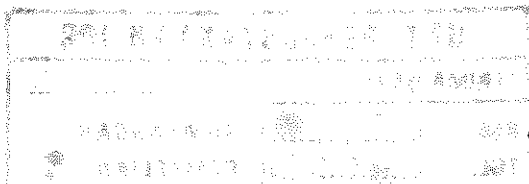


**" Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi,
dan silih bergantinya malam dan siang
terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal"
(QS : Ali 'Imran ayat 190)**

Kupersembahkan tulisan ini untuk :
- Ayah dan Ibu tercinta
- mBak Lin, mBak Martini,
Dra. Rini, Priyati dan
Toni



F/71N
1995
0090



PROSES KOAGULASI - FLOKULASI DALAM PENANGANAN PRIMER LIMBAH CAIR INDUSTRI RAYON



Oleh

PRIYO PUJANTORO

F 27. 1554



1 9 9 5

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

B O G O R

Halaman ini adalah...
1. Berfungsi sebagai...
2. Berfungsi sebagai...
3. Berfungsi sebagai...
4. Berfungsi sebagai...
5. Berfungsi sebagai...
6. Berfungsi sebagai...
7. Berfungsi sebagai...
8. Berfungsi sebagai...
9. Berfungsi sebagai...
10. Berfungsi sebagai...

Priyo Pujiantoro. F 27.1554. Proses Koagulasi-Flokulasi dalam Penanganan Primer Limbah Cair Industri Rayon. Dibawah bimbingan **Muhammad Romli** dan **Sri Purwati**.

RINGKASAN

Limbah cair industri rayon dihasilkan dari proses *viskosa* dan proses *spinning*. Dalam penelitian ini digunakan limbah cair gabungan dari dua proses tersebut, yang mengandung bahan anorganik, khususnya logam berat Zn (Seng), yang cukup tinggi dan bersifat asam.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses koagulasi-Flokulasi dalam penanganan primer limbah cair industri rayon sebelum dilakukan penanganan secara biologi.

Penentuan dosis koagulan dan flokulan dilakukan dengan metoda *jar test*. Koagulan yang digunakan meliputi Alum, Besi (III) klorida (FeCl_3) dan Kapur. Flokulan yang digunakan meliputi Polielektrolit Kationik (Sherefloc C-083), Anionik (Sherefloc A-011), dan Nonionik (Sherefloc N-010S).

Padatan tersuspensi dan kebanyakan fraksi koloid dapat dihilangkan dari limbah cair industri rayon oleh koagulasi-flokulasi diikuti dengan pengendapan. Pemakaian alum sebagai koagulan dapat menurunkan padatan tersuspensi sampai 89 persen, sedangkan kapur dapat menurunkan padatan tersuspensi sampai 93 persen. Koagulasi FeCl_3 dapat menurunkan padatan tersuspensi sampai 89 persen, akan tetapi akumulasi Fe dalam air olahan serta sifat korosif yang ditimbulkan mengakibatkan pemakaian FeCl_3 kurang berdaya guna.

Penambahan alum dalam koagulasi kapur mempengaruhi penurunan COD, akan tetapi cenderung menghambat penurunan kadar logam Zn. Koagulasi kapur tanpa alum mempunyai efisiensi yang tinggi dalam menurunkan kadar logam Zn.

Efisiensi penurunan logam Zn terbaik diperoleh pada penambahan kapur 50 ppm yaitu 91 persen. Pemakaian kapur 50 ppm merupakan dosis kapur terpilih untuk dikombinasikan dengan polielektrolit. Dalam proses koagulasi-flokulasi, pemakaian PE anionik memberikan hasil yang jauh lebih baik daripada pemakaian PE nonionik maupun kationik. Pemakaian PE anionik dapat memperbaiki efisiensi proses koagulasi-flokulasi dibandingkan dengan pemakaian kapur saja.

Dosis PE anionik 0.5 ppm merupakan dosis terpilih untuk dikombinasikan dengan koagulan kapur 50 ppm. Kombinasi kapur 50 ppm dengan PE anionik 0.5 ppm dapat menurunkan kadar logam Zn 91 persen, Fe 75 persen, Na 27 persen, sekaligus dapat menurunkan COD dan BOD masing-masing 60 dan 55 persen. Penurunan kandungan bahan organik berarti meringankan beban limbah yang harus ditangani secara biologi.

**PROSES KOAGULASI - FLOKULASI DALAM PENANGANAN PRIMER
LIMBAH CAIR INDUSTRI RAYON**

Oleh

PRIYO PUJANTORO

F 27.1554

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian,

Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor

1995

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR



FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR

PROSES KOAGULASI - FLOKULASI DALAM PENANGANAN PRIMER
LIMBAH CAIR INDUSTRI RAYON


SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN
pada Jurusan Teknologi Industri Pertanian,
Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor

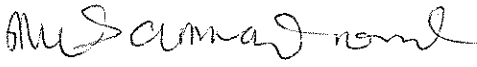
Oleh
PRIYO PUJANTORO
F 27.1554

Dilahirkan pada tanggal 23 November 1971
di Sragen,

Disetujui,
Bogor, 1995


I. Sri Purwati
Dosen Pembimbing




Dr. Ir. Muhammad Romli, MSc.
Dosen Pembimbing I

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan pada bulan **September** sampai bulan **November 1994** di **Balai Derivat Selulosa dan Polusi, Balai Besar Selulosa, Bandung**. Rasa terima kasih dan penghargaan penulis ucapkan kepada :

1. **Ayah dan Ibu** sekeluarga yang senantiasa menyertai dengan nasehat dan doa,
2. **Bapak Dr. Ir. Muhammad Romli, MSc** selaku pembimbing akademik yang telah membimbing penulis dalam penyelesaian skripsi,
3. **Ibu Ir. Sri Purwati**, selaku dosen pembimbing lapang yang telah membimbing penulis selama penelitian,
4. **Seluruh karyawan Balai Besar Selulosa** yang telah memberikan bantuan kepada penulis selama penelitian, dan
5. **Rekan-rekan praktikan di Balai Besar Selulosa** serta seluruh warga **Agrieventh**.

Penulis menyadari masih banyak yang perlu dipelajari dan dikembangkan dari tulisan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran guna perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Penulis

Bogor, Desember 1994

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Proses Pembuatan Rayon.....	4
B. Limbah Cair Industri Rayon	8
C. Sifat Koloid dalam Cairan	9
D. Koagulasi dan Flokulasi.....	12
E. Koagulan dan Flokulan	16
F. Masalah Logam Berat Zn dalam Proses Biologis.....	20
G. Penelitian Terdahulu	21
III. BAHAN DAN METODA	22
A. Bahan dan Alat	22
B. Metoda Penelitian	22
1. Pengambilan Contoh.....	22
2. Penentuan dosis Koagulan.....	23
3. Penentuan jenis dan dosis polielektrolit.....	23
4. Rancangan Percobaan	24

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN26

 A. Karakterisasi Limbah Cair26

 B. Penentuan Jenis dan Dosis Koagulan27

 1. Koagulasi alum28

 2. Koagulasi kapur31

 3. Koagulasi besi(III)klorida35

 4. Koagulasi kapur-alum38

 C. Penentuan Jenis dan Dosis Polielektrolit42

 1. Polielektrolit Anionik42

 2. Polielektrolit Kationik45

 3. Polielektrolit Nonionik47

V. KESIMPULAN 52

 A. Kesimpulan 52

 B. Saran 53

DAFTAR PUSTAKA 54

LAMPIRAN 57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Syarat mutu pulp rayon	4
Tabel 2. Karakteristik limbah cair industri rayon PT South Pacific Viscosa	26
Tabel 3. Karakteristik limbah cair awal.....	27
Tabel 4. Hasil koagulasi menggunakan alum	29
Tabel 5. Hasil koagulasi menggunakan kapur	31
Tabel 6. Hasil koagulasi menggunakan FeCl ₃	35
Tabel 7. Hasil koagulasi menggunakan kapur dengan/ tanpa pembantu koagulan	39
Tabel 8. Hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE anionik.....	43
Tabel 9. Hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE kationik	46
Tabel 10. Hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE nonionik	48
Tabel 11. Hasil penambahan dosis terpilih dari masing masing jenis polielektrolit	49
Tabel 12. Karakteristik efluen hasil proses koagulasi flokulasi	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Diagram alir pembuatan serat rayon	5
Gambar 2. Struktur lapisan ganda partikel koloid	11
Gambar 3. Resultan gaya yang bekerja pada partikel koloid.....	11
Gambar 4. Koagulasi dan Flokulasi	14
Gambar 5. Skema reaksi antara partikel koloid dengan polielektrolit	15
Gambar 6. Penurunan kekeruhan dan padaatan tersuspensi oleh koagulasi alum.....	30
Gambar 7. Penurunan kekeruhan dan padatan tersuspensi oleh koagulasi kapur	32
Gambar 8. Akumulasi Ca di dalam air olahan akibat penambahan kapur.....	34
Gambar 9. Penurunan kekeruhan dan padatan tersuspensi oleh koagulasi FeCl ₃	36
Gambar 10. Akumulasi Fe di dalam air olahan akibat penambahan FeCl ₃	37

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Tata kerja analisa dan pengujian.....	58
Lampiran 2. Hasil analisa statistik untuk penentuan jenis dan dosis koagulan	66
Lampiran 3. Hasil analisa statistik penambahan poli-elektrolit dalam proses koagulasi flokulasi	71
Lampiran 4. Data hasil penelitian.....	75
Lampiran 5. Standar kualitas air	77

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dewasa ini industri tekstil di Indonesia semakin berkembang seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk dan semakin meningkatnya daya beli masyarakat. Sejalan dengan berkembangnya industri tekstil, maka kebutuhan akan bahan baku tekstil juga meningkat. Bahan baku industri tekstil adalah serat, dapat berupa serat alam (kapas, sutera, wool) ataupun serat buatan (rayon, poliester, nylon).

Potensi hutan tropis Indonesia yang besar merupakan alasan utama untuk mengembangkan industri rayon. Serat rayon adalah serat buatan yang termasuk dalam golongan serat selulosa. Kayu-kayuan yang merupakan sumber selulosa adalah bahan baku pembuatan serat rayon.

Indonesia sampai saat ini belum dapat memenuhi kebutuhan serat kapas sebagai bahan baku industri tekstil, jadi masih tergantung impor. Substitusi serat kapas dengan serat buatan merupakan suatu pilihan yang baik dalam rangka upaya pengadaan bahan baku bagi industri tekstil dan pemenuhan bahan baku rayon di Indonesia. Impor dalam bentuk pulp rayon untuk memenuhi industri tekstil adalah sebesar 70 000 ton (Uzair dan Sugiharto, 1989).

Seperti halnya industri yang lain, maka keberadaan industri rayon juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitarnya. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh industri rayon adalah dihasilkannya limbah, baik limbah padat, gas maupun cair. Apabila ditinjau dari sudut pandang lingkungan, maka yang paling perlu diperhatikan adalah

limbah cair, karena limbah cair dalam jumlah besar akan cepat mencemari badan air penerima dan lingkungan disekitarnya.

Limbah cair industri rayon berasal dari dua sumber yaitu dari proses *viskosa* dan *spinning* (pemintalan). Berdasarkan penelitian sebelumnya, limbah cair dari proses viskosa bersifat basa ($\text{pH} \pm 10$) dan mengandung banyak bahan organik. Limbah cair dari proses spinning mengandung banyak bahan-bahan anorganik dan bersifat asam. Limbah cair campuran dari kedua proses tersebut mempunyai pH 2-3, padatan tersuspensi 200 - 580 mg/l, logam berat Zn 26 - 36 mg/l, COD 760 - 2200 mg O_2 /l dan BOD 378 - 480 mg O_2 /l.

Berdasarkan karakteristik tersebut, perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke dalam badan air. Oleh karena pH yang sangat rendah, kadar Zn dan kandungan zat tersuspensi yang tinggi, maka pengolahan pertama yang tepat adalah secara kimia yaitu koagulasi dan flokulasi.

Menurut Kossen *di dalam* Leentvaar (1978), keuntungan penanganan limbah cair secara fisika-kimia adalah tidak mempedulikan adanya senyawa beracun, dapat segera dilakukan *start up*, membutuhkan sedikit tempat, dapat disesuaikan dengan *load* limbah, dan efektif menghilangkan fospor.

Proses koagulasi-flokulasi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan penanganan primer, yang bertujuan untuk menetralkan pH dan menghilangkan padatan tersuspensi, logam berat Zn, serta menurunkan kandungan bahan organik sebelum dilakukan penanganan sekunder secara biologi.



B. TUJUAN PENELITIAN

1. Mempelajari proses koagulasi-flokulasi dalam penanganan primer limbah cair industri rayon.
2. Menentukan jenis dan dosis koagulan dan flokulan untuk mendapatkan mutu efluen yang terbaik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PROSES PEMBUATAN RAYON

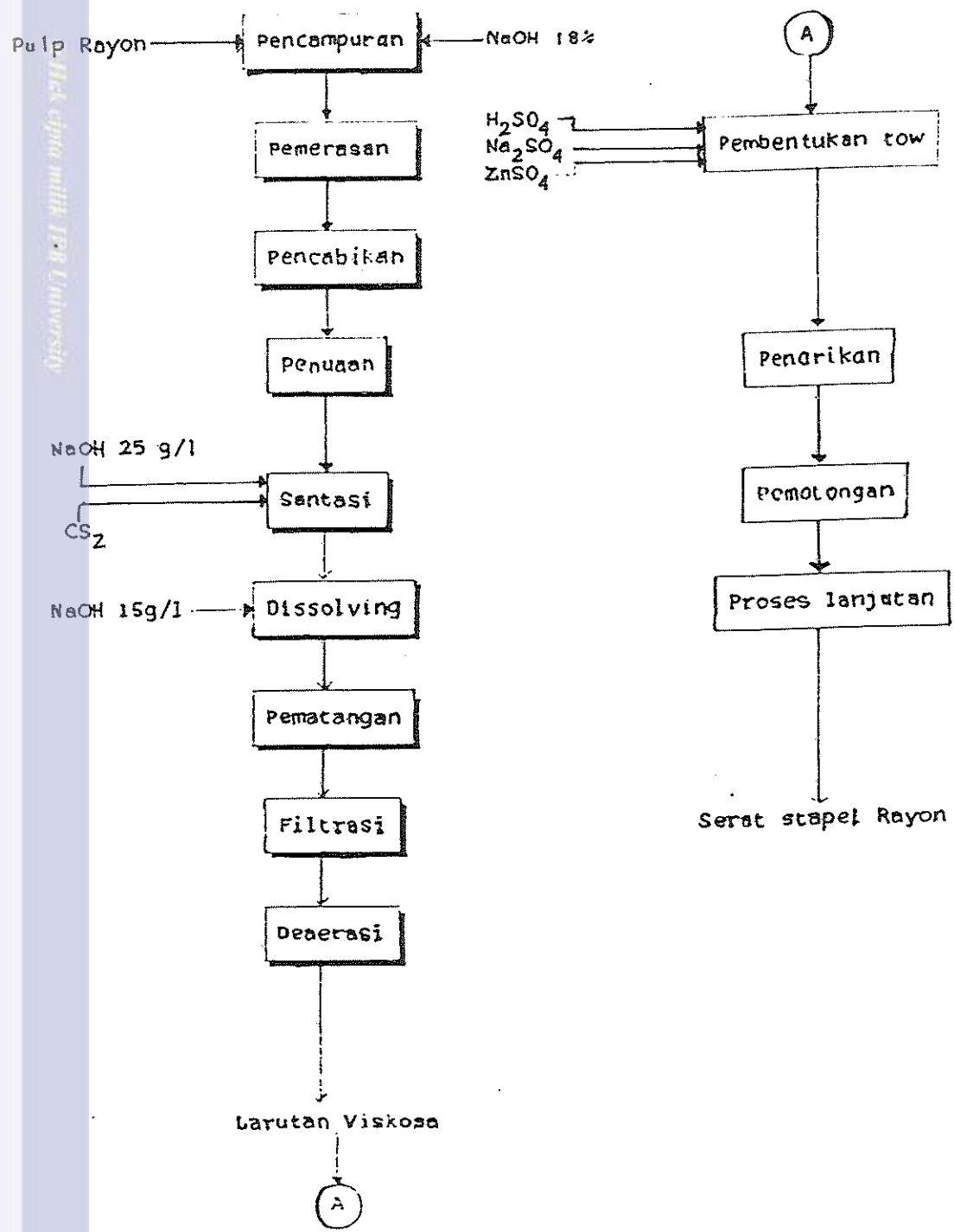
Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan rayon di PT. South Pacific Viskosa adalah pulp rayon (dissolving pulp) yang diekspor dari luar negeri. Menurut SII XI (1984), pulp rayon adalah pulp alpha (pulp untuk konversi kimia), baik pulp sulfat maupun sulfit dari kayu daun lebar ataupun kayu daun jarum yang digunakan sebagai bahan pembuat rayon. Persyaratan mutu pulp rayon disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan mutu pulp rayon^a

Parameter	Satuan	Nilai
Alpha selulosa	persen	Min 90.5
Kelarutan dalam NaOH 18 %	persen	Max 6.5
Kelarutan dalam NaOH 10 %	persen	Max 10.5
Sari (alkohol-benzen) %	persen	Max 0.3
Abu	persen	Max 0.15
Silika (sebagai SiO ₂)	mg/kg	Max 50
Kalsium (sebagai Ca)	mg/kg	Max 150
Besi (sebagai Fe)	mg/kg	Max 8
Viskositas	mpa.s	Min 18
Derajat putih (GE)	persen	Min 90
Variasi kadar air	persen	± 1

^a SII 1163 - 1984

Pembuatan serat stapel rayon terdiri dari dua tahapan proses yaitu proses *viskosa* dan proses *spinning* (Aryudi, 1993). Diagram alir proses pembuatan serat rayon disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan serat stapel rayon

1. Proses *Viskosa*

Menurut Aryudi (1993), proses *viskosa* bertujuan untuk mendapatkan larutan *viskosa* yang siap dipintal. Urutan prosesnya sebagai berikut :

a. Pencampuran dan Pemerasan

Selulosa yang berasal dari pulp dicampur dengan NaOH 18 persen sehingga terjadi penggelembungan maksimum terhadap selulosa.

