,0 ± 0,0 ^c	49,57 ± 3,30 ^a	42,76 ± 0,81 ^a	2189,67 ± 118,94 ^a
K2P2	7,6 ± 0,557 ^c	52,93 ± 3,81 ^a	41,93 ± 0,94 ^a	1887,33 ± 85,50 ^a
K2P3	8,0 ± 0,0 ^c	38,73 ± 6,03 ^a	39,27 ± 1,48 ^a	2243,33 ± 199,76 ^a

Keterangan : Abjad yang sama dalam satu kolom menunjukkan nilai berbeda tidak nyata secara statistik pada $\alpha \leq 0,05$ menggunakan metode Duncan.

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai tiap parameter yaitu pH, kekeruhan, TSS dan COD dari perlakuan biji kelor berkulit dengan biji kelor tanpa kulit berbeda nyata pada masing-masing perlakuan. Beda nyata terlihat dengan adanya abjad yang berbeda dalam satu kolom. Nilai yang berbeda nyata pada parameter pH adalah perlakuan biji kelor berkulit dengan ukuran partikel 70 mesh dengan biji kelor tanpa kulit pada semua perlakuan. Nilai yang berbeda nyata pada parameter kekeruhan adalah perlakuan biji kelor berkulit dengan variasi 60 dan 70 mesh dengan perlakuan biji kelor tanpa kulit. Nilai TSS yang pada perlakuan biji kelor berkulit berbeda nyata pada perlakuan 60 dan 70 mesh. Nilai COD pada

perlakuan biji kelor berkulit 70 mesh berbeda nyata dengan perlakuan yang sama namun pada ukuran partikel 60 dan 80 mesh.

Adanya perbedaan nyata tiap parameter pada perlakuan biji kelor berkulit dikarenakan keberadaan kulit biji kelor yang menjadi zat impuritis atau zat pengotor pada mekanisme adsorpsi saat proses koagulasi sehingga biji kelor tidak bisa bekerja secara efektif. Berdasarkan sumber dari Hidayat (2013), dapat diketahui bahwa nilai protein pada kulit biji kelor cukup rendah yaitu sekitar 15.680 ppm/gram. Begitu pula protein pada biji kelor berkulit yang memiliki nilai 73.547 ppm/gram lebih rendah dibandingkan dengan biji kelor tanpa kulit yaitu sebesar 147.280 ppm/gram. Nilai protein yang lebih rendah pada biji kelor berkulit dikarenakan protein yang berada pada kulit biji kelor tertutupi dengan banyaknya serat yang menjadi bagian terbesar dari kulit biji kelor. Kulit biji kelor yang memiliki struktur yang hampir sama dengan kulit kacang kapri memiliki banyak serat dan sedikit protein. Serat tersebut merupakan *insoluble fiber* yang tidak dapat larut dalam air sehingga membuat kulit biji kelor menjadi zat impuritis yang menghalangi kinerja koagulasi flokulasi. Teori lain yang memungkinkan adalah protein yang ada pada kulit biji kelor mengalami denaturasi akibat pemanasan saat proses pengkondisian kadar air. Protein tersebut akan mengalami perubahan ikatan sehingga kemampuan protein kationik untuk menyerap ion negatif pada limbah cair kopi menurun atau tidak berfungsi sama sekali.

Hasil kombinasi perlakuan biji kelor tanpa kulit pada berbagai ukuran partikel memiliki nilai berbeda tidak nyata karena abjad yang sama pada setiap kolom. Hal ini berarti biji kelor tanpa kulit tidak memiliki nilai hasil yang jauh berbeda antara penggunaan biji kelor pada ukuran partikel 60, 70 maupun 80 mesh. Dari hasil uji Duncan tersebut dapat diketahui bila semua kombinasi perlakuan memiliki nilai yang tidak berbeda nyata maka ukuran partikel yang paling baik adalah ukuran partikel 60 mesh pada biji kelor tanpa kulit karena ukuran partikel 60 mesh lebih mudah saat dihaluskan dan diayak dibandingkan dengan ukuran partikel 70 dan 80 mesh.

