

LEMBAR PENGESAHAN

**Penggunaan Air Asam Tambang sebagai Koagulan dalam
Pengolahan Air *Run Off* Pertambangan Batu Bara dengan
Koagulasi Dua Tahap**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ULINNUHA YURI

NRP. 3310100044

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Welly Herumurti, ST., M.Sc.

NIP. 198112232006041001

**SURABAYA,
AGUSTUS 2014**

PENGGUNAAN AIR ASAM TAMBANG SEBAGAI KOAGULAN DALAM PENGOLAHAN AIR *RUN OFF* PERTAMBANGAN BATU BARA DENGAN KOAGULASI DUA TAHAP

Nama Mahasiswa : **Ulinnuha Yuri**
NRP : **3310100044**
Jurusan : **Teknik Lingkungan,
Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan ITS**
Dosen Pembimbing : **Welly Herumurti ST., M.Sc.**

ABSTRAK

Air asam tambang (AAT) merupakan hasil reaksi oksidasi pyrite dengan air dan oksigen yang menghasilkan asam. Kandungan utama dalam AAT adalah logam Fe yang didominasi oleh senyawa FeSO_4 dan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, senyawa tersebut merupakan koagulan yang biasa digunakan dalam pengolahan air. Dalam penelitian ini digunakan AAT sebagai koagulan untuk pengolahan air *run off* pertambangan batu bara dengan koagulasi dua tahap satu jenis koagulan (AAT-AAT) dan dua jenis koagulan (AAT-clarifix dan AAT-PAC). Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan dosis dan perbandingan optimum untuk masing-masing koagulan serta pengaruh jenis AAT, perbandingan dosis AAT, dan dosis koagulan kedua terhadap efisiensi pengolahan.

Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap perbandingan dosis, dosis koagulan kedua, dan pH awal sampel. Analisis laboratorium untuk parameter pH, TSS, kekeruhan, Fe dan Mn. Penentuan pengaruh tiap variasi menggunakan perhitungan statistik dengan metode Anova dan Manova.

Koagulasi dua tahap (AAT-AAT) penelitian A menghasilkan efisiensi tertinggi pada perbandingan 75:25, yaitu menyisihkan 99,4% TSS dan 99,6% kekeruhan pada pH optimum 7,86. Pada koagulasi 75% AAT-0,04 mL/L clarifix dapat menyisihkan 99,7% TSS dan 96,3% kekeruhan. pH optimum proses koagulasi AAT-

clarifix adalah 6,5-7,5. Sedangkan koagulasi 75% AAT-20 mg/L PAC menyisihkan 100% TSS dan 99,8% kekeruhan. pH optimum koagulasi AAT-PAC adalah 6-7,5. Berdasarkan analisis statistik, jenis AAT mempunyai pengaruh signifikan pada koagulasi AAT-AAT. Perbandingan dosis AAT berpengaruh pada koagulasi AAT-clarifix. Sedangkan pada AAT-PAC, dosis PAC memberikan pengaruh lebih signifikan dibandingkan perbandingan AAT.

Kata kunci: air asam tambang, air *run off* pertambangan, clarifix, koagulasi dua tahap, PAC

USING ACID MINE DRAINAGE AS COAGULANT OF COAL MINING RUN OFF TREATMENT BY TWO STAGE COAGULATION

Name : **Ulinnuha Yuri**
Number of sign : **3310100044**
Department : **Environmental Engineering,
Faculty of Civil Engineering and
Planning ITS**
Supervisor : **Welly Herumurti ST., M.Sc.**

ABSTRACT

Acid mine drainage (AMD) is the result of pyrite oxidation reaction with water and oxygen that produces acid. The main content of the AMD is Fe, which is dominated by FeSO_4 and $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, these compound are commonly used as a coagulant in water treatment. In this study AMD was used as a coagulant in water treatment of coal mining run off with two-stage coagulation which use one type coagulant (AMD-AMD) and two types coagulants (AMD-clarifix and AMD-PAC). The purpose of this study is to determine the optimum dose and ratio for each coagulant dose and also the effect of different type of AMD, AMD dose ratio, and dose of second coagulant on treatment efficiency.