Alkali selulosa dalam bentuk bubur diperas (*steeping*) untuk menghilangkan sisa alkali.

b. Pencabikan (*shreeding*)

Alkali selulosa selanjutnya dimasukkan ke dalam mesin *shreeder* hingga dihasilkan potongan-potongan kecil yang dinamakan *crumb*.

c. Penuaan (*ageing*) dan Santasi (*Xantation*)

Penuaan bertujuan untuk mendapatkan derajat polimerisasi yang diinginkan. *Crum* yang memiliki luas permukaan lebih kecil akan memungkinkan untuk bereaksi secara sempurna dengan NaOH, sehingga setelah pemeraman selama enam jam terjadi depolimerisasi 200 - 400 persen. Selanjutnya alkali selulosa dicampur dengan CS₂ dan NaOH 25g/l sehingga akan terbentuk selulosa santat.

d. Dissolving

Selulosa santat hasil dari santator belum bereaksi dengan sempurna , untuk itu perlu ditambahkan NaOH 15 g/l. Kelebihan

NaOH dipisahkan lewat centrifuge. Viskositas pada mesin dissolver diharapkan mencapai 50 sampai 60 mpa.s.

e. Pematangan (ripening)

Proses pematangan viskosa dilakukan dalam tangki pematangan selama 8 sampai 9 jam untuk mendapatkan indeks kematangan yang diinginkan.

f. Filtrasi dan Deaerasi

Proses filtrasi bertujuan untuk mendapatkan larutan viskosa yang bersih dan siap dipintal.

Viskosa yang telah difiltrasi dihilangkan gelembung udaranya menggunakan deaerator sehingga diperoleh larutan viskosa yang siap dipintal

2. Proses Pemintalan (*Spinning*)

a. Pembentukan *tow*

Larutan viskosa disemprotkan melewati *candle filter* dan digumpalkan menggunakan larutan koagulasi. Larutan koagulasi terdiri dari campuran larutan H_2SO_4 , $ZnSO_4$, dan Na_2SO_4 . Gumpalan viskosa yang keluar dari spinneret akan membentuk *tow* dan kemudia digulung oleh rol - rol goded.

b. Penarikan (strechling)

Strechling adalah proses penarikan filamen yang terjadi karena adanya perbedaan kecepatan antara rol - rol goded dengan rol - stretchling.



c. Pemotongan (cutting)

Pemotongan bertujuan untuk mendapatkan panjang serat stapel rayon yang diinginkan dengan cara melewatkan filamen pada pisau yang berputar.

d. Proses lanjutan

Proses lanjutan terhadap serat stapel rayon terdiri dari penghilangan sisa asam yang berasal dari larutan koagulasi, *desulfurisasi*, pemutihan menggunakan NaOCl, pencucian, pengeringan dan pengemasan.

B. LIMBAH CAIR INDUSTRI RAYON

Menurut Hoo dan Suryo (1982), zat pencemar dalam buangan cair industri dapat digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu zat pencemar yang mengapung (floating pollutant), zat pencemar yang melayang (suspended pollutant) dan zat pencemar yang larut (dissolved pollutant).

Azad (1976) menyatakan limbah cair yang dihasilkan pada pembuatan pulp proses kimiawi secara nisbi lebih potensial sebagai pencemar dibandingkan dengan pembuatan pulp secara mekanik atau semikimiawi. Hal ini disebabkan pada pembuatan pulp secara kimiawi akan dikeluarkan bahan pencemar tambahan dari larutan kimia untuk pemasakan atau pemutihan. Limbah cair yang dikeluarkan pada pemasakan pulp secara kimiawi mengandung bahan pencemar yang bersifat alkali dan mengandung padatan tersuspensi serta kandungan BOD yang tinggi (Rao dan Chhabria, 1972).



Berdasarkan karakterisasi sebelumnya, limbah cair industri rayon yang berasal dari proses *viskosa* sebagai sumber pencemar organik dengan pH alkali, sedangkan limbah cair dari proses *spinning* sebagai sumber pencemar anorganik (Zn dan Na) dengan pH asam.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, bahan kimia utama untuk pembuatan rayon adalah soda (NaOH), karbondisulfida (CS_2) dan asam sulfat. Bahan kimia lainnya untuk penyelesaian akhir adalah seng sulfat ($ZnSO_4$), kaporit/larutan pemutih ($NaClO$), Natrium sulfida (Na_2S).

Dalam proses lanjutan, terutama proses pemutihan, akan dikeluarkan limbah cair yang mengandung bahan kimia pemutih seperti H_2O_2 , Hidrogen sulfit, klor, klor oksida, hipoklorit dan peroksida. Selain itu juga mengandung serat, zat organik, pigmen, senyawa lignin, asam, resin, dan turunan khlor (Bratasida, 1988a). Padatan terlarut dalam limbah cair proses pemutihan berasal dari bahan kimia pemutih dan padatan yang masuk dari bahan yang belum diputihkan. Air limbah ini bersifat asam, kandungan BOD yang rendah dan mengandung klor (Rao dan Chhabria, 1972).

C. SIFAT KOLOID DALAM CAIRAN

Partikel koloid mempunyai nisbah luas permukaan yang besar terhadap volume, sehingga gaya gravitasi tidak mempengaruhi. Sebagai contoh koloid dengan volume 1 cm^3 mengandung 10^{18} partikel berbentuk kubus dengan sisi $10\text{ }\mu\text{m}$ dan luas permukaan 6500 ft^2 (Steel dan McGhee (1985). Oleh karena luas permukaan yang yang besar maka koloid mempunyai sifat menyerap dan elektrokinetik. Sifat menyerap

yaitu koloid cenderung mengumpulkan bahan-bahan dari lingkungan sekitarnya.

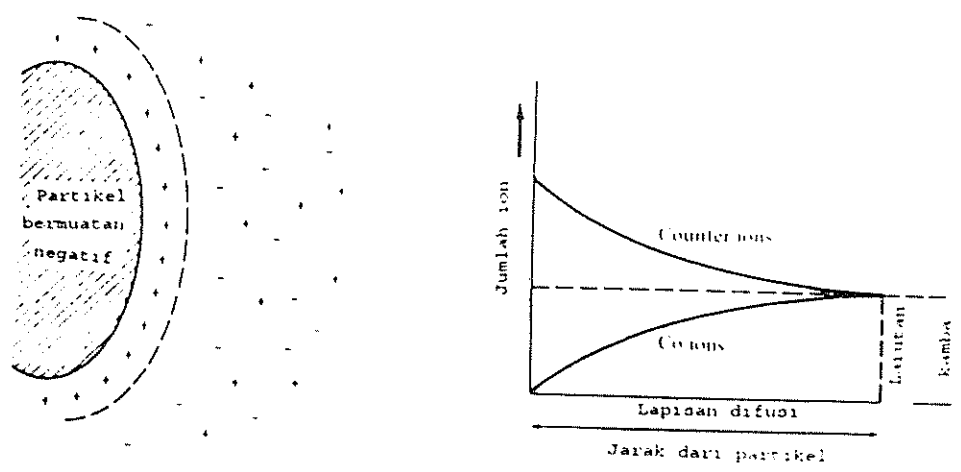
Berdasarkan sifat kelarutan dalam air, koloid dibagi menjadi koloid hidrofobik (menolak air) dan koloid hidrofilik (menarik air). Koloid hidrofobik adalah partikel yang mempunyai daya gabung yang kecil terhadap air, koloid ini dapat berupa bahan organik maupun anorganik seperti koloid lumpur dan oksida logam. Koloid hidrofilik adalah koloid yang terdispersi dalam air serta memiliki daya gabung yang besar terhadap air dan bersifat kokoh, sehingga sulit untuk dikoagulasikan. Contoh koloid hidrofilik adalah larutan pati, protein dan gum (Hammer, 1986).

Dua gaya yang menentukan kekokohan koloid adalah, pertama gaya tarik-menarik antar partikel yang disebut dengan gaya *Van der Waals*, cenderung membentuk agregat yang lebih besar. Gaya yang kedua adalah gaya tolak menolak yang disebabkan oleh pertumpangtindihan lapisan tenda elektrik yang bermuatan sama yang mengakibatkan kekokohan dispersi koloid (Hammer, 1986).

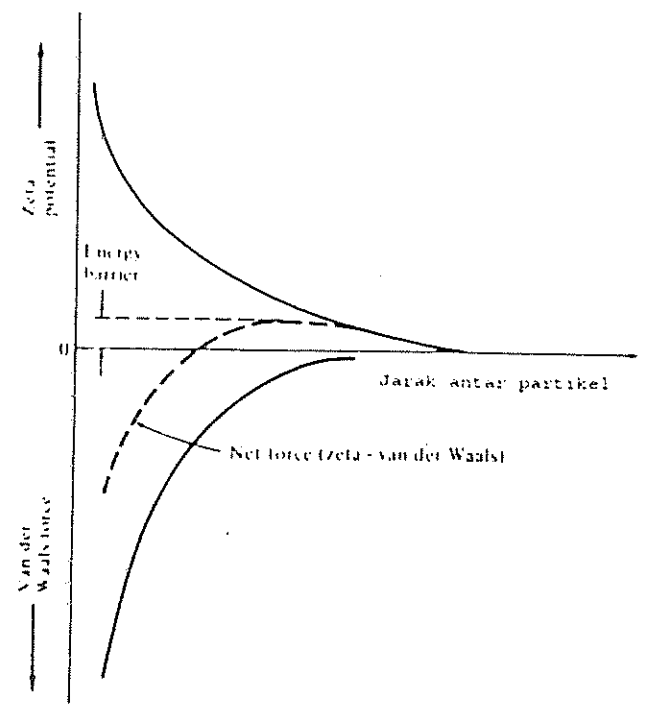
Menurut Reynold (1982) besarnya gaya tolak menolak partikel koloid dipengaruhi oleh muatan difusi ganda yang dikenal sebagai zeta potensial. Kekokohan koloid yang menentukan koagulasi dapat dilihat dari keadaan zeta potensial, yaitu dengan cara pengukuran muatan koloid dan akibatnya pada penambahan muatan. Zeta potensial dapat dihitung berdasarkan rumus berikut,

$$\zeta = \frac{4\pi qd}{D}$$

dimana, ζ = zeta potensial
 d = ketebalan lapisan yang mengelilingi partikel pada perbedaan muatan yang efektif
 q = muatan partikel
 D = konstanta dielektrik media



Gambar 2. Struktur lapisan ganda partikel koloid (Peavy, 1985)



Gambar 3. Resultan gaya yang bekerja pada partikel koloid (peavy, 1985)

Halaman ini adalah...
 1. Diambil sebagai...
 2. Berfungsi...
 3. Berfungsi...
 4. Berfungsi...
 5. Berfungsi...
 6. Berfungsi...
 7. Berfungsi...
 8. Berfungsi...
 9. Berfungsi...
 10. Berfungsi...

Struktur lapisan ganda listrik dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan resultan gaya yang bekerja pada partikel koloid dapat dilihat pada Gambar 3.

D. KOAGULASI DAN FLOKULASI

Koagulasi dan flokulasi menggunakan bahan-bahan kimia sering digunakan untuk mengendapkan padatan yang secara normal tidak dapat mengendap. Partikel koloid mempunyai muatan, penambahan koagulan akan menetralkan muatan tersebut. Partikel netral akan saling berikatan membentuk partikel besar atau flok. Hal ini disebut sebagai flokulasi. Partikel-partikel yang besar akan mengendap (Shuval, 1977)

Stumm dan O'melia *di dalam* Benefield et al. (1982) menyatakan bahwa untuk merangsang partikel koloid bergabung membentuk gumpalan yang lebih besar diperlukan dua cara yaitu partikel harus digoyahkan dan dipindahkan.

Penggoyahan partikel koloid akan terjadi apabila elektrolit yang ditambahkan dapat diserap oleh partikel koloid sehingga muatan partikel menjadi netral (Koenig, 1987).

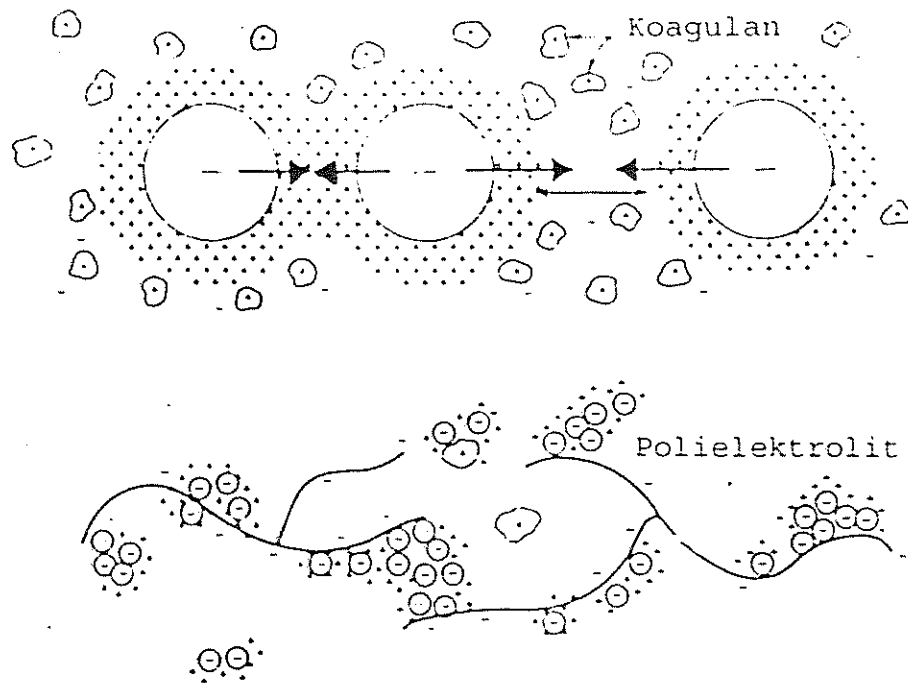
Ezward (1987) menyatakan bahwa perpindahan partikel dapat disebabkan oleh,

- (1) difusi Brown (flokulasi perikinetik)
- (2) gerakan cairan (flokulasi ortokinetik)
- (3) pengendapan bertahap dengan terjadinya benturan antara partikel yang mengendap dengan cepat dan partikel yang pengendapannya lambat.