4.5 Efisiensi Kombinasi Perlakuan

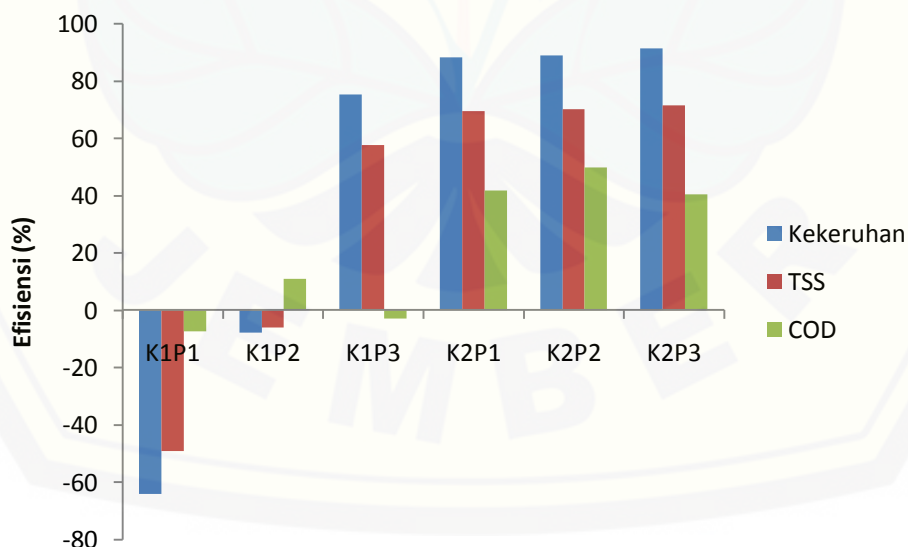
Efisiensi pada penelitian ini adalah perbandingan antara nilai awal parameter dan nilai akhir parameter dari setiap kombinasi perlakuan. Dari perhitungan efisiensi tersebut dapat diketahui kombinasi perlakuan manakah yang memiliki nilai penyisihan kadar parameter yang baik.

Limbah cair kopi yang telah diproses koagulasi flokulasi kemudian di ukur nilai dari setiap parameter. Setiap kombinasi perlakuan menghasilkan nilai yang berbeda. Hasil akhir nilai dari setiap parameter akan dibandingkan dengan karakteristik awal limbah cair kopi. Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan efisiensi pada masing-masing perlakuan.

Tabel 4.5 Efisiensi Kombinasi Perlakuan

Perlakuan	Kode	Kekeruhan (%)	TSS (%)	COD (%)
Biji Kelor Berkulit 60 mesh	K1P1	-64,17	-49,12	-7,43
Biji Kelor Berkulit 70 mesh	K1P2	-7,90	-6,04	10,98
Biji Kelor Berkulit 80 mesh	K1P3	75,14	57,51	-2,85
Biji Kelor Tanpa Kulit 60 mesh	K2P1	88,15	69,44	41,80
Biji Kelor Tanpa Kulit 70 mesh	K2P2	88,93	70,04	49,83
Biji Kelor Tanpa Kulit 80 mesh	K2P3	91,35	71,49	40,36

Sumber : Data primer diolah (2014).



Gambar 4.10 Efisiensi Pada Setiap Kombinasi Perlakuan

Gambar 4.10 menunjukkan efisiensi pada masing-masing perlakuan memiliki nilai yang berbeda. Nilai efisiensi kekeruhan dan TSS paling baik adalah pada

kombinasi perlakuan koagulan biji kelor tanpa kulit dengan ukuran partikel 80 mesh dengan nilai efisiensi kekeruhan sebesar 91,35% dan efisiensi TSS 71,49% sedangkan untuk nilai efisiensi COD paling baik adalah pada perlakuan koagulan biji kelor tanpa kulit dengan ukuran partikel 70 mesh yaitu 49,83%.