Variation in this research were dose ratio, second dose of coagulant, and the initial pH of the sample. Laboratory analysis for pH, TSS, turbidity, Fe and Mn parameter. Determination of the effect of each variation using statistical calculations with Anova and Manova methods.

Two stages coagulation (AMD-AMD) in experiment A, produced the highest efficiency at ratio 75:25, which had efficiency removal for TSS and turbidity were 99,4% 99,6% respectively at optimum pH 7,86. Coagulation of 75% AMD-0,04 mL/L clarifix had removal efficiency of TSS and turbidity were 99,7% and 96,3%. The optimum pH of AMD-clarifix coagulation was range at 6,5-7,5.

While coagulation of 75% AMD-20 mg/L PAC had removal efficiency of TSS and turbidity were 100% and 99,8% respectively. The optimum pH of AMD-PAC coagulation was 6 to 7,5. Based on statistical analysis, the type of AMD had a significant effect on AMD-AMD coagulation. Dose ratio had significant effect on AMD-clarifix coagulation. While on AMD-PAC coagulation, variation dosage of PAC had more significant effect than the dose ratio of AMD.

Key word: acid mine drainage, coal mining run off, clarifix, PAC, two stage coagulation

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pertambangan Batu Bara

Pemilihan metode pertambangan sangat ditentukan oleh unsur geologi endapan batu bara. Tambang terbuka disebut juga tambang permukaan, hanya memiliki sifat ekonomis apabila lapisan batu bara berada dekat dengan permukaan tanah. Metode tambang terbuka memberikan proporsi endapan batu bara yang lebih banyak daripada tambang bawah tanah karena seluruh lapisan batu bara dapat dieksploitasi (90% atau lebih dapat diambil). Tambang terbuka yang besar dapat meliputi daerah berkilo-kilo meter persegi dan menggunakan banyak alat besar, termasuk *dragline*, *power shovel*, truk-truk besar, dan *bucket wheel excavator* (World Coal Institute, 2005).

Batuan permukaan yang terdiri dari tanah dan batuan dipisahkan pertama kali dengan bahan peledak, batuan permukaan tersebut kemudian diangkut dengan menggunakan katrol penarik atau sekop dan truk. Setelah lapisan batu bara terlihat, lapisan batu bara tersebut digali, dipecahkan kemudian ditambang secara sistematis dalam bentuk jalur-jalur. Kemudian batu bara dimuat dalam truk besar untuk diangkut ke pabrik pengolahan batu bara atau langsung ke tempat dimana batu bara tersebut akan digunakan (World Coal Institute, 2005).

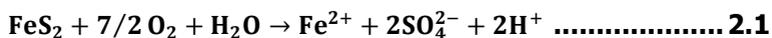
2.2 Air Asam Tambang

Air asam tambang (AAT) diproduksi ketika sulfida yang berikatan dengan material bereaksi dengan oksigen dan air. Produksi AAT biasanya terjadi pada besi sulfida. AAT berasal dari limbah batuan tambang, tailing, dan struktur tambang. Setiap tambang memiliki potensi AAT yang berbeda, oleh karena itu besar resiko dan tindakan mitigasi akan berbeda-beda pada tiap site (Akcil dan Koldas, 2006).

Besi sulfida merupakan mineral sulfida yang paling dominan dalam AAT. Mineral sulfida teroksidasi ketika bertemu dengan air dan oksigen untuk membentuk asam. Komposisi utama dari pembentukan asam adalah mineral sulfida, air, dan oksidan baik dari oksigen di atmosfer maupun bahan kimia. AAT memiliki pH yang rendah, konduktifitas yang tinggi, mengandung besi, aluminium dan mangan dalam konsentrasi tinggi, dan konsentrasi rendah pada logam berat (Akcil dan Koldas, 2006).