Flokulasi terdiri atas dua mekanisme dasar, yaitu perikinetik dan ortokinetik. Pada flokulasi perikinetik terjadi gerak acak (gerak Brown) partikel yang disebabkan oleh benturan dengan molekul-molekul cairan. Proses tersebut sangat lambat, sehingga flokulasi perikinetik tidak berguna dalam proses penanganan air. Flokulasi ortokinetik disebabkan oleh adanya beda kecepatan dalam cairan, sehingga partikel bergerak dengan kecepatan berbeda dan mengakibatkan benturan. Partikel yang beradu akan menggumpal (Schroeder, 1977).

Zat padat tersuspensi seperti partikel koloid yang berukuran lebih kecil biasanya dalam air bermuatan negatif, sehingga antara partikel terjadi kekuatan tolak-menolak. Penggumpalan atau penetralan muatan memerlukan penambahan zat penggumpal, sehingga terbentuk gumpalan yang lebih besar (flok). Jika ukuran partikel cukup besar maka dapat diberi energi kinetik yang tinggi dengan cara pengadukan, sehingga partikel dapat menembus bagian penolakan listrik dan terjadi penggabungan. Mekanisme terjadinya gumpalan yaitu partikel yang bermuatan negatif terkumpul pada inti ion positif garam koagulan dan terjadi penggabungan (Bratasida, 1988).

Koagulasi dan flokulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti warna, pH, kekeruhan, kadar dan susunan mineral, suhu, kecepatan dan lama pengadukan serta sifat koagulan dan flokulan yang digunakan (Cohen dan Hannah, 1971). Koagulasi dan flokulasi dapat digambarkan pada Gambar 4.



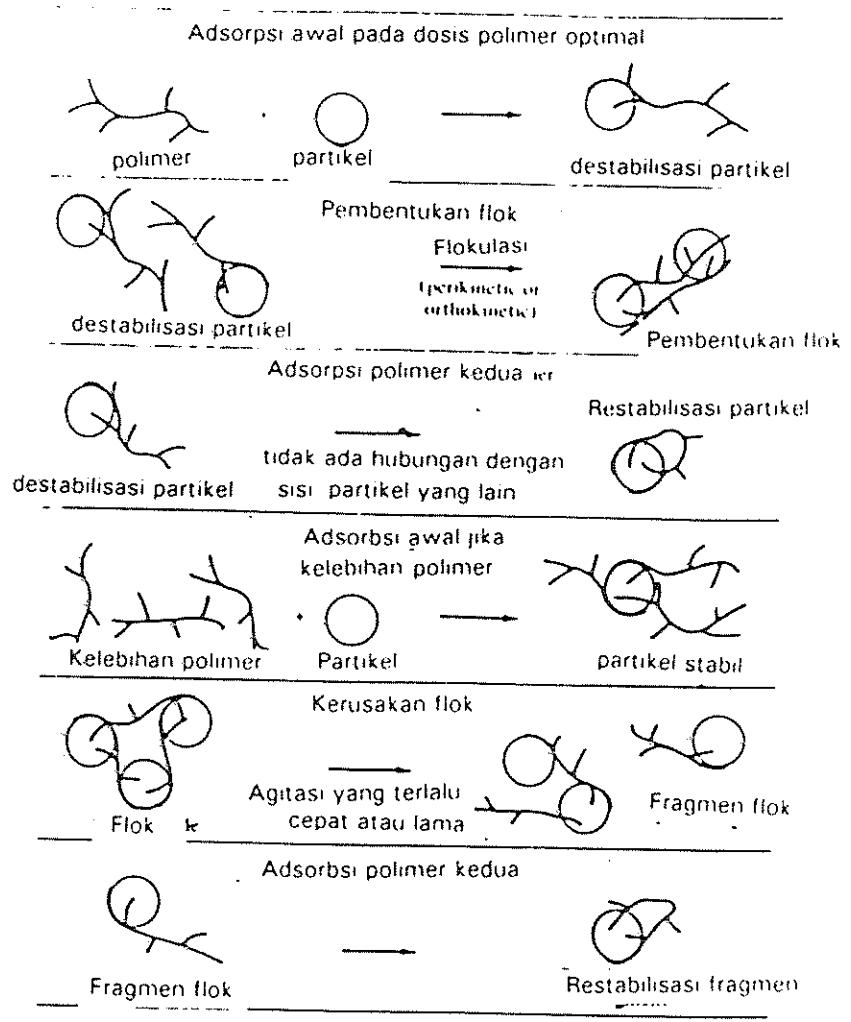
Gambar 4. Koagulasi dan Flokulasi
(Hammer, 1986)

Bagian yang penting dalam pengendapan secara kimiawi adalah kecepatan pengadukan untuk meningkatkan kemungkinan hubungan partikel (flokulasi) setelah penambahan bahan kimia (koagulan dan flokulan).

Peningkatan hubungan partikel akan meningkatkan pembentukan flok, tetapi jika pengadukan terlalu kuat, akan menghancurkan flok menjadi partikel yang lebih kecil (Tchobanoglous, 1981).

Salvato (1982) menyatakan bahwa pengaturan reaksi kimia untuk memperbaiki proses koagulasi, pertama-tama perlu ditambahkan

soda abu, hidrat lime, quick lime, atau asam sulfat. Pencampuran koagulan biasanya dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pencampuran cepat/kilat, dan tahap kedua adalah pencampuran lambat. Dengan perlakuan ini, terjadi pengurangan sekitar 80 persen terhadap turbiditas, warna dan bakteri.



Gambar 5. Skema reaksi antara partikel koloid dengan polielektrolit (Benefield et al., 1982)

Menurut Wanielista et al. (1984), apabila flok diasumsikan berbentuk bola (*sphere*), maka kecepatan pengendapan flok setelah proses flokulasi mengikuti hukum Stoke yaitu,

$$V_s = \frac{gd^2 (C_s - C_l)}{18 \mu}$$

dimana V_s = kecepatan pengendapan flok (cm/dt)
 d^s = diameter partikel (cm)
 g = konstanta gravitasi (cm/dt²)
 C_s = densitas partikel (g/cm³)
 C_l = densitas cairan (g/cm³)
 μ = viskositas cairan (g/cm.dt)

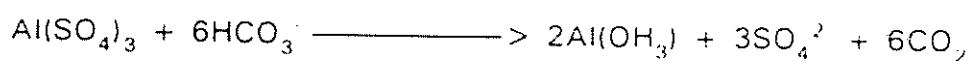
Rumus kecepatan pengendapan diatas berlaku dengan asumsi bahwa flok yang terbentuk mempunyai ukuran yang sama.

E. KOAGULAN DAN FLOKULAN

1. Koagulan

Menurut Shuval (1977), kapur, alum, garam besi, dan polimer organik sintetis (polielektrolit) adalah bahan kimia yang biasa digunakan dalam koagulasi.

Ion aluminium merupakan koagulan yang baik. Alum [Al₂(SO₄)₃], paling banyak digunakan dalam limbah cair. Alum bereaksi dengan bikarbonat dalam air dan terjadi hidrolisis. Reaksinya sebagai berikut.

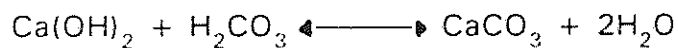


Flok gelatin aluminium hidroksida mengadsorpsi partikel koloid dan mengendapkannya (Shuval, 1977).

Bridgwater dan Mumford (1979) menambahkan bahwa bentuk kumpulan flok seperti bunga karang dengan permukaan luas, sehingga mampu mengadsorpsi bahan-bahan halus dari larutan. Oleh karena itu kumpulan flok tersebut juga membantu dalam penghilangan warna, kekeruhan, bahan-bahan organik dan bakteri dalam larutan.

Ferri klorida ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) merupakan koagulan utama dalam proses koagulasi limbah cair industri. Reaksi hidrolisis ferri klorida mirip dengan reaksi hidrolisis alum. Pemakaian ferri klorida terbatas untuk penanganan beberapa limbah cair industri. Ferri klorida dibuat dari reaksi klorinasi besi, tersedia dalam bentuk padatan atau cairan dan sangat korosif (Hammer, 1986).

Menurut MetCalf dan Eddy (1991), Koagulasi menggunakan kapur akan menghasilkan flok CaCO_3 yang akan mengendap oleh percepatan grafitasi. Apabila kapur digunakan sebagai koagulan, prinsip pengendapannya dapat dijelaskan berdasarkan reaksi berikut,



Jumlah kapur yang ditambahkan harus cukup untuk dapat dikombinasikan dengan seluruh asam karbonat bebas dan dengan asam karbonat dari bikarbonat untuk menghasilkan kalsium karbonat, yang bertindak sebagai koagulan. Apabila limbah cair industri

mengandung asam mineral atau garam asam maka perlu penetralan terlebih dahulu sebelum proses koagulasi menggunakan kapur dilakukan (MetCalf dan Eddy, 1991)

Kapur sering digunakan dalam presipitasi kimia untuk menghilangkan logam berat (Schwoyer, 1981; Fender et al., 1982). Penghilangan logam berat menggunakan presipitasi hidroksida akan menghasilkan kompleks $Zn(OH)_2$ yang merupakan senyawa amphoter (Fender et al., 1982).

2. Flokulan

Menurut Benefield et al. (1982) pada proses pemecahan kekakuan (destabilisasi) koloid dapat digunakan juga polimer sintetik (polielektrolit). Bila molekul polimer bersentuhan dengan partikel koloid, maka beberapa gugusnya akan terserap pada permukaan partikel dan sisanya tetap berada dalam larutan. Jika partikel kedua terikat pula pada bagian lain rantai polimer tersebut maka terjadi partikel kompleks, dengan polimernya berfungsi sebagai jembatan.

Polielektrolit dikelompokkan menjadi dua yaitu polielektrolit alam dan sintesis. Polielektrolit alam mencakup polimer biologis dan turunan pati, turunan selulosa dan alginat. Polielektrolit sintesis terdiri dari monomer sederhana yang terpolimerisasi menjadi senyawa berberat molekul tinggi (MetCalf dan Eddy, 1992).

Flokulan yang umum digunakan adalah polielektrolit (Peavy et al., 1985). Pada proses pengolahan air limbah, polielektrolit merupakan bahan pembantu koagulan atau disebut flokulan. Polielektrolit

adalah polimer yang terdiri dari monomer - monomer yang bermuatan listrik atau mengandung gugus yang dapat terionisasi (Setiadji dan Purwati, 1991).

Polielektrolit diklasifikasikan berdasarkan jenis muatan dalam rantai polimernya (Hammer, 1986) Berdasarkan sifat ioniknya, polielektrolit dapat dibedakan atas polielektrolit kationik, anionik, dan nonionik (Setiadji dan Purwati, 1991).

Polielektrolit adalah senyawa organik dengan berat molekul yang tinggi, berikatan atau tidak berikatan dengan gugus fungsional. Gugus ionik dapat bermuatan positif, negatif, atau netral. Polielektrolit anionik dibentuk dari kombinasi gugus nonionik dan gugus anionik, sedangkan polielektrolit kationik dibentuk dari kombinasi gugus nonionik dan gugus kationik (Eckenfelder, 1986).

Polielektrolit sebagai flokulan dapat meningkatkan laju dan tingkat flokulasi dengan cara menetralkan muatan, adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel. Gradien kecepatan dalam cairan akan mengakibatkan kontak antar partikel, dan karena pergerakan partikel akan terjadi saling benturan dan mengakibatkan penggabungan antar flok-flok halus menjadi flok-flok besar (Setiadji dan Purwati, 1991). Polielektrolit anionik dan nonionik sering digunakan bersama dengan koagulan logam untuk pembentukan jembatan antar partikel koloid membentuk flok yang semakin besar (Hammer, 1986)

Daya kerja polielektrolit dibagi menjadi tiga kategori. Kategori pertama adalah polielektrolit bertindak sebagai koagulan yang menetralkan muatan partikel, karena muatan partikel limbah cair umumnya



negatif maka polielektrolit kationik digunakan untuk keperluan ini. Kategori kedua adalah *interparticel bridging*, untuk kategori ini polielektrolit anionik dan nonionik digunakan. Kategori ketiga adalah *coagulation - bridging phenomenon*, dimana polielektrolit menetralkan muatan dan membentuk jembatan partikel (MetCalf dan Eddy, 1992).

F. MASALAH LOGAM BERAT Zn DALAM PROSES BIOLOGIS

Salah satu masalah utama dalam penanganan limbah cair secara biologis adalah keberadaan logam berat, karena toksisitasnya terhadap kehidupan biologis. Logam berat yang terdaftar sebagai pencemar utama adalah Perak, Arsen, Seng, Berilium, Cadmium, Chromium, Mercury, Copper, Nickel, Timbal, Antimoni, Selenium, dan Thallium (Aulendbach et al. *di dalam* Long, 1984).

Microorganisme yang merupakan jantung dari berbagai proses biologi sangat sensitif terhadap sejumlah senyawa organik maupun anorganik. Oleh karena itu proses fisika kimia sering dikombinasikan dengan proses biologis untuk menangani limbah cair yang mengandung bahan berbahaya dan beracun. Penanganan fisika-kimia yang sering digunakan untuk menghilangkan logam berat dari limbah cair adalah presipitasi kimia (Wanielista et al., 1984).

Menurut US EPA (1987), penanganan limbah cair secara biologis tidak cocok untuk menghilangkan logam berat, chlor organik, aliphatic, amines dan senyawa aromatik dalam konsentrasi tinggi. Logam berat bersifat mematikan terhadap mikroorganisme.

G. PENELITIAN TERDAHULU

Fender et al. (1982) telah meneliti tentang penanganan secara fisika-kimia untuk menghilangkan Zn terlarut dari limbah cair industri pengecoran dan pelapisan logam. Koagulan yang digunakan adalah kapur dan dikombinasikan dengan polielektrolit kationik dan nonionik. Efisiensi penurunan logam Zn terbaik adalah 99 persen yaitu dari 770 mg/l menjadi 5.5 mg/l pada pH 11. Hasil tersebut didapat dengan penambahan polielektrolit anionik.

Aulendbach et al. (1984) meneliti tentang penghilangan logam berat dalam limbah cair yang berasal dari kawasan industri di Pennsylvania. Koagulan yang digunakan adalah alum. Koagulasi menggunakan alum dapat menghilangkan Zn 46 persen.

III. BAHAN DAN METODA

A. BAHAN DAN ALAT

Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri rayon dari PT South Pacifik Viscosa di Purwakarta, yang merupakan campuran antara limbah cair dari proses *viskosa* dan *spinning*.

Bahan kimia pembantu proses koagulasi dan flokulasi terdiri dari koagulan dan flokulan. Koagulan yang digunakan yaitu aluminium sulfat, Besi (III) Klorida dan Kapur (Ca(OH)₂). Flokulan yang digunakan adalah Polielektrolit Sherefloc C-083, Sherefloc A-011, dan Sherefloc N-010S, serta bahan kimia yang digunakan untuk analisa.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas alat "jar test", dan tabung pengendapan (*tube settling*), serta alat - alat untuk analisa.

B. METODA PENELITIAN

1. Pengambilan Contoh

Contoh limbah cair diambil secara komposit, yaitu dengan beberapa kali pengambilan dalam selang waktu tertentu, dan dilakukan pada lokasi saluran pembuang akhir, dimana air limbah tersebut belum mengalami pengolahan. Pengambilan limbah dilakukan tiga kali yang mewakili contoh pagi, siang dan sore.