Dari efisiensi yang telah didapatkan dari hasil akhir pengukuran parameter setiap perlakuan tersebut dapat diketahui bahwa perlakuan koagulan biji kelor tanpa kulit memiliki nilai efisiensi yang besar pada semua parameter, kecuali pada efisiensi COD yang masih di bawah 50%. Dari hasil efisiensi tersebut dapat disimpulkan bahwa biji kelor tanpa kulit merupakan perlakuan yang efektif pada penurunan kekeruhan, TSS dan COD. Biji kelor tanpa kulit juga dapat menyisihkan kadar COD meskipun hanya di bawah 50%. Dari hasil perhitungan ANOVA juga telah dijelaskan bahwa perlakuan biji kelor tanpa kulit pada berbagai ukuran partikel tidak berbeda nyata satu sama lain, artinya nilai parameter yang dihasilkan pada perlakuan biji kelor tanpa kulit pada berbagai ukuran partikel cenderung sama meskipun memiliki nilai efisiensi yang berbeda. Biji kelor dengan ukuran partikel 60 mesh memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan dengan ukuran partikel 70 dan 80 mesh. Namun salah satu kelebihan yang dimiliki oleh ukuran partikel 60 mesh adalah pembuatan serbuk yang lebih mudah jika dibandingkan dengan ukuran partikel 70 dan 80 mesh apalagi jika alat yang digunakan berupa ayakan mesh dan penghancur manual.

Biji kelor berkulit memiliki nilai efisiensi yang sangat rendah. Nilai pada parameter kekeruhan, TSS dan COD sebagian besar juga bernilai negatif, artinya nilai dari parameter setelah perlakuan menjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai awal parameter limbah cair kopi. Hanya hasil perlakuan ukuran partikel 80 mesh yang memiliki nilai efisiensi kekeruhan dan TSS yang bernilai besar. Efisiensi COD juga memiliki nilai yang rendah pada semua perlakuan. Dari hasil perhitungan efisiensi dapat diketahui bahwa biji kelor berkulit tidak bisa dikatakan efektif karena tidak bisa menyisihkan nilai kekeruhan, TSS dan COD hingga 50%. Hal-hal yang mempengaruhi kecilnya nilai efisiensi dari semua parameter pada perlakuan biji kelor berkulit adalah adanya kerusakan atau

denaturasi pada kulit biji kelor saat proses pemanasan terjadi. Karena menurut Hidayat (2013), protein akan mengalami denaturasi tahap awal yaitu perubahan struktur yang menyebabkan hilangnya fungsi protein pada suhu $>50^{\circ}\text{C}$ sehingga protein yang terkandung pada kulit biji kelor menjadi rusak bahkan hilang. Dengan hilangnya protein tersebut maka kandungan yang tersisa hanyalah *insoluble fiber* yang tidak bisa larut dalam air sehingga membuat partikel koagulan biji kelor dengan kulitnya bercampur. Partikel biji kelor mampu menyerap ion negatif pada koloid sedangkan partikel kulit biji kelor yang juga dijadikan sebagai koagulan tidak bisa menimbulkan gaya tarik-menarik dikarenakan kerusakan protein yang membuat kation dalam kulit biji kelor tidak bereaksi. Begitu pula dengan zat aktif *rhannosyloxy-benzil-isothiocyanate* yang terdapat pada inti biji kelor tidak bisa bekerja secara maksimal dan tidak bisa menyerap bakteri pada limbah cair kopi. Hal ini kemungkinan disebabkan karena partikel koagulan masih menggumpal dan dapat menghalangi proses penyerapan zat aktif pada inti biji kelor saat proses koagulasi terjadi karena partikel kulit dan biji kelor tidak dapat terpisah.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

1. Dari hasil penelitian dan analisa ANOVA perlakuan ukuran partikel paling baik adalah 60 mesh dengan menggunakan biji kelor tanpa kulit. Hal ini antara lain dikarenakan tingkat efisiensi yang berbeda tipis, nilai yang tidak berbeda nyata antara ukuran partikel 60, 70 dan 80 mesh dan lebih mudah untuk membuat serbuk biji kelor pada ukuran partikel pada mesh 60.
2. Perlakuan paling baik dalam pada proses koagulasi flokulasi menggunakan biokoagulan biji kelor adalah dengan perlakuan biji kelor tanpa kulit karena memiliki nilai efisiensi kekeruhan sebesar 91,35%, TSS 71,49% dan nilai efisiensi COD dari 49,83 % serta mampu mempertahankan nilai pH pada keadaan sesuai dengan baku mutu.