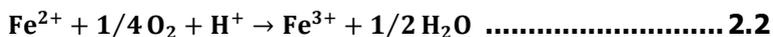
2.2.1 Proses Pembentukan Air Asam Tambang

Air asam tambang adalah air buangan yang dihasilkan oleh industri pertambangan mineral. Air tersebut memerlukan perhatian khusus karena adanya oksida sulfat dari mineral. Air asam tambang umumnya mengandung logam terlarut dan sulfat dalam konsentrasi yang tinggi dan memiliki pH 2. Kondisi tersebut mengakibatkan air asam tambang tidak boleh dibuang secara langsung ke badan air. Air asam tambang merupakan hasil dari oksidasi senyawa kompleks sulfida oleh oksigen dan bakteri yang dengan tahapan reaksi dari pyrite sebagai berikut (Feng, *et al.*, 2000; Santos, *et al.*, 2004). Reaksi pertama yang terjadi adalah oksidasi mineral sulfida menjadi besi terlarut, sulfat dan hidrogen, sebagaimana persamaan berikut ini:



besi sulfida + oksigen + air → logam *ferro* + sulfat + asam

Fe^{2+} terlarut, SO_4^{2-} , dan H^+ mewakili peningkatan total padatan terlarut dan keasaman di dalam air sehingga menyebabkan penurunan pH. Jika kondisi lingkungan disekitarnya cukup untuk proses oksidasi (tergantung pada konsentrasi O_2 , pH, aktivitas bakteri), maka sebagian besar logam *ferro* akan mengoksidasi ke logam *ferric* seperti pada persamaan 2.2.



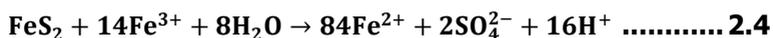
Logam *ferro* + oksigen + asam → logam *ferric* + air

Pada nilai pH antara 2,3 dan 3,5, logam *ferric* akan mengendap sebagai Fe(OH)₃ (Persamaan 2.3) dan meninggalkan sedikit logam *ferric* yang secara simultan menurunkan nilai pH (Persamaan 2.4).



Logam *ferric* + air → ferric hidroksida + asam

Sebagian dari Fe³⁺ dari persamaan 2.2 yang tidak mengendap dapat digunakan untuk mengoksidasi pyrite tambahan menurut persamaan 2.4.



Pyrite + logam *ferric* + air → logam ferus + sulfat + asam

Reaksi pembentukan asam yang menghasilkan besi dan terkadang menghasilkan besi mengendap sebagai Fe(OH)₃, digambarkan oleh kombinasi reaksi dari persamaan 2.1 sampai 2.3 seperti persamaan 2.5.



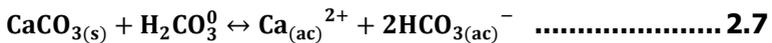
Besi sulfida + oksigen + air → *ferric hidroksida* + sulfat + asam

Semua persamaan di atas, dengan pengecualian persamaan 2.2 dan 2.3, menunjukkan bahwa mineral teroksidasi adalah pirit dan oksidan adalah oksigen. Adapun faktor-faktor utama yang mempengaruhi laju pembentukan asam diantaranya adalah pH, temperatur, oksigen dalam fase gas, oksigen dalam air, derajat kejenuhan air, aktivitas kimia Fe³⁺, luas permukaan metal sulfida yang terbuka, aktivitas kimiawi yang tersedia untuk mengawali pembentukan asam, dan aktivitas bakteri (Akcil dan Koldas, 2006).