Hal-Cara Penelitian Unsur-unsur yang Diteliti sebagai bagian dari siklusnya dan terdapat dalam dan terdapat dalam...
4. Pengambilan contoh limbah cair...
5. Pengambilan contoh limbah cair...
6. Pengambilan contoh limbah cair...
7. Pengambilan contoh limbah cair...
8. Pengambilan contoh limbah cair...
9. Pengambilan contoh limbah cair...
10. Pengambilan contoh limbah cair...
11. Pengambilan contoh limbah cair...
12. Pengambilan contoh limbah cair...
13. Pengambilan contoh limbah cair...
14. Pengambilan contoh limbah cair...
15. Pengambilan contoh limbah cair...
16. Pengambilan contoh limbah cair...
17. Pengambilan contoh limbah cair...
18. Pengambilan contoh limbah cair...
19. Pengambilan contoh limbah cair...
20. Pengambilan contoh limbah cair...
21. Pengambilan contoh limbah cair...
22. Pengambilan contoh limbah cair...
23. Pengambilan contoh limbah cair...
24. Pengambilan contoh limbah cair...
25. Pengambilan contoh limbah cair...
26. Pengambilan contoh limbah cair...
27. Pengambilan contoh limbah cair...
28. Pengambilan contoh limbah cair...
29. Pengambilan contoh limbah cair...
30. Pengambilan contoh limbah cair...
31. Pengambilan contoh limbah cair...
32. Pengambilan contoh limbah cair...
33. Pengambilan contoh limbah cair...
34. Pengambilan contoh limbah cair...
35. Pengambilan contoh limbah cair...
36. Pengambilan contoh limbah cair...
37. Pengambilan contoh limbah cair...
38. Pengambilan contoh limbah cair...
39. Pengambilan contoh limbah cair...
40. Pengambilan contoh limbah cair...
41. Pengambilan contoh limbah cair...
42. Pengambilan contoh limbah cair...
43. Pengambilan contoh limbah cair...
44. Pengambilan contoh limbah cair...
45. Pengambilan contoh limbah cair...
46. Pengambilan contoh limbah cair...
47. Pengambilan contoh limbah cair...
48. Pengambilan contoh limbah cair...
49. Pengambilan contoh limbah cair...
50. Pengambilan contoh limbah cair...
51. Pengambilan contoh limbah cair...
52. Pengambilan contoh limbah cair...
53. Pengambilan contoh limbah cair...
54. Pengambilan contoh limbah cair...
55. Pengambilan contoh limbah cair...
56. Pengambilan contoh limbah cair...
57. Pengambilan contoh limbah cair...
58. Pengambilan contoh limbah cair...
59. Pengambilan contoh limbah cair...
60. Pengambilan contoh limbah cair...
61. Pengambilan contoh limbah cair...
62. Pengambilan contoh limbah cair...
63. Pengambilan contoh limbah cair...
64. Pengambilan contoh limbah cair...
65. Pengambilan contoh limbah cair...
66. Pengambilan contoh limbah cair...
67. Pengambilan contoh limbah cair...
68. Pengambilan contoh limbah cair...
69. Pengambilan contoh limbah cair...
70. Pengambilan contoh limbah cair...
71. Pengambilan contoh limbah cair...
72. Pengambilan contoh limbah cair...
73. Pengambilan contoh limbah cair...
74. Pengambilan contoh limbah cair...
75. Pengambilan contoh limbah cair...
76. Pengambilan contoh limbah cair...
77. Pengambilan contoh limbah cair...
78. Pengambilan contoh limbah cair...
79. Pengambilan contoh limbah cair...
80. Pengambilan contoh limbah cair...
81. Pengambilan contoh limbah cair...
82. Pengambilan contoh limbah cair...
83. Pengambilan contoh limbah cair...
84. Pengambilan contoh limbah cair...
85. Pengambilan contoh limbah cair...
86. Pengambilan contoh limbah cair...
87. Pengambilan contoh limbah cair...
88. Pengambilan contoh limbah cair...
89. Pengambilan contoh limbah cair...
90. Pengambilan contoh limbah cair...
91. Pengambilan contoh limbah cair...
92. Pengambilan contoh limbah cair...
93. Pengambilan contoh limbah cair...
94. Pengambilan contoh limbah cair...
95. Pengambilan contoh limbah cair...
96. Pengambilan contoh limbah cair...
97. Pengambilan contoh limbah cair...
98. Pengambilan contoh limbah cair...
99. Pengambilan contoh limbah cair...
100. Pengambilan contoh limbah cair...

2. Penentuan dosis koagulan

Penentuan koagulan ditentukan dengan metoda *jar test*. Alat *jar test* terdiri dari enam gelas piala. Setiap gelas diisi satu liter limbah cair yang pH nya diatur pada 7.0 dengan penambahan kapur. Selanjutnya limbah cair dalam gelas piala ditambah koagulan dan diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama satu menit. Pengadukan dilanjutkan dengan kecepatan 40 rpm selama 15 menit. Dosis koagulan alum yang dicobakan adalah 100, 200, 300, 400, 500, dan 600 ppm. Dosis kapur adalah 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 ppm. Dosis FeCl_3 adalah 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm. Penentuan dosis koagulan terpilih dilakukan berdasarkan persentase penurunan padatan tersuspensi dan kekeruhan, pH supernatan, akumulasi Fe dan Ca dalam supernatan, sesuai dengan koagulan yang digunakan.

Disamping itu dicoba juga kombinasi koagulan kapur dan alum. Dosis kapur yang dikombinasikan adalah 50, 100, dan 150 ppm. Alum yang ditambahkan adalah 200 dan 400 ppm. Kriteria penentuan kombinasi koagulan berdasarkan penurunan kadar Zn dan COD.

Dosis koagulan terpilih digunakan untuk dikombinasikan dengan flokulan, pada penentuan jenis dan dosis Polielektrolit.

3. Penentuan jenis dan dosis Polielektrolit

Pada penentuan jenis dan dosis Polielektrolit, dilakukan juga dengan alat *jar test* seperti pada penentuan dosis koagulan, dengan

menggunakan dosis koagulan terpilih yang telah diperoleh. Penambahan polielektrolit dilakukan pada awal pengadukan lambat 40 rpm selama 15 menit.

Flokulan yang digunakan adalah dari jenis polielektrolit kationik, anionik dan nonionik. Dosis polielektrolit yang digunakan adalah 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, dan 1.50 ppm. Analisa yang dilakukan meliputi kekeruhan, padatan total air olahan, pH, kecepatan pengendapan, volume lumpur, dan kadar padatan lumpur. Selanjutnya data diolah dengan uji jarak berganda Duncan untuk menentukan jenis dan dosis flokulan yang tepat.

Pengolahan data dilakukan terhadap kecepatan pengendapan, volume dan kadar padatan lumpur, serta persen penurunan dari setiap parameter supernatan (kecuali pH), yang dihitung menurut rumus,

$$\text{Persen penurunan} = \frac{B - A}{B} \times 100 \%$$

dengan A menyatakan hasil analisa limbah cair sesudah penanganan (ppm) dan B menyatakan hasil analisa limbah cair sebelum penanganan (ppm).

5. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan percobaan Acak Lengkap dan Faktorial. Untuk penentuan dosis koagulan alum, kapur dan FeCl_3 serta dosis polielektrolit digunakan rancangan acak lengkap. Penentuan dosis kombinasi

kapur-alum digunakan rancangan faktorial 4 x 3. Untuk masing-masing rancangan percobaan hanya dilakukan sekali ulangan, mengingat keterbatasan bahan-bahan kimia yang digunakan dalam analisa masing-masing parameter limbah cair.

Model umum rancangan faktorial adalah sebagai berikut.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

dengan A_i = Dosis alum ke i ($i = 1, 2, 3$)

μ = rata-rata yang sebenarnya

B_j = Dosis Kapur ke j ($j = 1, 2, 3, 4$)

AB_{ij} = interaksi dosis kapur ke i
dan dosis alum ke j

$\epsilon_{k(ij)}$ = galat (k replikasi untuk
semua i, j)

Model umum rancangan acak lengkap adalah sebagai berikut.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

dengan Y_{ij} = variabel yang akan dianalisa

μ = rata-rata umum

τ_i = pengaruh perlakuan ke i

ϵ_{ij} = galat unit eksperimen ke j

karena dikenai perlakuan ke i

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. KARAKTERISASI LIMBAH CAIR

Hasil karakterisasi limbah cair industri rayon yang telah dilakukan dapat dilihat dalam Tabel 2. Pengambilan sampel limbah cair dilakukan tiga kali dalam waktu satu hari yang mewakili contoh pagi siang dan sore. Pengambilan sampel dilakukan dengan asumsi bahwa karakteristik limbah dalam satu hari tidak berbeda dengan suatu hari yang lain. Parameter limbah cair yang diuji disesuaikan dengan bahan-bahan yang digunakan dalam proses spinning maupun viskosa.

Tabel 2. Karakteristik limbah cair industri rayon PT. South Pacifik Viscosa

Parameter	Satuan	Nilai
Padatan tersuspensi	mg/l	200 - 580
Padatan total	mg/l	6000 - 9800
pH	-	2.4 - 2.8
Zn	mg/l	26 - 36
Cl ⁻	mg/l	110 - 174
SO ₄	mg/l	360 - 560
BOD	mg O ₂ /l	380 - 980
COD	mg O ₂ /l	760 - 2220
Na	mg/l	1300 - 2337
Mg	mg/l	tak terdeteksi
Ca	mg/l	34 - 52
Kekeruhan	mg/l SiO ₂	60 - 72

Dari karakteristik diatas terlihat bahwa padatan tersuspensi cukup tinggi yaitu mencapai 580 mg/l sehingga penanganan secara koagulasi-flokulasi cukup efektif untuk dilaksanakan. Menurut Hammer (1986), proses koagulasi-flokulasi sangat efektif untuk menghilangkan padatan

tersuspensi dan kekeruhan. Parameter lain yang menjadi pertimbangan penanganan secara kimia adalah tingginya kandungan logam, khususnya Zn dan Na, serta pH limbah cair yang sangat rendah. Penanganan secara fisika-kimia lebih menguntungkan untuk limbah cair yang mempunyai pH ekstrim serta logam-logam berat (Mahida, 1993; Waniewista et al., 1984)

B. PENENTUAN JENIS DAN DOSIS KOAGULAN

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai karakteristik seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik limbah cair industri rayon PT. South Pacific Viscosa

Parameter	Satuan	Nilai
Padatan tersuspensi	mg/l	580
Padatan total	mg/l	9800
pH	-	2.4
Fe	mg/l	1
Zn	mg/l	26
Cl ⁻	mg/l	174
SO ₄	mg/l	560
BOD	mg O ₂ /l	980
COD	mg O ₂ /l	2220
Na	mg/l	2337
Mg	mg/l	tak terdeteksi
Ca	mg/l	34
Kekeruhan	mg/l SiO ₂	72

Pengaturan pH dilakukan dengan menambahkan kapur (Ca(OH)₂), sehingga pH naik menjadi 7.0 ± 0.1. Menurut Steel dan Mc Ghee (1985), pengaturan pH dilakukan agar koagulan yang digunakan dapat berdaya guna pada kisaran pH optimum.

Pengaturan pH koagulasi pada nilai 7.0 ± 0.1 didasarkan atas kisaran pH koagulasi dari koagulan yang dipakai. Kisaran pH optimum alum adalah 5.5 - 8 (Hammer, 1986), FeCl_3 adalah 4 sampai 12 (Reynolds, 1982), sedangkan kapur berdaya guna pada pH tinggi (Leentvaar et al., 1978). Kapur digunakan untuk menaikkan pH limbah cair, disamping itu kapur dapat menambah kesadahan limbah cair, sehingga proses koagulasi dapat berjalan dengan baik. Menurut MetCalf dan Eddy (1991), apabila kesadahan yang tersedia dalam limbah cair tidak cukup untuk bereaksi dengan koagulan, maka perlu ditambahkan kapur.

Penelitian ini dilakukan menggunakan alat jar test yang mempunyai enam buah jar dan pengaduk. Setelah pengaturan pH dan penambahan koagulan (dalam bentuk larutan), dilakukan pengadukan cepat 100 rpm selama satu menit. Pengadukan cepat diperlukan untuk menyebarkan koagulan dan untuk meningkatkan peluang terjadinya tubrukan antara koagulan dan partikel tersuspensi (Reynolds, 1982). Selanjutnya dilakukan pengadukan lambat 40 rpm selama 15 menit untuk membantu pembentukan flok (Peavy, 1986).

1. Koagulasi Alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$)

Hasil yang diperoleh dari koagulasi menggunakan alum disajikan dalam Tabel 4. Pemakaian alum sebagai koagulan dapat menurunkan padatan tersuspensi mulai dari 76 sampai 89 persen.

Tabel 4. Hasil koagulasi menggunakan Alum

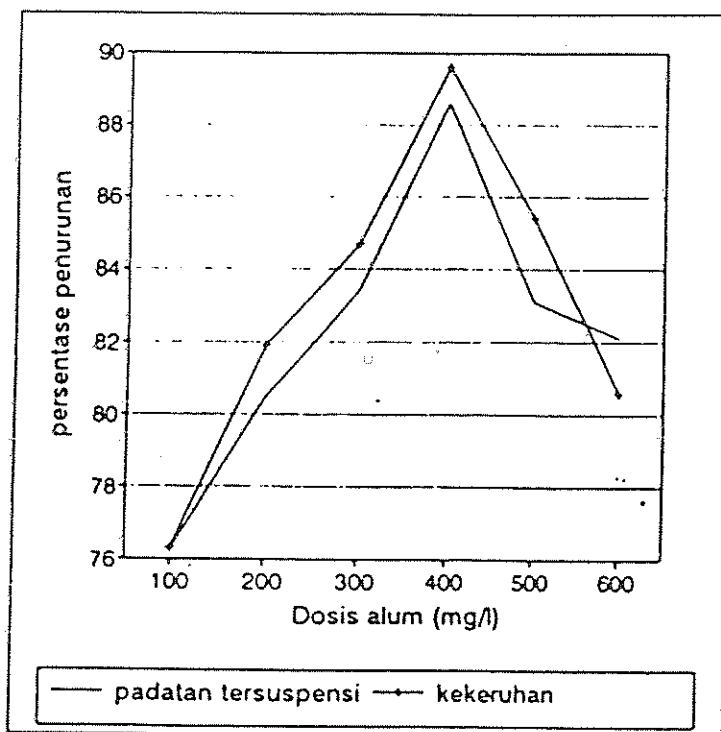
Dosis (ppm)	pH akhir	Nilai (mg/l)		Persentase penurunan		
		Padatan tersuspensi	Kekeruhan	Padatan tersuspensi	keke- ruhan	COD
100	6.5	137	17	76	76	59
200	6.1	108	13	81	82	
300	5.2	94	11	83	85	
400	4.4	66	8	89	90	61
500	4.2	98	11	83	85	
600	4.1	102	14	82	85	60

Berdasarkan analisa sidik ragam penurunan padatan tersuspensi, terlihat bahwa variasi dosis alum yang ditambahkan sangat berpengaruh terhadap penurunan padatan tersuspensi. Dari Gambar 6 terlihat bahwa sampai dosis 400 ppm, semakin besar dosis alum yang ditambahkan maka semakin besar penurunan padatan tersuspensi.

Penurunan padatan tersuspensi terbesar dicapai pada dosis alum 400 ppm yaitu 89 persen. Penurunan padatan tersuspensi semakin berkurang dengan penambahan dosis alum 500 dan 600 ppm. Hal ini diduga telah terjadi kelebihan dosis alum. Menurut Hammer (1986) apabila terjadi kelebihan dosis alum maka partikel koloid akan stabil kembali (restabilization).

Berdasarkan uji Duncan, terdapat perbedaan yang sangat nyata dalam penurunan padatan tersuspensi antara penambahan alum dosis 100, 200, 300 dan 400 ppm, hal ini berarti bahwa penambahan dosis alum sampai 400 ppm sangat mempengaruhi penurunan padatan tersuspensi.