5.2 Saran

Pada penelitian yang telah dilaksanakan ini, waktu pengendapan yang digunakan hanya 60 menit. Ada baiknya bila pada penelitian selanjutnya waktu pengendapan dijadikan salah satu variabel dalam penelitian sehingga dapat diketahui apakah waktu pengendapan yang lebih lama bisa menurunkan kadar kekeruhan, TSS maupun COD limbah cair kopi

DAFTAR PUSTAKA

- Anindita, R. 2004. *Pemasaran Hasil Pertanian*. Surabaya: Papyrus.
- Bangun, A.R., Aminah, S., dan Hutahean, R.A. 2013 *Pengaruh Kadar Air dan Lama Pengendapan Serbuk Biji Kelor Pengolahan Limbah Cair Tahu*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 2. No 1. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Casey, T.J.1997.*Unit Treatment Processes In Water And Wastewater Engineering*, John Wiley & Sons : Singapore.
- Chandra, A.2000. *Penentuan Dosis Optimum Koagulan Ferro Sulfat- Kapur Flokulan Chemifloc dan Besofloc serta Biokoagulan Moringa Oleifera dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tekstil*.Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Kimia. Bandung : Universitas Parahyangan.
- Chandra,R., Bharagava R.N., Rai V. 2008. *Melaniodine as Major Colourant in Sugaranse Molasses Based Distillery Effluent and Its Degradation*. Bioresource Technology 99 (11), 4648-4660.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisus.
- Ghebremichael, K., Broin C., dan Hultman B. 2004. *Alum Sludge Dewatering With Moringa*. Journal of Department of Land and Water Resources Engineering, Brinellvagen 32, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Hasanah, T. 2014. *Optimasi Penggunaan Koagulan Alami Biji Kelor Pada Pengolahan Limbah Cair Mocaf*. Skripsi. Jember : Universitas Jember.
- Hasibuan S dan Malayu. 2007. *Manajemen Sumber Daya Manusia* . Jakarta : PT. Bumi Aksara.
- Hidayat. 2013. *Protein Biji Kelor Sebagai Bahan Aktif Penjernihan Air*Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang
- Husin, A. dan Pandia, S. 2005. *Pengaruh Massa Dan Ukuran Biji Kelor Pada Proses Penjernihan Air*. Jurnal Teknologi Proses. Vol 4 (2) Juli 2005. Hal 26-33. Medan : Fakultas Teknik USU.
- Krstanto. 2002. *Ekologi Industri*. Yogjakarta : PT Andi Jogja.