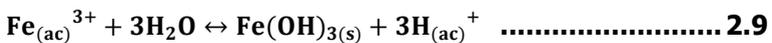
2.2.2 Pengolahan Air Asam Tambang

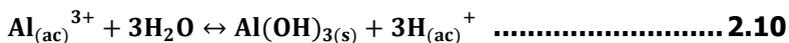
Kategori pengolahan air asam tambang (AAT) ada 2, yaitu pengolahan secara aktif dan pasif. Pada pengolahan secara aktif, digunakan sistem pengolahan kimiawi untuk mempertahankan pH. Sedangkan pada pengolahan pasif, proses biologis dan kimiawi terjadi secara alami (Rios *et al.*, 2008). Secara tradisional, pengolahan air asam tambang dilakukan dengan netralisasi menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau CaCO_3 dan menghasilkan endapan besi, aluminium dan metal hidroksida lainnya dan juga gypsum (CaSO_4) (Santos *et al.*, 2004). Logam hidroksida tersebut dapat diflokulasi membentuk lumpur dengan densitas yang tinggi, dapat mengendap, dan menghasilkan filtrat yang relatif jernih. Penggunaan kapur ini membutuhkan biaya yang relatif rendah dan memproduksi lumpur dengan volume rendah tetapi metode ini tidak banyak digunakan karena adanya karbon dioksida sebagai buffer yang menyebabkan sulit untuk membuat pH di atas 6. Kapur juga tidak efisien untuk AAT dengan kandungan Fe^{2+} yang tinggi (Akcil dan Koldas, 2006).

Menurut Labastida *et al.* (2013), kapur yang bereaksi dengan AAT akan membuat pH meningkat melalui persamaan-persamaan berikut:



Ketika pH meningkat, keberadaan Fe dan Al dalam larutan asam akan membentuk Fe dan Al hidroksida seperti pada persamaan berikut:





Menurut Santos *et al.* (2004), Fe^{2+} mulai mengendap pada pH 2 dan Fe^{3+} pada pH 7. Sedangkan pengendapan Cu dimulai pada pH sekitar 6, Zn dan Ni pada pH sekitar 8.

Menurut Mohan dan Chander (2006), Jika di dalam air hanya tersedia Fe^{2+} , besi akan terlarut sempurna dan air akan terlihat seperti kristal tanpa memperhatikan pH air tersebut. Hal ini berbeda dengan Fe^{3+} , pada pH kurang dari 3,5 Fe^{3+} akan terlarut dalam air. Namun, pada pH lebih dari 3,5 Fe^{3+} akan menjadi tidak terlarut dan mengendap membentuk padatan sebagai senyawa berwarna oranye atau kuning. Pada permukaan air, Fe^{3+} lebih dominan, sedangkan Fe^{2+} dominan pada kondisi anaerobik.

2.3 Baku Mutu Effluen Pertambangan

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 113 Tahun 2003 tentang baku mutu air limbah pertambangan batu bara meliputi parameter pH, residu tersuspensi, Fe total, dan Mn total dengan kadar maksimum masing-masing adalah 6-9, 400 mg/L, 7 mg/L, dan 4 mg/L. Sedangkan berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No 02 Tahun 2011 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, baku mutu air limbah untuk kegiatan pertambangan batu bara meliputi parameter pH, residu tersuspensi, Fe total, dan Mn total dengan kadar maksimum masing-masing adalah 6-9, 300 mg/L, 7 mg/L, dan 4 mg/L. Baku mutu air limbah kegiatan pertambangan batu bara selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Pertambangan Batu Bara

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH		6-9
Residu Tersuspensi	mg/L	400

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
		300*
Besi (Fe) Total	mg/L	7
Mangan (Mn) Total	mg/L	4

*Residu tersuspensi Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No 2 Tahun 2011.

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 112 Tahun 2003 dan Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No 2 Tahun 2011.

Dari kedua baku mutu air limbah kegiatan pertambangan batu bara tersebut, Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No 02 Tahun 2011 memiliki nilai yang lebih kecil pada parameter residu tersuspensi, yaitu 300 mg/L dibandingkan dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 113 Tahun 2003. Oleh karena itu, Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No 02 Tahun 2011 digunakan sebagai patokan dalam pengolahan air limbah pertambangan batu bara.

2.4 Kekерuhan

Kekeruhan dalam air disebabkan oleh partikel tersuspensi dan koloid seperti *clay*, *silt*, partikel organik dan anorganik, plankton dan organisme mikroskopik lainnya. Kekeruhan adalah sifat optik yang menyebabkan cahaya menjadi terpancar dan terserap tanpa perubahan arah atau level fluks melalui sampel. Hubungan antara kekeruhan dengan total konsentrasi partikel tersuspensi susah untuk ditentukan karena ukuran, bentuk, dan indeks bias dari partikel mempengaruhi sifat penyebaran cahaya dari suspensi (APHA, 2005).