Variasi dosis alum yang ditambahkan dapat menurunkan kekeruhan dari 76 sampai 90 persen. Dari grafik kekeruhan (Gambar 4) terlihat bahwa penurunan kekeruhan yang terbesar adalah pada penambahan alum dosis 400 ppm. Persentase penurunan kekeruhan akan meningkat dengan penambahan dosis alum sampai 400 ppm, sedangkan penambahan dosis alum setelah 400 ppm ternyata mengurangi penurunan kekeruhan. Menurut Hammer (1986), kekeruhan air disebabkan oleh adanya zat tersuspensi (bahan koloidal). Pengurangan tingkat kekeruhan tersebut disebabkan karena padatan tersuspensi dalam air limbah membentuk flok yang kemudian mengendap.



Gambar 6. Penurunan kekeruhan dan padatan tersuspensi oleh koagulasi alum

Untuk melihat kecenderungan penurunan bahan organik, maka diukur COD dari tiga sampel seperti terlihat dalam Tabel 4. Penurunan COD dari ketiga dosis alum yang dianalisa menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata.

Berdasarkan hasil diatas dapat diketahui bahwa dosis alum terpilih adalah 400 ppm. Akan tetapi penambahan alum dosis 400 ppm mengakibatkan pH air olahan turun sampai 4.4. Hal tersebut karena dilepaskannya proton (H^+) pada reaksi hidrolisis alum (Peavy, 1986), sehingga perlu penetralan terhadap efluent apabila alum dosis 400 ppm dipilih.

2. Koagulasi Kapur ($Ca(OH)_2$)

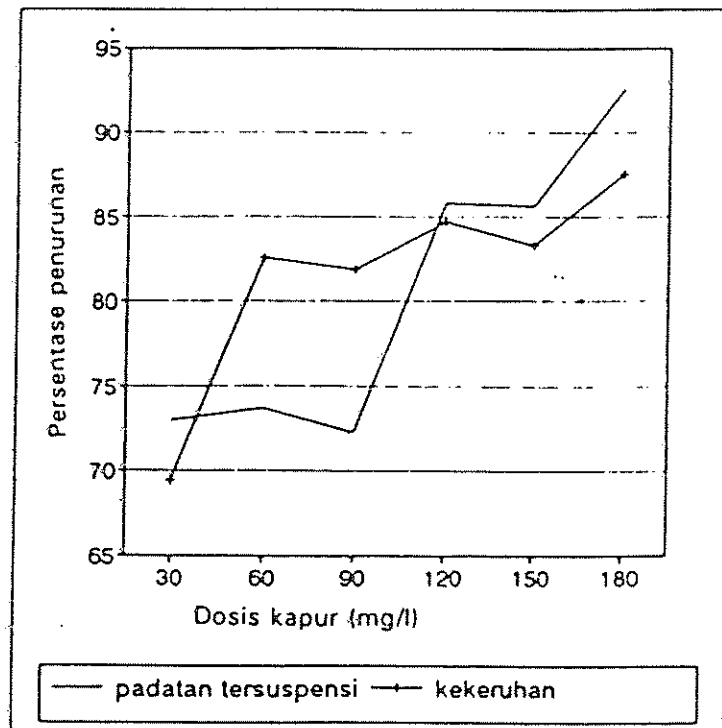
Hasil koagulasi menggunakan kapur (Hydrate lime) disajikan dalam Tabel 5, sedangkan grafik hubungan dosis kapur dengan penurunan padatan tersuspensi dan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 5. Hasil koagulasi menggunakan kapur

Dosis (ppm)	pH akhir	Nilai (mg/l)		Persentase penurunan		
		Padatan tersuspensi	Kekeruhan	Padatan tersuspensi	Keke- ruhan	COD
30	8.4	157	22	73	69	81
60	10.1	153	13	74	83	81
90	10.4	161	13	72	82	81
120	11.0	82	11	86	85	82
150	11.1	84	12	86	83	82
180	11.4	43	9	93	88	82

Dari grafik penurunan padatan tersuspensi terlihat bahwa persentase penurunan padatan tersuspensi meningkat dengan semakin besarnya dosis kapur yang ditambahkan.

Variasi dosis kapur sangat mempengaruhi penurunan padatan tersuspensi, seperti terlihat dalam Lampiran 2E. Penambahan kapur 30 ppm menghasilkan penurunan padatan tersuspensi sebesar 73 persen dan terus meningkat mencapai 93 persen pada penambahan kapur 180 ppm.



Gambar 7. Penurunan kekeruhan dan padatan tersuspensi oleh koagulasi kapur

Penurunan kekeruhan juga meningkat dengan semakin besarnya dosis kapur. Peningkatan persentase penurunan kekeruhan



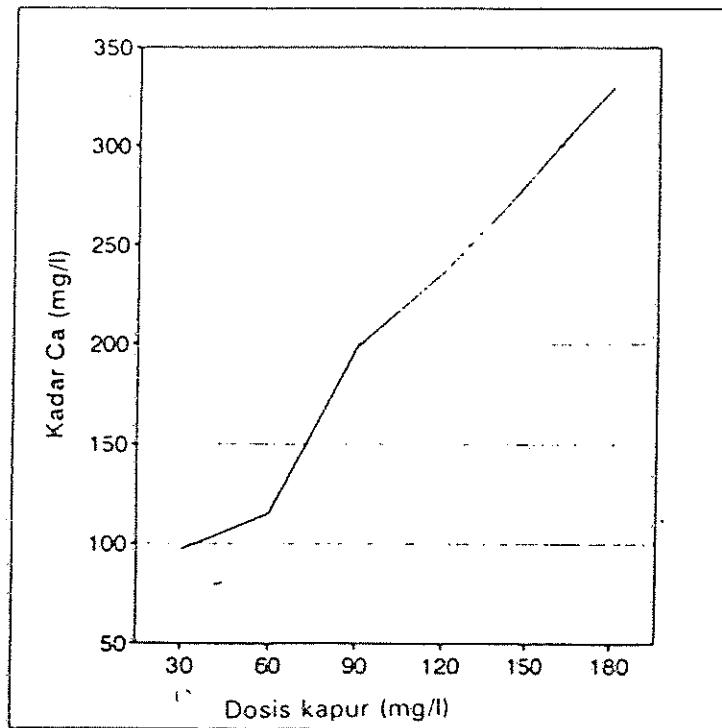
adalah sebanding dengan persentase penurunan padatan tersuspensi, akan tetapi dari Gambar 7 terlihat bahwa penurunan padatan tersuspensi dan kekeruhan berpotongan pada dosis kapur 120 ppm. Hal tersebut diduga karena timbulnya warna yang mengganggu analisa mulai penambahan kapur 120 ppm, sehingga pada dosis kapur 120 ppm peningkatan penurunan kekeruhan lebih rendah dibandingkan penurunan padatan tersuspensinya. Penurunan kekeruhan terkecil adalah 69 persen pada dosis kapur 30 ppm dan yang terbesar adalah 88 persen pada dosis kapur 180 ppm. Berdasarkan uji Duncan (Lampiran 2H), terdapat perbedaan yang sangat nyata terhadap penurunan kekeruhan dari penambahan kapur 30 ppm menjadi 60 ppm. Penambahan kapur diatas 60 ppm mengakibatkan penurunan kekeruhan yang tidak berbeda nyata.

Menurut Leentvaar et al. (1978), dosis kapur yang diperlukan dalam proses koagulasi dipengaruhi oleh kesadahan/ alkalinitas limbah cair untuk membentuk kompleks CaCO_3 .

Ion Ca^{2+} dari kapur tidak semuanya membentuk flok CaCO_3 . Sebagian ion Ca^{2+} akan terlarut dalam air olahan yang mengakibatkan bertambahnya kesadahan air olahan. Gambar 8 merupakan plot antara dosis kapur yang ditambahkan dengan kadar Ca^{2+} air olahan. Menurut Peavy et al.(1986), air sadah adalah air yang mengandung lebih dari 150 ppm CaCO_3 . Berdasarkan klasifikasi kesadahan air tersebut, maka penambahan kapur sampai 75 ppm masih dapat dilakukan.



Hasil analisa penurunan kandungan bahan organik (COD) dalam Tabel 5 menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat dengan semakin bertambahnya dosis kapur. Menurut Leentvaar



Gambar 8. Akumulasi Ca di dalam air olahan akibat penambahan kapur

(1978), koagulasi kapur menghasilkan efisiensi removal bahan organik yang semakin tinggi dengan naiknya pH. Dari Tabel 5 terlihat bahwa penurunan COD adalah dari 56 sampai 58 persen, sedangkan pH naik sampai 11.4.

Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa dosis 60 ppm dapat dipertimbangkan sebagai dosis kapur terpilih.

3. Koagulasi Besi(III)Klorida (FeCl_3)

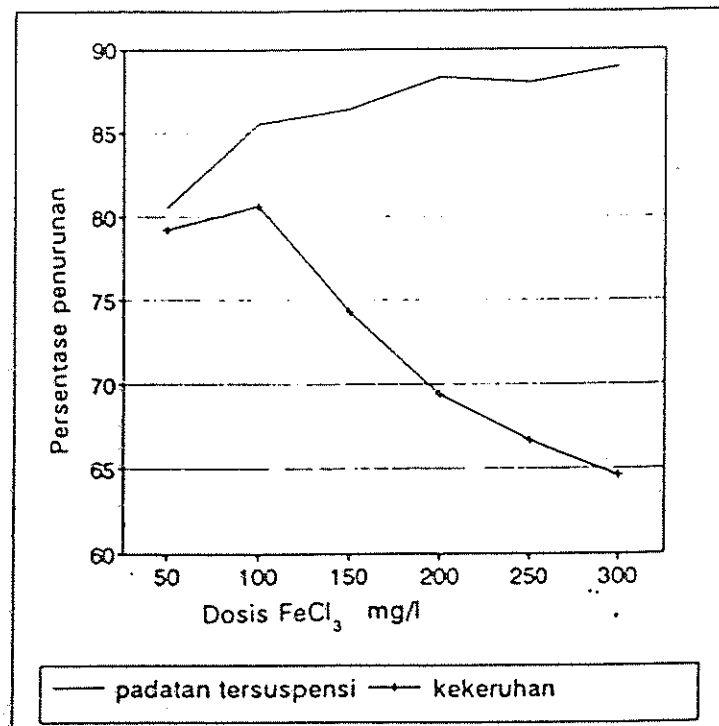
Hasil yang diperoleh dari koagulasi menggunakan FeCl_3 disajikan dalam Tabel 6. Koagulasi menggunakan FeCl_3 dapat menurunkan padatan tersuspensi dari 81 persen sampai 90 persen. Gambar 9 merupakan grafik hubungan antara dosis FeCl_3 dengan penurunan padatan tersuspensi dan kekeruhan.

Dari Gambar 9 terlihat dengan semakin besarnya dosis FeCl_3 yang ditambahkan, persentase penurunan padatan tersuspensi cenderung meningkat. Berdasarkan analisa sidik ragam penurunan padatan tersuspensi (Lampiran 2I), variasi dosis FeCl_3 sangat mempengaruhi penurunan padatan tersuspensi. Penambahan FeCl_3 dari 50 ppm menjadi 100 ppm sangat mempengaruhi penurunan

Tabel 6. Koagulasi menggunakan FeCl_3

Dosis (ppm)	pH akhir	Nilai (mg/l)		Persentase penurunan		
		Padatan tersuspensi	Kekeruhan	Padatan tersuspensi	Keke- ruhan	COD
50	6.4	113	15	81	79	58
100	6.2	84	14	86	81	
150	6.1	79	19	86	74	
200	5.5	62	22	88	69	56
250	4.7	70	24	88	67	
300	4.4	65	26	89	65	57

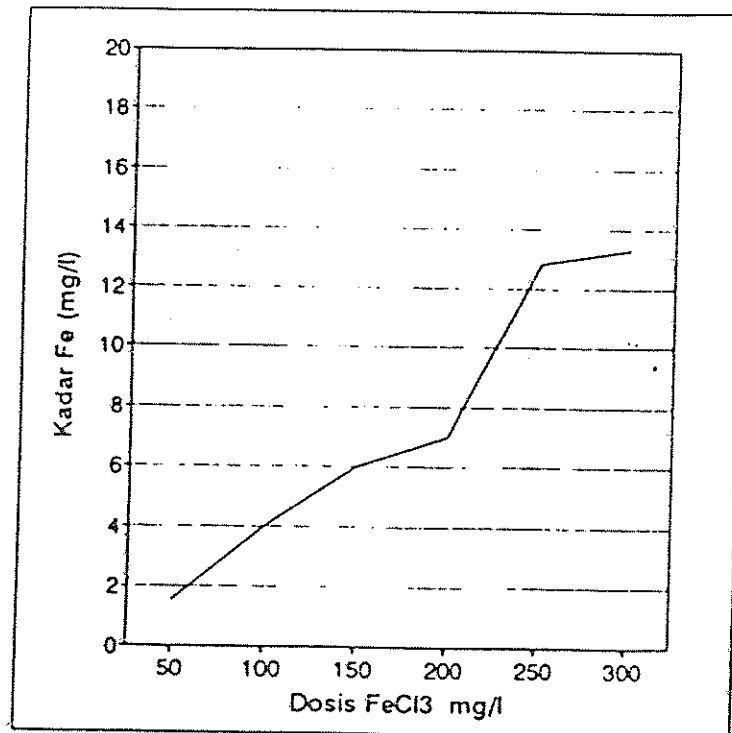
padatan tersuspensi, sedangkan penambahan lebih dari 100 ppm tidak mengakibatkan penurunan padatan tersuspensi secara nyata. Hal tersebut dapat dilihat dari uji Duncan padatan tersuspensi (Lampiran 2J).



Gambar 9. Penurunan kekeruhan dan padatan tersuspensi oleh koagulasi FeCl_3

Berlawanan dengan padatan tersuspensi, persentase penurunan kekeruhan cenderung menurun dengan bertambahnya dosis FeCl_3 , seperti terlihat pada Gambar 9. Penurunan kekeruhan yang semakin kecil ini disebabkan oleh Fe^{3+} dari koagulan yang terlarut dalam air olahan. Adanya Fe^{3+} yang terlarut dalam air olahan menyebabkan timbulnya warna merah. Koagulan FeCl_3 dapat menimbulkan masalah, terutama timbulnya warna dan sifat korosif apabila proses koagulasi tidak berlangsung dengan baik (Reynolds, 1982; Peavy et

al., 1986). Gambar 10 merupakan plot antara dosis FeCl_3 dengan kadar besi air olahan.



Gambar 10. Akumulasi Fe di dalam air olahan akibat penambahan FeCl_3

Dari Gambar 10 terlihat bahwa pada dosis FeCl_3 50 ppm, kadar besi air olahan mencapai 1.5 ppm. Nilai tersebut sudah melampaui batas maksimum kadar besi yang ditetapkan oleh Menteri KLH tahun 1991 (Lampiran 5). Kadar besi dapat mencapai 13.3 ppm pada dosis FeCl_3 300 ppm.

Seperti halnya alum, koagulasi menggunakan FeCl_3 mengakibatkan pH air olahan turun sampai 4.4. Penurunan pH ini disebabkan oleh terlepasnya proton (H^+) hasil dari hidrolisis FeCl_3 (MetCalf dan Eddy, 1992).

Persentase penurunan bahan organik cenderung semakin kecil, hal ini diduga karena Fe^{3+} dalam air olahan termasuk bahan yang dapat terdeteksi dalam analisa COD, sehingga nilai COD cenderung naik.

Dengan pertimbangan parameter-parameter diatas, dapat disimpulkan bahwa pemakaian FeCl_3 sebagai koagulan dalam koagulasi limbah cair industri rayon kurang layak.