- Kunty, S. 2007. *Pemanfaatan Bij Asam Jawa Sebagai Koagulan Logam Berat Limbah Cair Industri Tekstil*. Skripsi. Surabaya : Jurusan Teknik Kimia Industri ITS.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S. dan Talbot, B.G. 1995. *Active Agents And Mechanism Of Coagulation Of Turbid Water Using Moringa Oleifera*. *Water Research*, 29 (2), Hal.701-710.
- Novita, E. 2012. *Desain Pengolahan Pada Agroindustri Kopi Robusta Menggunakan Modifikasi Teknologi Olah Basah Berbasis Produksi Bersih*. Disertasi. Bogor : Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan IPB.
- Peraturan Gubernur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 2 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri Kopi dan Kakao*. Surabaya.
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. 2012. *Pedoman Teknis Penanganan Pascapanen Kopi*. Jakarta : Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Putra, S., Rantjono, S., dan Arifiansyah, T. 2009. *Optimasi Tawas Dan Kapur Untuk Koagulasi Air Keruh Dengan Penanda I-131*. Seminar Nasional V.
- Rachmawati, S.W., Bambang, I., dan Winarni. 2009. *Pengaruh pH pada Proses Koagulasi dengan Koagulan Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida*. *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol. 5. No. 2 Hal 40-45. Jakarta : Indomas Mulia, Konsultan Air Bersih dan Sanitasi.
- Rahardjo, P. 2012. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Rambe, A.M. 2009. *Pemanfaatan Biji Kelor (Moringa Oleifera) Sebagai Koagulan Alternatif Dalam Proses Penjernihan Limbah Cair Industri Tekstil*. Tesis. Sumatera Utara : Sekolah Pascasarjana USU.
- Rao, N. 2005. *Use Of Plant Material As Natural Coagulation For Treatment Of Waste Water*.
- Rendeou, V. dan Commenges, D. 2001. *Aluminium dan penyakit Alzheimer*. *Jurnal* Vol. 333 (8629), 82-83. *Universal Jurnal Riset dan Teknologi Lingkungan*.
- Ristiati. 2007. *Analisis Kualitatif Bakteri Coliform Pada Depot Air Minum Isi Ulang Di Kota Sinaraja Bali*. Singaraja : Universitas Negeri Singaraja FMIPA Biologi.

- Rukaisih. 2004. *Kimia Lingkungan*. Jakarta:PT ANDI.
- Sariadi. 2011. *Pengolahan Limbah Cair Kopi Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Batch*. Jurusan Teknik Kimia. Aceh : Politeknik Negeri Lhoksumawe.
- Soemirat. 2000. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Sugiharto, 2005. *Dasar- Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta : UI Press.
- Sugiharto, T. 2009. *Analisis Varians Dalam Statistik*. Jakarta : UPT Penerbitan Universitas Gunadarma.
- Suriawiria, U. 2005. *Mikrobiologi Air*. Bandung : PT Alumni.
- Suryadiputra,I. 2000. *Pengantar Mata Kuliah Pengolahan Limbah: Pengolahan Air Limbah Dengan Metode Kimia(Koagulasi dan Flokulasi)*. Bogor: Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor.
- Sutanto, 2006. *Buah Kelor Tanaman Ajaib Yang Dapat Digunakan Untuk Mengurangi Kadar Ion Logam Dalam Air*. Jurnal Jurusan Teknik Kimia, FMIPA. Universitas Bengkulu.
- Sutresno, 2004. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- Tanimedia, 2013. *Prospek Komoditas Kopi Nasional*. <http://www.tanimedia.com>. [27 April 2014]
- Undang-Undang. 2009. *Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta : Kementrian Lingkungan Hidup.
- Walpole, R. 1992. *Pengantar Statistika Edisi ke-3*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wiley, J. dan Sons. 1995. *Principles of Industrial Waste Treatment*. Jhon Wiley and Sons, Inc. New York.

LAMPIRAN A. HASIL PENELITIAN PENDAHULUAN**A.1 Tabel Penentuan Kecepatan Putaran (rpm) Optimum**

Kecepatan Putar (rpm)	Ulangan ke-	Kekeruhan (NTU)	Tinggi Sedimen (cm)	Rata-rata
300	1	440	0,9	478,8
	2	446	0,7	
	3	470	0,7	
	4	486	0,6	
	5	523	0,8	
	6	508	0,7	
400	1	455	0,7	473,5
	2	403	0,5	
	3	565	0,6	
	4	566	0,5	
	5	436	0,7	
	6	416	0,5	
500	1	500	0,5	483,4
	2	428	0,55	
	3	544	0,6	
	4	435,3	0,5	
	5	560	0,5	
	6	433	0,5	

*Dosis alum yang digunakan adalah 850 mg per 100 ml air

Kecepatan (rpm)	Kekeruhan (NTU)	Tinggi Endapan (cm)
300	478,8	0,6
400	473,5	0,7
500	483,5	0,5