2.5 Koagulasi – Flokulasi

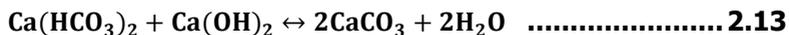
Koagulasi adalah suatu proses yang melibatkan pembentukan kompleks hidrogen oksida untuk mereduksi muatan permukaan dari partikel koloid. Reaksi koagulasi terjadi melalui 2 tahap, yaitu reaksi logam seperti Al^{3+} atau Fe^{3+} dengan air dan hasil dari reaksi pertama tersebut akan bereaksi dengan koloid membentuk

mikro flok yang dapat mereduksi muatan negatif. Dua mekanisme koagulasi diantaranya adalah netralisasi muatan dan *sweep* flok. Reaksi netralisasi muatan adalah reaksi antara koloid dengan satu atau lebih ion logam kompleks dan terjadi pada $\text{pH} < 6$. Gaya Van der Waals mendominasi interaksi antara dua netralisasi muatan partikel hingga membentuk flok (Hendricks, 2006). Gaya Van der Waals merupakan gaya tarik menarik antara dua massa, yang besarnya tergantung pada jarak antar keduanya (Masduki dan Assomadi, 2012). Sedangkan, reaksi *sweep* flok terjadi antara endapan logam hidroksida dan koloid. Endapan logam hidroksida akan menangkap koloid akan tetapi untuk dapat melekat, koloid harus berikatan dengan endapan. $\text{Al}(\text{OH})_3$ memiliki muatan positif, ketika netralisasi muatan dengan koloid dapat terjadi, tarik menarik Van der Waals antara flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan koloid dapat mendominasi seperti pada persamaan berikut:



Persamaan tersebut terjadi pada $\text{pH} > 6,5$ dan pada $\text{pH} > 6$ endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ terbentuk. Endapan tersebut memiliki luas permukaan per unit yang besar, diketahui bahwa endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ memiliki luas permukaan 260 – 500 m^2/g dan bermuatan positif. Pada $\text{pH} < 6$ muatan koloid dinetralkan dengan muatan positif dari aluminium atau besi hidroksida. Pada $\text{pH} > 6$ koloid berikatan dengan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ atau $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Tumbukan antar mikro flok akan menghasilkan flok (Hendricks, 2006).

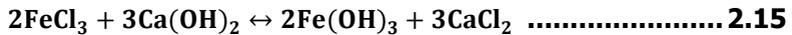
Menurut Metcalf dan Eddy (2003), ketika kapur ditambahkan sebagai koagulan, prinsip penjernihan yang terjadi untuk asam karbonat adalah sebagai berikut:



Lebih banyak kapur yang dibutuhkan ketika dalam proses pengendapan hanya menggunakan kapur saja dibanding dengan menggunakan tambahan koagulan lain seperti $\text{Fe}(\text{SO})_4$. FeCl_3 merupakan koagulan yang banyak digunakan dibandingkan dengan $\text{Fe}(\text{SO})_4$. Ketika FeCl_3 ditambahkan dalam air limbah, maka reaksi yang terjadi adalah



Jika $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditambahkan sebagai penunjang alkalinitas air limbah maka reaksi yang terjadi adalah



Flokulasi adalah tumbukan antara mikro flok untuk membentuk kumpulan partikel yang lebih besar. Tumbukan tersebut dapat disebabkan oleh gerakan molekul, seperti gerakan brownian atau disebabkan oleh turbulensi, seperti gradien kecepatan (Hendricks, 2006). Gerak brown adalah gerak acak dari suatu partikel koloid yang disebabkan oleh kecilnya massa partikel (Masduqi dan Assomadi, 2012). Tujuan dari proses flokulasi adalah untuk meningkatkan ukuran partikel seperti flok sehingga dapat diendapkan. Proses flokulasi menyebabkan tumbukan partikel antara partikel utama, partikel utama dengan flok, dan partikel flok dengan flok lainnya. Struktur dari flok dari bahan kimia inorganik memiliki ikatan internal yang relatif homogen. Dengan bertambahnya kecepatan putaran, bertambah pula jumlah dari pertumbuhan kembali flok yang rusak dan menghasilkan flok baru yang berstruktur lebih padat (Hendricks, 2006).