4. Koagulasi Kapur-Alum

Menurut Peavy et al.(1986), penghilangan logam berat dalam limbah cair, khususnya Zn (Seng), dapat terjadi apabila ion hidroksil (OH^-) cukup tersedia. Ion hidroksil dalam limbah cair akan bereaksi dengan seng membentuk kompleks $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Komplek $\text{Zn}(\text{OH})_2$ merupakan senyawa yang tak larut, dan akan terendapkan oleh proses koagulasi-flokulasi. Dengan pertimbangan tersebut, kapur merupakan koagulan yang tepat untuk digunakan karena sifat dasarnya. Oleh karena itu, kapur digunakan sebagai koagulan utama (primary coagulant) dalam penelitian ini.

Dari penelitian koagulasi kapur terlihat bahwa penambahan kapur mengakibatkan kenaikan pH yang sangat cepat. Penambahan alum sebagai pembantu koagulan kapur (coagulant aid) diharap-



kan dapat memperbaiki pH, disamping dapat menurunkan kandungan bahan organik limbah cair. Dari penelitian koagulasi alum terlihat bahwa koagulasi menggunakan alum dapat menurunkan COD sampai 60 persen. Penurunan COD oleh koagulan alum lebih tinggi dibandingkan kapur dan FeCl_3 , akan tetapi diikuti turunnya pH dengan cepat.

Menurut Leentvaar et al. (1978), untuk memperbaiki hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur, khususnya bahan organik, maka perlu penambahan pembantu koagulan seperti alum, FeCl_3 , atau polymer organik. Penambahan sejumlah koagulan anorganik disamping kapur dapat memperbaiki kualitas air olahan.

Dalam penelitian ini digunakan alum sebagai pembantu koagulan dengan dosis 200 ppm dan 400 ppm. Dosis kapur yang digunakan adalah 50, 100 dan 150 ppm. Disamping itu diteliti juga penggunaan kapur tanpa alum sebagai pembanding. Hasil penelitian ini disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil koagulasi menggunakan kapur dengan/ tanpa pembantu koagulan

Dosis kapur (ppm)	Dosis alum (ppm)	Persentase penurunan				pH
		Kekeruhan	COD	Zn	Na	
50	-	82	57	91	27	9.7
100	-	85	58	91	11	10.5
150	-	87	59	91	11	11.2
50	200	84	60	17	15	6.7
100	200	90	60	49	6	7.7
150	200	84	59	16	10	8.0
50	400	94	62	25	11	6.2
100	400	91	61	19	10	6.6
150	400	90	60	21	3	8.5

Kombinasi kapur-alum dapat menurunkan COD antara 57 sampai 61 persen, akan tetapi penurunan ini tidak berbeda nyata. Hal ini berarti tidak ada perbedaan diantara kombinasi kapur-alum dalam menurunkan COD. Variasi dosis kapur juga tidak mempengaruhi penurunan COD.

Penambahan alum sebagai pembantu koagulan mempengaruhi penurunan COD. Penambahan alum 400 ppm mempunyai pengaruh yang paling baik, dengan rata-rata penurunan COD sebesar 61 persen.

Dari Tabel 7 terlihat bahwa dengan bertambahnya dosis kapur, pemakaian alum menyebabkan penurunan COD maupun kekeruhan cenderung semakin kecil. Hal tersebut diduga karena alkalinitas kapur yang berlebih merusak flok yang telah terbentuk. Menurut Hammer (1986) apabila alkalinitas larutan tinggi, maka hidrolisis alum akan menghasilkan senyawa kompleks seperti $Al(OH)_4^-$ dan $Al(OH)_5^{2-}$. Selanjutnya Wanielista et al.(1984) menjelaskan bahwa adanya senyawa kompleks seperti $Al(OH)_4^-$ dalam pH tinggi dapat menghambat terjadinya koagulasi.

Berdasarkan analisa sidik ragam dan uji Duncan penurunan kekeruhan, penambahan alum dari 200 ppm menjadi 400 ppm sangat mempengaruhi persentase penurunan kekeruhan. Pada penambahan alum 400 ppm dihasilkan persentase penurunan kekeruhan rata-rata 92 persen.

Interaksi kapur-alum mempengaruhi penurunan kekeruhan. Penurunan kekeruhan terbesar adalah 94 persen diperoleh pada



kombinasi alum 400 ppm dengan kapur 50 ppm. Hal ini karena alkalinitas yang dihasilkan pada penambahan kapur 50 ppm cukup untuk bereaksi dengan alum dosis 400 ppm untuk membentuk flok. Partikel penyebab kekeruhan yang telah membentuk flok akan mengendap sehingga terjadi penurunan kekeruhan.

Pemakaian kapur tanpa alum menghasilkan penurunan logam seng (Zn) yang jauh lebih tinggi dibandingkan kombinasi kapur-alum. Penurunan kadar seng tertinggi adalah 91 persen yang diperoleh pada penambahan kapur 50, 100, dan 150 ppm.

Pemakaian alum sebagai pembantu koagulan kapur menghasilkan penurunan kadar seng tertinggi 49 persen, yaitu pada penambahan alum 200 ppm dan kapur 100 ppm. Rendahnya penurunan kadar seng tersebut disebabkan karena kurangnya ion hidroksil dalam larutan, karena ion hidroksil lebih banyak dikonsumsi oleh alum, sehingga pembentukan $Zn(OH)_2$ terhambat. Menurut Eckenfelder (1986), alkalinitas dibutuhkan dalam proses koagulasi untuk menghidrolisis partikel koagulan. Ion hidroksil dalam larutan akan dikonsumsi oleh koagulan untuk pembentukan flok.

Penurunan kadar Na tidak dapat terjadi dengan baik oleh proses koagulasi kapur maupun kombinasi kapur-alum. Hal tersebut diduga karena pada pH tinggi, Na bereaksi dengan senyawa yang lain dalam limbah cair membentuk senyawa yang terlarut, sehingga tidak akan terendapkan oleh percepatan grafitasi. Penurunan kadar Na tertinggi diperoleh pada penambahan kapur 50 ppm tanpa alum, yaitu 27 persen.

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas, maka kapur dosis 50 ppm dipilih sebagai koagulan yang akan dikombinasikan dengan polielektrolit kationik , anionik dan nonionik.

C. PENENTUAN JENIS DAN DOSIS POLIELEKTROLIT

Pada penelitian sebelumnya telah diperoleh hasil bahwa koagulan yang terpilih adalah kapur dengan dosis 50 ppm. Kapur dengan dosis 50 ppm akan dikombinasikan dengan polielektrolit kationik, anionik dan nonionik. Menurut Clark et al.(1977), penentuan jenis polielektrolit (PE) yang akan dikombinasikan dengan kapur adalah berdasarkan kemampuan polielektrolit untuk membentuk flok yang lebih besar dan kecepatan pengendapan yang lebih cepat. Hal tersebut ditinjau berdasarkan fungsi penambahan polielektrolit adalah untuk membantu koagulan dalam membentuk flok dan memperbesar ukuran flok serta mempercepat proses pengendapan.

Dosis masing-masing polielektrolit yang digunakan meliputi enam variasi mulai dari 0.25 sampai 1.5 ppm. Menurut Hammer (1986), dosis polielektrolit yang digunakan secara umum berkisar diantara 0.1 sampai 1 ppm. Parameter yang diamati adalah kekeruhan, padatan total, kecepatan pengendapan, dan sifat lumpur yang terbentuk.

1. Polielektrolit Anionik

Hasil yang diperoleh dari pemakaian PE anionik dapat dilihat dalam Tabel 8. Dari Tabel 8 terlihat bahwa pemakaian PE anionik pada proses flokulasi dapat meningkatkan penurunan padatan total

dari 24 persen menjadi 28 sampai 33 persen. Penurunan kekeruhan juga meningkat dari 82 persen menjadi 85 sampai 90 persen.

Tabel 8. Hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE anionik

Dosis PE (ppm)	Persentase penurunan		V m/jam	Vol. (%)	PL (%)
	PT	K			
0	24	82	0.9	9.8	1.00
0.25	28	85	2.18	9.1	1.03
0.50	33	90	2.80	8.7	1.09
0.75	32	90	2.75	8.8	1.06
1.00	30	90	2.65	8.9	1.08
1.25	30	90	2.85	9.6	1.06
1.50	33	90	2.65	9.5	1.06

Keterangan : PT = padatan total air olahan
 K = kekeruhan
 V = kecepatan pengendapan
 Vol = volume lumpur
 PL = kadar padatan lumpur

Pemakaian PE anionik dapat memperbaiki efisiensi proses koagulasi. Hal tersebut disebabkan karena terjadinya jembatan antar partikel (*interparticel bridging*) oleh PE anionik yang ditambahkan. Menurut MetCalf dan Eddy (1991) apabila PE anionik digunakan, maka sisi aktif dari polimernya mengadsorbsi partikel atau flok-flok kecil menjadi flok yang lebih besar. Pembentukan flok terus berkembang sampai flok-flok tersebut mudah diendapkan. Oleh karena partikel-partikel pembentuk flok tersebut mengendap, maka penurunan kekeruhan dan padatan total menjadi lebih tinggi.

Pemakaian PE anionik dapat memperbaiki kecepatan pengendapan dari 0.9 m/jam menjadi 2.18 sampai 2.85 m/jam. Kecepatan

pengendapan terbesar diperoleh pada penambahan PE anionik dosis 1.25 ppm yaitu 2.85 m/jam, akan tetapi nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan penambahan PE anionik dosis 0.5 ppm. Menurut Setiadji dan Purwati (1991), kecepatan pengendapan sangat menentukan dimensi bak sedimentasi.

Pemakaian PE sebagai pembantu koagulan kapur mempunyai pengaruh yang tidak nyata dalam menurunkan kandungan bahan organik. PE mempunyai efek terhadap volume lumpur kimia-organik yang dihasilkan (Leentvaar, 1978). Pada pengolahan limbah cair akan terbentuk lumpur yang besarnya tergantung dari banyaknya zat padat tersuspensi yang diendapkan. Pemakaian PE ternyata dapat memperkecil volume lumpur yang terbentuk (Setiadji dan Purwati, 1991)

Dari Tabel 7 terlihat bahwa penambahan PE anionik mengakibatkan penurunan volume lumpur dari 9.8 persen menjadi 9.6 sampai 8.7 persen. Penurunan volume lumpur ini diikuti dengan peningkatan kadar padatan lumpur dari 1.0 persen menjadi 1.03 sampai 1.09 persen. PE anionik dosis 0.5 ppm menghasilkan volume lumpur yang paling kecil yaitu 8.7 persen dan kadar padatan lumpur yang terbesar yaitu 1.09 persen.

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas, terlihat bahwa penambahan PE anionik 0.5 ppm memberikan hasil yang paling baik diantara variasi dosis yang lain.



2. Polielektrolit Kationik

Tabel 8 menyajikan hasil yang diperoleh dari koagulasi kapur menggunakan PE kationik. Seperti halnya PE anionik, penambahan PE kationik juga dapat meningkatkan penurunan kekeruhan dan padatan total. Persentase penurunan padatan total meningkat dari 25 menjadi 26 sampai 28 persen. Persentase penurunan kekeruhan meningkat dari 83 persen menjadi 84 sampai 90 persen.

Peningkatan persentase penurunan kekeruhan dan padatan total tersebut relatif lebih rendah dibandingkan dengan pemakaian PE anionik. Hal tersebut diduga karena limbah cair yang diolah mempunyai muatan bersih (net charge) positif akibat penambahan kapur dalam penetralan, sehingga sisi aktif yang bermuatan positif dari PE kationik tidak dapat mengadsorpsi partikel koloid. Menurut Schwoyer (1981), partikel koloid di alam biasanya bermuatan negatif, akan tetapi muatan bersih partikel ditentukan oleh tipe dan jumlah ion yang terlarut. Adanya kation terlarut dalam jumlah besar, seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , menyebabkan muatan bersih partikel menjadi positif.

Berdasarkan analisa sidik ragam dalam Lampiran 3I dan 3J terlihat bahwa variasi dosis PE kationik tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan padatan total dan kecepatan pengendapan. Hal tersebut berarti bahwa penambahan dosis PE kationik dari 0.25 sampai 1.5 ppm menghasilkan penurunan padatan total dan kecepatan pengendapan relatif sama.

Tabel 9. Hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE kationik

Dosis PE (ppm)	Persentase penurunan		V m/jam	Vol. (%)	PL (%)
	PT	K			
-	25	82.8	0.83	10.0	1.01
0.25	27	84	1.10	10.3	1.03
0.50	26	85	1.35	9.9	1.05
0.75	28	90	1.45	9.4	1.04
1.00	28	89	1.35	9.8	1.01
1.25	27	90	1.40	9.5	1.04
1.50	27	85	1.35	9.9	1.02

Keterangan : PT = padatan total air olahan
 K = kekeruhan
 V = kecepatan pengendapan
 Vol = volume lumpur
 PL = kadar padatan lumpur

Variasi dosis PE kationik yang ditambahkan memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan kekeruhan. Uji Duncan (Lampiran 3H) menunjukkan bahwa PE kationik dosis 0.75 menghasilkan persentase penurunan kekeruhan yang paling besar dan tidak berbeda nyata dengan dosis yang lebih besar.

Dari Tabel 9 terlihat bahwa penambahan PE anionik dapat menurunkan volume lumpur. Penurunan volume lumpur terjadi dari 10 persen menjadi 9.9 sampai 9.4 persen. Penurunan volume lumpur diikuti juga dengan peningkatan kadar padatan lumpur. Kadar padatan lumpur meningkat dari 1.01 persen menjadi 1.02 sampai 1.08 persen.

Penambahan PE kationik sebesar 0.25 ppm menghasilkan volume lumpur yang lebih besar, sementara peningkatan kadar padatan lumpur relatif kecil. Hal ini berarti lumpur yang terbentuk

menjadi kamba. Volume lumpur yang kamba tidak diharapkan karena dapat menyulitkan proses penanganan lumpur. Menurut Eckenfelder (1986), pemakaian flokulan pada penanganan limbah cair industri dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi koagulan dalam proses sedimentasi dengan membentuk flok-flok yang besar akibat *bridge forming*. Keuntungan pemakaian flokulan adalah menurunkan volume lumpur yang dihasilkan dari proses koagulasi dan mengubah karakteristik lumpur tersebut sehingga proses *dewatering* lebih mudah dilakukan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh di atas maka penambahan PE kationik 0.75 ppm merupakan hasil terbaik dari jenis PE ini.

3. Polielektrolit Nonionik

Hasil yang diperoleh dari pemakaian PE nonionik dapat dilihat dalam Tabel 10. Seperti halnya PE anionik dan kationik, pemakaian PE nonionik juga dapat meningkatkan kecepatan pengendapan, penurunan padatan total dan kekeruhan. Penurunan padatan total meningkat dari 25 persen menjadi 25 sampai 29 persen. Penurunan kekeruhan meningkat dari 82 persen menjadi 83 sampai 90 persen.

Penurunan padatan total, penurunan kekeruhan dan kecepatan pengendapan mempunyai kecenderungan yang sama yaitu meningkat dengan semakin besarnya dosis PE nonionik. Akan tetapi pengaruh variasi dosis PE nonionik terhadap penurunan parameter-parameter tersebut tidak berbeda nyata (Lampiran 3K).

Tabel 10. Hasil koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE nonionik

Dosis PE (ppm)	Persentase penurunan		V m/jam	Vol. (%)	PL (%)
	PT	K			
0	25	82	0.9	10.5	1.02
0.25	25	83	1.5	10.0	1.03
0.50	28	85	1.6	9.3	1.05
0.75	27	87	1.7	9.6	1.04
1.00	28	86	1.7	9.6	1.05
1.25	29	89	1.8	9.6	1.03
1.50	29	90	1.9	9.7	1.03

Keterangan : PT = padatan total air olahan
 K = kekeruhan
 V = kecepatan pengendapan
 Vol = volume lumpur
 PL = kadar padatan lumpur

Penambahan PE nonionik mempunyai pengaruh yang lebih baik karena dapat menurunkan volume lumpur dari 10.5 persen menjadi 9.3 persen. Volume lumpur terkecil diperoleh pada penambahan PE nonionik 0.5 ppm. Penambahan PE nonionik diatas 0.5 ppm meningkatkan volume lumpur yang dihasilkan.