A.2 Tabel Penentuan pH Optimum

Ulangan Ke-	Rentang pH	Kekeruhan (NTU)	Tinggi Sedimen (cm)
1	4	673	0,5
	5	482	0,5
	6	419	0,7
	7	378	0,6
	8	336	0,5
	9	337	0,7
2	7	411	0,6
	8	389	0,6
	9	372	0,7
3	7	416	0,7
	8	389	0,7
	9	360	0,7
	10	385	0,7

*Karena nilai grafik menunjukkan angka yang semakin tinggi dan tidak menemui titik optimum, maka dilakukan pengulangan

pH	Kekeruhan (NTU)
4	673
5	482
6	419
7	416
8	389
9	360
10	385

A.3 Tabel Penentuan Dosis Optimum

Dosis (gram)	Kekeruhan Awal (NTU)	pH Awal	Kekeruhan Akhir (NTU)
2	480	9	605
3	480	9	48,5
4	480	9	679
5	480	9	886
6	480	9	828
7	480	9	397

*pH yang digunakan pada penentuan dosis optimum merupakan hasil yang diperoleh dari penentuan pH optimum

A.4 PENGUKURAN KADAR AIR BIJI KELOR

Mesh	A (gr)	B (gr)	C (gr)	D (gr)	E (gr)	KA	KA %	F	TS
60	44,40	47,40	46,96	3,00	2,56	14,67	0,15	7,33	42,67
70	51,87	54,87	53,68	3,00	1,81	39,67	0,40	19,83	30,17
80	53,08	56,08	54,97	3,00	1,89	37,00	0,37	18,50	31,50

Keterangan :

A = Berat Cawan (gr)

B = Berat Sampel (gr)

C = Berat Cawan dan Bahan Kering (gr)

D = Solid (berat sampel-berat cawan) (gr)

E = Berat Akhir- Berat Cawan (gr)

KA = Kadar Air

KA % = Kadar Air (%)

F = Berat Air (gr)

TS = Total Solid (gr)

LAMPIRAN C. DOKUMENTASI PENELITIAN

C.1 Penelitian Pendahuluan



Limbah Cair Proses Pengolahan
Kopi



Limbah Cair Kopi yang Menggenang



Penentuan pH Optimum



Penentuan Dosis Optimum



Pembuatan Koagulan Biji
Kelor



Penentuan Kecepatan
Pengadukan Optimum

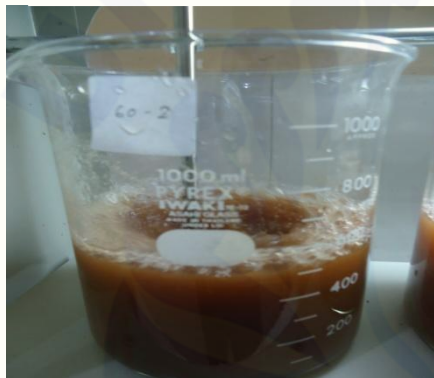
C.2 Penelitian Utama



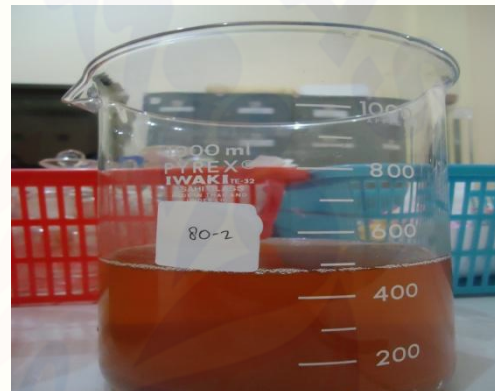
Limbah Sebelum Perlakuan
Biji Kelor Berkulit



Limbah Setelah Perlakuan
Biji Kelor Berkulit



Limbah Sebelum Perlakuan
Biji Kelor Tanpa Kulit



Limbah Setelah Perlakuan
Biji Kelor Tanpa Kulit



Pengukuran TSS



Proses Pemisahan Larutan
dengan Flok