Terdapat 2 jenis flokulasi, yaitu mikroflokulasi dan makroflokulasi. Perbedaan antara keduanya didasarkan pada ukuran partikel. Mikroflokulasi atau flokulasi perikinetik adalah bentuk penggunaan mengenai pengumpulan partikel oleh gerak tidak beraturan dari molekul. Gerak tersebut dikenal dengan gerak *brown*. Mikroflokulasi terjadi pada partikel dengan ukuran 0,001-1 μm . Sedangkan makroflokulasi atau ortokinetik flokulasi adalah

pengumpulan partikel dengan ukuran lebih dari 1 atau 2 μm . makroflokulasi dapat disebabkan oleh pengurangan kecepatan putaran dan pengendapan yang berbeda (Metcalf dan Eddy, 2003).

Flok Fe hidroksida mempunyai kecepatan pertumbuhan dan ukuran flok yang lebih besar dari flok Al hidroksida. Meningkatnya konsentrasi ion sulfat, kekeruhan awal, atau kecepatan pengadukan lambat dapat meningkatkan pertumbuhan flok pada kedua jenis hidroksida tersebut. Meningkatnya SO_4^{2-} dapat meningkatkan kecepatan pertumbuhan flok. Kecepatan pertumbuhan flok meningkat 40% ketika konsentrasi $\text{SO}_4^{2-}/\text{Me}$ meningkat dari 0-10. Jika dibandingkan kecepatan pembentukan flok antara Fe hidroksida dan Al hidroksida pada pengaruh peningkatan $\text{SO}_4^{2-}/\text{Me}$, maka kecepatan pertumbuhan flok Fe hidroksida 1,2 kali lebih besar dibandingkan dengan Al hidroksida. Peningkatan $\text{SO}_4^{2-}/\text{Me}$ juga berakibat pada penurunan ukuran flok, dimana ukuran flok dari Fe hidroksida 1,6 kali lebih besar dibandingkan dengan Al hidroksida (Xiao *et al.*, 2010).

Koagulasi dari partikel negative menggunakan garam logam terhidrolisis, membutuhkan suatu proses yang menstabilkan partikel dan proses transport partikel untuk dapat bersentuhan satu dengan lainnya. Secara umum, tumbukan perikinetik dan ortokinetik adalah dua mekanisme penting yang terlibat dalam transport partikel. Keduanya sangat bergantung pada konsentrasi partikel. Nilai kekeruhan awal memberikan efek positif yang lebih pada pertumbuhan flok Fe hidroksida daripada Al hidroksida (Xiao *et al.*, 2010).

2.5.1 Pengadukan

Menurut Masduqi dan Assomadi (2012), jenis pengadukan dalam proses koagulasi flokulasi adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting pengadukan yang dinyatakan dalam gradient kecepatan dengan persamaan 2.16 berikut:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \dots\dots\dots \mathbf{2.16}$$

- P = suplai tenaga ke air (N.m/detik)
- V = volume air yang diaduk (m³)
- μ = viskositas absolut air (N.detik/m²)

Pada pengadukan mekanis, bentuk dan ukuran alat pengaduk serta kecepatan putaran alat pengaduk merupakan faktor yang berperan penting. Hubungan antara variabel tersebut dinyatakan dalam persamaan 2.17 (jika N_{Re} > 10000) dan persamaan 2.18 (jika N_{Re} < 20).

$$P = K_T \cdot n^3 \cdot D_i^3 \cdot \rho \dots\dots\dots \mathbf{2.17}$$

$$P = K_L \cdot n^2 \cdot D_i^3 \cdot \mu \dots\dots\dots \mathbf{2.18}$$

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu} \dots\dots\dots \mathbf{2.19}$$

- P = tenaga (N.m/detik)
- K_T = konstanta pengaduk untuk aliran turbulen
- n = kecepatan putaran (rps)
- D_i = diameter pengaduk (m)
- ρ = massa jenis air (kg/m³)
- K_L = konstanta pengaduk untuk aliran laminar
- μ = kekentalan absolut cairan (N.detik/m²)