Kadar padatan lumpur yang paling besar diperoleh pada penambahan PE nonionik dosis 0.5 ppm yaitu 1.05 persen. Penambahan PE nonionik diatas 0.5 ppm cenderung menurunkan kadar padatan lumpur. Dari kecenderungan volume dan kadar padatan lumpur yang terbentuk, dapat dilihat bahwa semakin besar dosis PE nonionik yang ditambahkan menyebabkan lumpur yang terbentuk semakin kamba. Hal ini diduga karena daya kerja PE nonionik adalah *interparticel bridging*, sehingga terdapat ruang kosong diantara partikel koloid yang terjerat.

Berdasarkan analisa statistik terhadap parameter-parameter diatas serta sifat lumpur yang terbentuk maka dosis PE nonionik yang terbaik adalah 0.5 ppm.

Tabel 11 merupakan rangkuman hasil dari penambahan dosis terpilih masing - masing jenis PE ditambah analisa padatan tersuspensi dan COD.

Tabel 11. Hasil penambahan dosis terpilih dari masing masing jenis Polielektrolit

PE	Dosis (ppm)	Penurunan				V m/jam	Vol. (%)	PL (%)
		K (%)	PT (%)	SS (%)	COD (%)			
Anionik	0.5	90	33	93	60	2.8	8.7	1.09
Nonionik	0.5	85	28	91	60	1.6	9.3	1.05
Kationik	0.75	90	28	91		1.4	9.4	1.04

Keterangan :
 SS = padatan tersuspensi
 COD = chemical oxygen demand
 PT = padatan total air olahan
 K = kekeruhan
 V = kecepatan pengendapan
 Vol = volume lumpur
 PL = kadar padatan lumpur

Pemakaian PE anionik memberikan hasil yang jauh lebih baik dibandingkan pemakaian PE yang lain. Hal ini karena limbah cair industri rayon banyak mengandung logam - logam yang bermuatan positif. Penetralkan dengan kapur akan menambah jumlah ion Ca^{2+} sehingga limbah cair yang telah dinetralkan pH-nya bermuatan positif. Menurut Benefield et al. (1982), daya kerja PE anionik akan meningkat dengan cepat jika di dalam air terdapat ion-ion logam bervalensi dua seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} dan logam lain.

Pemakaian PE nonionik memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan PE kationik. Hal ini disebabkan karena daya kerja PE nonionik adalah pembentukan jembatan antar partikel, tanpa mempedulikan muatan partikel dalam limbah cair (MetCalf dan Eddy, 1991).

Berdasarkan karakteristik supernatan serta sifat lumpur yang terbentuk, pemakaian koagulan kapur 50 ppm serta PE anionik 0.5 ppm merupakan kombinasi koagulan-flokulan yang terbaik. Hasil karakterisasi limbah cair industri rayon setelah koagulasi-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE anionik 0.5 ppm dapat dilihat dalam Tabel 12.

Tabel 12. Karakteristik efluen hasil proses koagulasi si-flokulasi menggunakan kapur 50 ppm dan PE anionik 0.5 ppm

Parameter	Satuan	Nilai		Persen penurunan	Baku mutu
		awal	akhir		
Padatan terlarut	mg/l	9220	6575	29	3000
Padatan tersuspensi	mg/l	580	39	93	200
Padatan total	mg/l	9800	6614	33	3200
pH		2.4	9.1	-	6 - 9
Fe	mg/l	1	0.25	75	5
Zn	mg/l	26.3	2.5	91	5
Cl ⁻	mg/l	174	103	41	1000
SO ₄	mg/l	560	280	50	600
COD	mg O ₂ /l	2218	884	60	100
BOD ₅	mg O ₂ /l	980	445	55	50
Na	mg/l	2337	1718	27	-
Ca	mg/l	34	77	-	150
Kekeruhan	mg/l SiO ₂	72	8	90	-

Dari Tabel 12 terlihat bahwa terjadi penurunan juga terhadap padatan terlarut dan kadar sulfat (SO_4). Padatan terlarut berkurang karena adanya bahan-bahan terlarut yang kemudian menjadi senyawa kompleks tidak larut setelah terjadi reaksi kimia. Penurunan kadar sulfat diduga karena terbentuk senyawa CaSO_4 yang merupakan garam tidak larut yang seimbang valensinya. Garam CaSO_4 (garam 2 : 2) berfungsi untuk mengurangi gaya tolak menolak (zeta potensial) dengan menekan lapisan ganda listrik disekitar partikel sehingga membantu proses koagulasi (Schwoyer, 1981). Menurut Tumeo (1992), dalam proses penanganan air, penambahan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dapat menaikkan pH air dan menghasilkan kombinasi kation dengan ion-ion hidroksil (OH^-), sulfat (SO_4^{2-}) dan ion-ion karbonat (CO_3^{2-}) ke dalam bentuk senyawa yang tidak larut.



V. KESIMPULAN

A. KESIMPULAN

Padatan tersuspensi dan kebanyakan fraksi koloid dapat dihilangkan dari limbah cair industri rayon oleh koagulasi-flokulasi diikuti dengan pengendapan. Pemakaian alum sebagai koagulan dapat menurunkan padatan tersuspensi sampai 89 persen, sedangkan kapur dapat menurunkan padatan tersuspensi sampai 93 persen. Koagulasi menggunakan $FeCl_3$ dapat menurunkan padatan tersuspensi sampai 89 persen, akan tetapi akumulasi Fe dalam air olahan serta sifat korosif yang ditimbulkan mengakibatkan pemakaian $FeCl_3$ kurang berdaya guna.

Kombinasi koagulan kapur-alum tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan COD. Penambahan alum dalam koagulasi kapur meningkatkan penurunan COD, akan tetapi cenderung menghambat penurunan kadar logam Zn. Koagulasi kapur tanpa alum mempunyai efisiensi yang tinggi dalam menurunkan kadar logam Zn.

Efisiensi penurunan logam Zn yang terbaik diperoleh pada penambahan kapur 50 ppm yaitu 91 persen. Pemakaian kapur 50 ppm merupakan dosis kapur terpilih untuk dikombinasikan dengan polielektrolit kationik, anionik, dan nonionik.

Dalam proses koagulasi-flokulasi, pemakaian PE anionik memberikan hasil yang jauh lebih baik daripada pemakaian PE nonionik maupun kationik. Pemakaian PE anionik dapat memperbaiki efisiensi proses koagulasi-flokulasi dibandingkan dengan pemakaian kapur saja.

Dosis PE anionik 0.5 ppm merupakan dosis terpilih untuk dikombinasikan dengan koagulan kapur 50 ppm. Kombinasi kapur 50 ppm dengan PE anionik 0.5 ppm dapat menurunkan kadar logam Zn 91 persen, Fe 75 persen, Na 27 persen. Disamping itu, kombinasi kapur 50 ppm dengan PE anionik 0.5 ppm juga dapat menurunkan kandungan bahan organik yaitu COD dan BOD masing-masing 60 dan 55 persen. Penurunan kandungan bahan organik berarti meringankan beban limbah yang akan ditangani secara biologis.

B. SARAN

Kandungan lumpur yang dihasilkan dari koagulasi-flokulasi limbah cair industri rayon adalah bahan kimia, organik dan logam dalam jumlah yang besar. Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang penanganan lumpur yang terbentuk.

Oleh karena kandungan Na yang masih cukup tinggi, maka penanganan biologis yang tepat adalah secara anaerob. Menurut EPA (1987), penanganan limbah cair secara anaerob dapat digunakan untuk menangani senyawa halogen organik yang lebih baik daripada proses aerobik.

Untuk aplikasi dalam industri, perlu diperhatikan variabel-variabel yang tak terkendali dalam skala laboratorium terutama masalah transfer massa.

DAFTAR PUSTAKA

Aulendbach, D.B., N.L. Clesceri dan M.A. Meyer. 1984. Removal of Heavy Metal in POTW Using Alum or Sodium Aluminate for Phosphorus Removal. *Di dalam* M.D. Lagrega dan D.A. Long (1984). Toxic and Hazardous Wastes. Technomic Publ. Co. Inc., Pennsylvania.

Aryudi. 1993. Pengamatan Pencegahan Ripe Viskosa pada Saat Stop Mesin dengan Menaikkan Penggunaan CS₂ pada Proses Santasi di Industri Pembuat Serat Rayon Viskosa. Laporan Praktek Lapang. Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.

Azad, H.S. 1976. Industrial Wastewater Management Handbook. Mc Graw-Hill Co., New York.

Benefield, L.D., J.F. Judkins dan B.L. Weands. 1982. Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

Bratasida, L. 1988. Pengolahan Limbah Industri Pulp dan Kertas. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Selulosa, Bandung.

Bridgwater, A.V. dan C.J. Mumford. 1979. Waste Recycling and Pollution Control Handbook. Van Nostrand Reinhold Co., New York.

Clark, J.W., W. Viesman dan M.J. Hammer. 1977. Water Supply and Pollution Control. Herper and Raw Publ., New York.

Cohen, J.M. dan S.A. Hannah. 1971. Coagulation and Flokulation. Water Quality and Treatment, A Handbook of Public Water Supplies. Mc Graw-Hill Book Co., New York.

Ezward, J.K. 1987. Coagulation-Sedimentation-Filtration Processes for Removing Organic Substances from Drinking Organik Sustances in Water and Wastewater. Noyes Data Corporation, New Jersey.

Eckenfelder, W.W. 1986. Industrial Water Pollution Control, Mc Graw-Hill, Inc., USA.

Fender, R.G., A. Mac Gregor dan K.E. Patterson. 1982. Sulfide Precipitation and System Design for Zinc-Laden Foundry Wastewater. *Di dalam* J.E. Alleman dan J.T. Kavanagh. 1982. Industrial Waste. Ann Arbor Science, Michigan.

Hammer, M.J. 1986. Water and Wastewater Technology. Prentice-Hall Int. Inc., new Jersey.

Hoo, K. dan W. Suryo. 1982. Pengolahan Air Industri. Pusbangtepa. IPB, Bogor.

- Koenig, L. 1987. Fundamental Consideration in The Removal of Organik Substances from Water. A General Review. *Di dalam* B.B. Berger (ed.). Control of Organic Substances in Water and Wastewater, Noyes Data Corp., New Jersey.
- Leentvaar, J., W.G.W. Buning dan H.M.M. Koopers. 1978. Water Res. 12 : 35 - 40.
- Mahida, U.N. 1993. Pencemaran dan Pemanfaatan Limbah Industri. Rajawali Pers, Jakarta.
- MetCalf dan Eddy. 1991. Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse. Mc Graw-Hill, Inc., New York.
- Peavy, H.S., D.R. Rowe, G. Tchobanoglous. 1986. Environmental Engineering. Mc Graw-Hill Book Co., Singapore.
- Rao, K.P.M. dan N.D. Chhabria. 1972. Pollution Control in Pulp and Paper Mills. IPPTA, 9(1) : 7.
- Reynolds, T.D. 1982. Unit Operation and Process in Environmental Engineering. Wadsword Inc., California.
- Salvato, J.A. 1982. Environmental Engineering and Sanitation. A Willey - Interscience Publ., New York.
- Setiadji dan S. Purwati. 1991. Efektivitas Pemakaian Polielektrolit pada Pengolahan Air Limbah Industri Pulp dan Kertas. Berita Selulosa, 27(3) : 70 - 74.
- Shuval, H.I. 1977. Water Renovation and Reuse. Academic Press, New York.
- Schroeder, E.D. 1977. Water and Wastewater Treatment. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- Schwoyer. 1981. Polyelectrolytes for Water and Wastewater Treatment. CRC Press, Florida.
- Steel, E.W. dan T.J. Mc Ghee. 1985. Water Supply and Sewerage. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- Tchobanoglous, G. 1981. Wastewater Engineering : Treatment Disposal Reuse. TATA Mc Graw-Hill Publ. Co. Ltd., New Delhi.
- Tumeo, M.A. 1992. Effects of Lime-Sludge Discharge on An Arctic River. Water Res. Bulletin, 28(6) : 1083 - 1094.
- US EPA. 1987. A Compendium of Technologies Used in Treatment of Hazardous Wastes. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.

Uzair dan A. Sugiarto. 1989. Pembuatan Pulp Rayon dari Kayu Acacia mangium. Simposium Selulosa dan Kertas X. Balai Besar Selulosa Bandung.

Wanielista, M.P., Y.A. Yousef, J.S. Taylor dan C.D. Cooper. 1984. Engineering and The Environment. Wadsworth Inc., California.



L A M P I R A N

Lampiran 1. Tata kerja analisa dan pengujian

1. Warna (APHA, 1985)

Pengujian warna ditetapkan dengan cara kolorimetri. Bahan perbandingan yang dipakai adalah larutan standar warna, larutan kalium platina klorida dan larutan kobalt.

2. Kekeruhan dan Kadar Sulfat

Kekeruhan dan kadar sulfat diukur dengan alat pengukur kekeruhan Hellige Turbidimeter, dan hasil yang didapat dibaca pada kurva.

3. Padatan total (APHA, 1985)

4. Padatan tersuspensi (APHA, 1985)

5. Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD) (APHA, 1985)

6. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD) (APHA, 1985)

7. Kadar Besi

Contoh sebanyak 100 ml ditambah 5 ml H_2SO_4 4 N. Selanjutnya ditambah air brom tetes sampai timbul warna kuning, dan dipanaskan sampai jernih. Setelah dingin dimasukkan ke dalam tabung Nessler dan ditambah 5 ml KCNS



20 persen. Dikocok jungkir balik dan warnanya disamakan dengan standar.

Pembuatan standar adalah dengan menambahkan 5 ml asam sulfat ke dalam 100 ml akuades dalam tabung nessler. Selanjutnya ditambahkan larutan standar besi secara bertingkat dan ditambahkan KCNS 20 persen sebanyak 5 ml. Diaduk jungkir balik.

$$\text{Kadar (mg/l) besi} = \frac{1000}{\text{ml contoh}} \times \text{ml Fe standar} \times \text{mg Fe standar}$$

8. Kadar Ca

Contoh sebanyak 100 ml ditambah dengan 5 ml NaOH 3 N dan ditambah Muruxide sampai warnanya merah ungu. Selanjutnya dititrasi dengan EDTA 0.01 M sampai warnanya ungu.

$$\text{Kadar Ca (mg/l)} = \frac{1000}{\text{ml contoh}} \times \text{ml titran} \times 0.01 \times 40$$

9. Kadar Klorida (Cl^-)

Contoh sebanyak 100 ml dalam labu erlenmeyer 250 ml ditambah HNO_3 8 N sampai bereaksi asam. Selanjutnya ditambahkan 0.5 ml $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 10 persen dan serbuk MgO sampai warna cairan berubah dari kuning-jingga menjadi kuning jelas. Selanjutnya dititrasi dengan larutan standar AgNO_3 sampai berwarna merah jingga.

$$\text{Kadar Cl}^- \text{ (mg/l)} = \frac{1000}{\text{ml contoh}} \times a \times f - 1$$

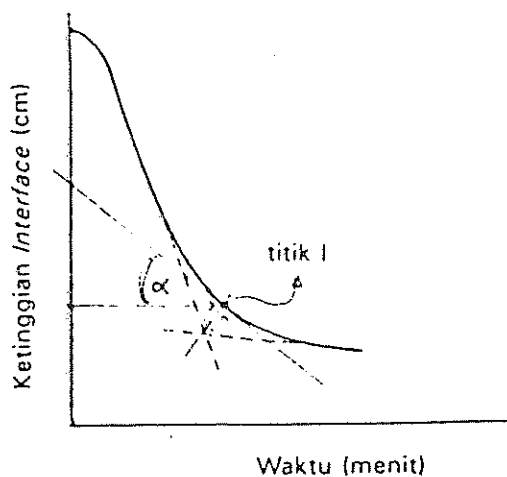
dengan a = pemakaian AgNO_3 (ml)
 f = faktor larutan AgNO_3

10. Kadar Logam Zn dan Na

Kadar Logam Zn dan Na dianalisa menggunakan spektrofotometer Serapan Atom (AAS), hasilnya dibaca pada kurva standar Zn dan Na

11. Kecepatan Pengendapan (Reynold, 1982)

Berdasarkan pengamatan pengendapan dari *tube settling*, dibuat grafik hubungan antara waktu (menit) dengan ketinggian interface (cm) seperti di bawah ini.



Dari kurva diatas, dibuat garis yang menyinggung kurva di titik I. Kecepatan pengendapan adalah nilai tangen α .

12. Volume dan Kadar Padatan Lumpur

Alat yang digunakan adalah *tube settling*. Setelah dilakukan pengendapan selama satu jam, lumpur yang terbentuk diukur volumenya, kemudian dihitung persentase terhadap volume limbah awal.

$$\text{Volume lumpur (\%)} = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{volume limbah}} \times 100 \%$$

Volume lumpur setelah pengendapan satu jam dipisahkan dan diukur padatan totalnya. Kadar padatan dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Kadar padatan lumpur (persen)} = \frac{\text{Padatan total lumpur (g/l)}}{1000} \times 100 \%$$

Lampiran 2. Hasil analisa statistik untuk penentuan jenis dan dosis koagulan

A. Analisa sidik ragam penurunan padatan tersuspensi oleh koagulasi Alum

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	165.2	33	38.8**	4.29	8.75
Error	6	5.1	0.85			
Total	12	170.3	33.85			

Keterangan : SK = Sumber keragaman
 DK = Derajat kebebasan
 JK = Jumlah kuadrat
 KT = Kuadrat tengah

B. Hasil uji Duncan penurunan padatan tersuspensi oleh koagulasi Alum

Dosis (ppm)	100	200	600	500	300	400
Ranking	a	bc	cd	d	d	e

C. Hasil analisa sidik ragam penurunan kekeruhan oleh koagulasi Alum

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	205.6	41.1	6.8*	4.29	8.75
Error	6	36.46	6.1			
Total	12	242.1	47.2			

Lampiran 2. Lanjutan

D. Hasil uji Duncan penurunan Kekeruhan oleh koagulasi Alum

Dosis (ppm)	100	200	600	500	300	400
Ranking	a	ab	ab	bc	bc	c

E. Analisa sidik ragam penurunan padatan tersuspensi oleh koagulasi Kapur

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	740.5	148.1	109.7**	4.29	8.75
Error	6	8.1	1.35			
Total	12	748.6	149.45			

F. Hasil uji Duncan penurunan padatan tersuspensi oleh koagulasi Kapur

Dosis (ppm)	90	30	60	150	120	180
Ranking	a	a	a	b	b	c

G. Hasil analisa sidik ragam penurunan kekeruhan oleh koagulasi kapur

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	392.5	78.5	11.0**	4.29	8.75
Error	6	42.7	7.12			
Total	12	435.2	85.6			

Lampiran 2. Lanjutan

H. Hasil uji Duncan penurunan Kekeruhan oleh koagulasi kapur

Dosis (ppm)	30	90	60	150	120	180
Ranking	a	b	b	b	b	b

I. Analisa sidik ragam penurunan padatan tersuspensi oleh kogulasi FeCl_3

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	94.7	18.9	14.2**	4.29	8.75
Error	6	8.0	1.33			
Total	12	102.7	20.23			

J. Hasil uji Duncan penurunan padatan tersuspensi oleh koagulasi FeCl_3

Dosis (ppm)	50	100	150	250	200	300
Ranking	a	b	bc	bc	bc	c

K. Hasil analisa sidik ragam penurunan kekeruhan oleh koagulasi FeCl_3

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	430.2	86.03	5.16*	4.29	8.75
Error	6	100.0	16.67			
Total	12	530.2	102.7			

L. Hasil uji Duncan penurunan Kekeruhan oleh koagulasi $FeCl_3$

Dosis (ppm)	300	250	200	150	50	100
Ranking	a	a	ab	abc	bc	c

M. Analisa sidik ragam penurunan COD oleh koagulasi kombinasi kapur-alum.

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
A	2	25.4	12.7	5.6*	3.88	6.93
B	3	0.45	0.15	0.1	3.49	5.41
AB	6	11.58	1.93	0.9	3.00	4.82
Error	12	26.88	2.24			

Keterangan : A = pengaruh variasi dosis alum
 B = pengaruh variasi dosis kapur
 AB = pengaruh interaksi kapur-alum

N. Hasil uji Duncan variasi dosis alum terhadap penurunan COD

Dosis (ppm)	-	200	400
Ranking	a	a	a



Halo Cipta Hibridasi Unsurpungling
 1. Diambil sebagai bagian dari silabus yang ada
 2. Pengambilan data menggunakan alat ukur yang sesuai
 3. Diambil sebagai bagian dari penelitian

IPB University
 Institut Pertanian Bogor

- O. Analisa sidik ragam penurunan Kekeruhan oleh koagulasi kombinasi kapur-alum.

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
A	2	58	29	6.6 [*]	3.88	6.93
B	3	110.4	36.8	8.4 ^{**}	3.49	5.95
AB	6	78.7	13.1	2.9	3.00	4.82
Error	12	52.5	4.38			

- P. Hasil uji Duncan variasi dosis alum terhadap penurunan Kekeruhan

Dosis (ppm)	0	200	400
Ranking	a	a	b

- Q. Hasil uji Duncan variasi dosis kapur terhadap penurunan Kekeruhan

Dosis (ppm)	0	150	50	100
Ranking	a	b	b	b

- R. Analisa sidik ragam penurunan Kadar Zn oleh koagulasi kombinasi kapur-alum.

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
A	2	17431	8715	76 ^{**}	3.88	6.93
B	3	448.5	149.5	1.3	3.49	5.95
AB	6	1417.8	236.3	2.1	3.00	4.82
Error	12	1368	114			

Lampiran 3. Hasil analisa statistik penambahan Poli elektrolit dalam proses koagulasi-flokulasi

A. Analisa sidik ragam variasi dosis PE anionik terhadap penurunan kekeruhan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	50.4	10.1	12.3**	4.39	8.75
Error	6	4.92	0.82			
Total	12	55.32	10.92			

B. Uji Duncan variasi dosis PE anionik terhadap penurunan kekeruhan

Dosis	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
Ranking	a	b	b	b	b	b

C. Analisa sidik ragam variasi dosis PE anionik terhadap penurunan padatan total air olahan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	46.78	9.36	7.6*	4.39	8.75
Error	6	7.41	1.24			
Total	12	54.19	10.6			

Lampiran 3. Lanjutan

- D. Uji Duncan variasi dosis PE anionik terhadap penurunan padatan total air olahan

Dosis	0.25	1.00	1.25	0.75	1.50	0.50
Ranking	a	ab	ac	bc	bc	bc

- E. Analisa sidik ragam variasi dosis PE anionik terhadap kecepatan pengendapan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	0.545	0.11	9.1**	4.39	8.75
Error	6	0.07	0.012			
Total	12	0.615	0.122			

- F. Uji Duncan variasi dosis PE anionik terhadap kecepatan pengendapan

Dosis	0.25	1.00	1.50	0.75	0.50	1.25
Ranking	a	b	b	b	b	b

- G. Analisa sidik ragam variasi dosis PE kationik terhadap penurunan kekeruhan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	73.34	14.67	4.7*	4.39	8.75
Error	6	18.62	3.1			
Total	12	91.96	17.77			

Lampiran 3. Lanjutan

- H. Uji Duncan variasi dosis PE anionik terhadap penurunan kekeruhan

Dosis	0.25	0.50	1.50	1.00	0.75	1.25
Ranking	a	ab	ab	bc	c	c

- I. Analisa sidik ragam variasi dosis PE kationik terhadap penurunan padatan total

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	19.6	3.9	0.4	4.39	8.75
Error	6	55.94	9.3			
Total	12	75.54	13.2			

- J. Analisa sidik ragam variasi dosis PE kationik terhadap kecepatan pengendapan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	0.045	0.009	0.43	4.39	8.75
Error	6	0.125	0.021			
Total	12	0.170	0.031			



Lampiran 3. Lanjutan

- K. Analisa sidik ragam variasi dosis PE nonionik terhadap penurunan padatan total air olahan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	15.75	3.15	0.88	4.39	8.75
Error	6	21.51	3.59			
Total	12	37.26	6.74			

- L. Analisa sidik ragam variasi dosis PE nonionik terhadap kecepatan pengendapan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	0.21	0.002	0.58	4.39	8.75
Error	6	0.43	0.0721			
Total	12	0.64	0.0741			

- M. Analisa sidik ragam variasi dosis PE nonionik terhadap penurunan kekeruhan

SK	DK	JK	KT	F hitung	F tabel	
					0.05	0.01
Dosis	5	68.11	13.62	3.62	4.39	8.75
Error	6	22.54	3.76			
Total	12	90.65	17.38			

Lampiran 4. Data hasil penelitian

A. Penentuan Jenis dan Dosis Koagulan

Padatan Tersuspensi (mg/l)

Dosis (ppm)	ALUM			Dosis (ppm)	KAPUR			Dosis (ppm)	FeCl ₃		
	1	2	rata2		1	2	rata2		1	2	rata2
100	116	140	137	30	153	160	157	50	120	103	113
200	106	120	108	60	160	145	153	100	81	88	84
300	95	100	94	90	157	165	161	150	76	82	79
400	66	66	66	120	77	88	82	200	67	70	68
500	93	103	98	150	87	81	84	250	67	73	70
600	100	104	102	180	46	40	43	300	63	66	65

Kekeruhan (mg/l)

Dosis (ppm)	ALUM			Dosis (ppm)	KAPUR			Dosis (ppm)	FeCl ₃		
	1	2	rata2		1	2	rata2		1	2	rata2
100	18	16	17	30	20	24	22	50	16	14	15
200	12	14	13	60	13	12	13	100	16	12	14
300	10	12	11	90	12	14	13	150	15	22	19
400	8	7	8	120	12	10	11	200	20	24	22
500	9	12	11	150	10	14	12	250	22	26	24
600	12	16	14	180	10	8	9	300	25	26	26

Kombinasi koagulan Kapur-alum

Perlakuan	pH			COD (mg/l)			Kekeruhan (mg/lSiO ₂)			Zn (mg/l)	Na (mg/l)	
	1	2	rata2	1	2	rata2	1	2	rata2			
K1	9.6	9.8	9.7	984	922	953	14	13	13	1.3	3.7	1718
K2	10.8	10.2	10.5	960	914	937	10	12	11	0.9	3.9	2083
K3	11.3	11.2	11.2	936	899	917	9	10	10	0.9	3.7	2072
A2K1	6.1	7.2	6.7	883	891	887	13	9	11	20	23.6	1995
A2K2	7.3	8.0	7.7	895	876	885	8	7	8	16	11	2185
A2K3	8.0	8.1	8.0	906	883	895	13	11	12	19	23	2106
A3K1	5.9	6.4	6.2	879	822	851	4	4	4	17	22	2069
A3K2	6.2	6.9	6.6	914	829	872	7	6	7	20	23	2107
A3K3	8.9	8.0	8.5	914	845	879	8	6	7	18	23.4	2267

Lampiran 4. Lanjutan

Keterangan : K1 = Kapur 50 ppm A2 = Alum 200 ppm
 K2 = Kapur 100 ppm A3 = Alum 400 ppm
 K3 = Kapur 150 ppm

B. Penentuan Jenis dan Dosis Polielektrolit

PE anionik

Dosis (ppm)	Kecepatan pengendapan (m/jam)		Kekeruhan ppm SiO ₂		Padatan total air olahan (mg/l)		Volume lumpur (%)		Padatan total lumpur (mg/l)		pH	
0.25	2.1	2.3	10	12	7120	6955	9.5	7.8	10245	10376	9.5	9.8
0.50	2.7	2.7	8	7	6570	6657	7.6	7.7	10540	10663	9.0	9.3
0.75	2.8	2.7	7	7	6630	6765	7.8	7.8	10635	10615	9.1	9.4
1.00	2.7	2.6	7	7	6667	7025	7.5	7.9	10221	10425	9.1	9.4
1.25	2.9	2.7	7	7	6533	7105	7.8	7.9	10367	10620	8.9	9.4
1.50	2.6	2.7	7	7	6641	6592	7.5	8.0	10142	10667	8.9	9.4

PE Kationik

Dosis (ppm)	Kecepatan pengendapan (m/jam)		Kekeruhan ppm SiO ₂		Padatan total air olahan (mg/l)		Volume lumpur (%)		Padatan total lumpur (mg/l)		pH	
0.25	1.2	1.0	10	13	7323	6970	10	10.5	10048	10131	9.4	9.6
0.50	1.5	1.2	10	12	7540	7035	10	9.8	10038	10034	9.4	9.4
0.75	1.4	1.5	8	7	7200	6893	9.8	10	10367	10598	8.9	9.4
1.00	1.2	1.3	8	8	6870	7200	9.5	9.3	10021	10159	9.3	9.4
1.25	1.5	1.3	7	8	6767	7573	9.8	9.7	10364	10455	9.4	9.3
1.50	1.3	1.4	10	13	7100	7270	9.9	9.8	10115	10325	9.4	9.3

PE nonionik

Dosis (ppm)	Kecepatan pengendapan (m/jam)		Kekeruhan ppm SiO ₂		Padatan total air olahan (mg/l)		Volume lumpur (%)		Padatan total lumpur (mg/l)		pH	
0.25	1.3	1.6	12	13	7650	6977	10	10.5	10303	10265	9.5	9.9
0.50	1.5	1.7	10	12	7210	6992	9.4	9.2	10572	10473	9.8	9.4
0.75	2.0	1.4	10	9	7270	7010	9.5	9.6	10500	10440	9.2	9.4
1.00	1.9	1.5	8	12	6920	7129	9.5	9.7	10320	10519	9.2	9.5
1.25	1.9	1.7	8	8	7152	6305	9.4	9.8	10660	10307	9.0	9.2
1.50	2.0	2.1	7	8	6792	7230	9.6	9.7	10635	10325	9.2	9.2

Lampiran 5. Standar kualitas air berdasarkan Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup RI, Kep. 03/Men KLH/II/1991 Tgl 1 Februari 1991

Parameter	Satuan	Golongan		
		I	II	III
FISIKA				
Temperatur	°C	35	38	40
Padatan terlarut	mg/l	1000	3000	4000
Padatan tersuspensi	mg/l	100	200	400
KIMIA				
pH	-	6-9	6-9	6-9
Besi: Fe	mg/l	1	5	10
Mangan (Mn)	mg/l	0.5	2	5
Tembaga (Cu)	mg/l	1	2	3
Seng (Zn)	mg/l	2	5	10
Krom heksavalen (Cr ⁶⁺)	mg/l	0.05	0.1	0.5
Kadmium (Cd)	mg/l	0.01	0.05	0.1
Raksa total (Hg)	mg/l	0.001	0.002	0.005
Timbal (Pb)	mg/l	0.03	0.1	1
Arsen (As)	mg/l	0.05	0.1	0.5
Selenium (Se)	mg/l	0.01	0.05	0.5
Sianida (CN ⁻)	mg/l	0.02	0.05	0.5
Sulfida (S ²⁻)	mg/l	0.01	0.05	0.1
Fluorida (F ⁻)	mg/l	1.5	2	3
Klorin (Cl ₂)	mg/l	0.5	1	2
Klorida (Cl ⁻)	mg/l	600	1000	1500
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	400	600	800
Amm. bebas (NH ₃ -N)	mg/l	0.05	1	2
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	10	20	30
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	1	2	3
BOD	mg O ₂ /l	20	50	150
COD	mg O ₂ /l	40	100	300
Senyawa aktif biru				
metilan	mg/l	0.5	1	3
Fenol	mg/l	0.002	0.05	0.5
Minyak nabati	mg/l	10	30	70
Minyak mineral	mg/l	10	30	70
Radio aktif*				

* Kadar radioaktif mengikuti peraturan yang berlaku