Nilai K_T dan K_L untuk masing-masing jenis impeller dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konstanta K_T dan K_L

Jenis Impeller	K _L	K _T
Propeller, pitch of 1, 3 blades	41,0	0,32
Propeller, pitch of 2, 3 blades	43,5	1,00
Turbine, 4 flat blades, vaned disc	60,0	5,31

Jenis Impeller	K_L	K_T
Turbine, 6 flat blades, vaned disc	65,0	5,75
Turbine, 6 curved blades	70,0	4,80
Fan turbine, 6 curved blades at 45°	70,0	1,65
Shroude turbine, 6 curved blades	97,5	1,08
Shrouded turbine, with stator, no baffles	172,5	1,12
Flat paddles, 2 blades (single paddle), $D_i/W_i = 4$	43,0	2,25
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 6$	36,5	1,70
Flat paddles, 2 blades, $D_i/W_i = 8$	33,0	1,15
Flat paddles, 4 blades, $D_i/W_i = 6$	49,0	2,75
Flat paddles, 6 blades, $D_i/W_i = 8$	71,0	3,82

Sumber: Reynold dan Richards, 1996

2.5.2 Alkalinitas

Alkalinitas pada air merupakan kapasitas netralisasi asam dari air itu sendiri. Alkalinitas signifikan digunakan dalam banyak hal dan pengolahan air bersih maupun air limbah. Alkalinitas dalam air permukaan merupakan fungsi utama dari karbonat, bikarbonat, dan kandungan hidroksida, oleh karena itu senyawa tersebut dijadikan sebagai indikasi. Air limbah domestik mempunyai alkalinitas kurang dari atau lebih dari suplai airnya. Pengoperasian anaerobik digester secara tipikal memiliki supernatan dengan alkalinitas berkisar 2000-4000 CaCO_3/L (APHA, 2005).

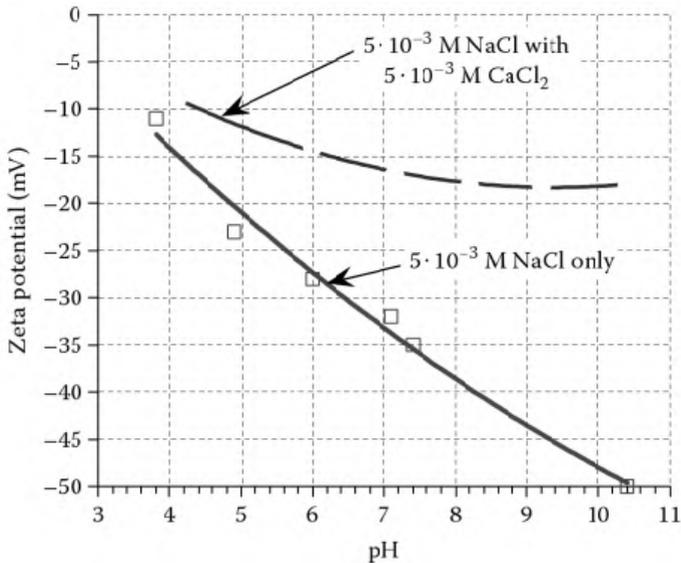
Proses koagulasi dari garam logam akan melepas ion-ion hidrogen yang dapat menetralkan alkalinitas. Hidrogen yang dihasilkan dari penambahan 1 mg/L alum akan menetralkan 0,5 mg/L alkalinitas. Jika alkalinitas awal dari air rendah, pengurangan alkalinitas lebih lanjut akan merusak kapasitas buffer air tersebut dan pH akan turun dengan cepat. Oleh karena itu, pH optimum harus dipertahankan untuk proses koagulasi terbaik dan alkalinitas harus ada untuk pembentukan flok hidroksida. Air dengan alkalinitas rendah harus diberi buffer, biasanya ditambahkan kapur atau soda ash (AWWA, 1990).

2.5.3 Jar Tes

Jar tes digunakan untuk menaksir dosis koagulan, kisaran pH efektif, dan untuk mengembangkan penggunaan polimer dalam hal tipe dan dosisnya (Hendricks, 2006). Jar tes dilakukan dengan menggunakan rangkaian *glass ware* paling sedikit 1 L memiliki ukuran dan bentuk yang sama. Secara normal digunakan 6 jar dengan alat pengaduk yang diaduk secara bersamaan dengan power input yang sama dan salah satu jar digunakan sebagai variabel kontrol (AWWA, 1990). Secara normal rangkaian jar tes adalah 3 menit pengadukan cepat pada 200 rpm, 15-20 menit pengadukan lambat untuk flokulasi dan diikuti dengan 30 menit pengendapan. Jar tes dapat juga digunakan dalam berbagai penelitian yang melibatkan penilaian pengaruh dari beberapa perbedaan variabel dalam koagulasi, seperti dosis koagulan primer, polimer dan dosis koagulan aid, bersama dengan pH, alkalinitas, temperatur, dan variabel lainnya. Jar tes standar tidak bekerja pada air dengan kekeruhan rendah, yaitu $<0,5$ NTU dan alkalinitas rendah, yaitu <50 mg/L CaCO_3 (Hendricks, 2006).

2.5.4 Zeta Potensial

Gaya eletrostatik dikenal sebagai zeta potensial, yaitu gaya utama yang menjaga suspensi koloid pada keadaan yang stabil, kestabilan koloid tersebut terjadi karena adanya gaya tolak antar koloid yang mempunyai muatan yang sama (Masduqi dan Assomadi, 2012). Zeta potensial mengukur muatan partikel yang disebabkan oleh gerakan. Besarnya zeta potensial dihitung dari pengukuran mobilitas elektroforetik. Teori zeta potensial adalah ketika dosis koagulan yang tepat ditambahkan, nilai zeta potensial adalah nol. Zeta potensial dari sebagian besar partikel adalah bernilai negatif, dari -3 sampai -50 mv. Zeta potensial dipengaruhi oleh pH, dosis alum, dan tingkat kekuatan ikatan ionik dalam larutan. Zeta potensial akan meningkat seiring dengan menurunnya nilai pH (Hendricks, 2006). Hubungan perubahan zeta potensial oleh nilai pH dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan Zeta Potensial dengan Nilai pH

Sumber: Hendricks, 2006

2.6 Koagulasi Dua Tahap

Koagulasi 2 tahap bertujuan untuk memberikan kondisi pH optimum pada penyisihan material organik pada tahap pertama dan partikel lain pada tahap kedua (Hendricks, 2006). Selain itu, pemberian dosis koagulan 2 tahap menghasilkan peningkatan zeta potensial daripada pemberian dosis 1 tahap (Zhao *et al.*, 2013). Hal tersebut mengindikasikan bahwa penambahan koagulan menyebabkan perubahan muatan netralisasi yang signifikan pada proses re-koagulasi flok yang rusak (Xu *et al.*, 2012).

Efek dari penyisihan partikel setelah *breakage* lebih baik dibandingkan sebelum *breakage*. Flok yang terbentuk dari netralisasi muatan berstruktur lebih padat dan pemodelan

pengikisan permukaan oleh proses *breakage* akan terjadi. Flok yang telah rusak tersebut akan terkoagulasi dengan partikel yang tersisa. Sedangkan ketika *sweep flocculation* mendominasi proses koagulasi, hampir seluruh partikel akan terperangkap muatan positif dan hanya sebagian kecil partikel yang terperangkap muatan positif dan sisa muatan negative. Flok yang berstruktur bebas dan bercabang yang terbentuk dari mekanisme *sweep coagulation* menunjukkan potongan atau fragmen yang luas pada pemodelan *breakage*. Flok rusak yang mengandung muatan positif akan menghasilkan gaya tolak antar partikel dan mengurangi efisiensi tumbukan. Proses *breakage* dan *re-growth* pada flok merupakan cara yang efektif untuk mengurangi dosis koagulan (Yu *et al.*, 2009).

Pada koagulasi 2 tahap ini, ukuran flok akan bertambah besar dan berstruktur lebih padat setelah penambahan dosis kedua. Hal inilah yang menyebabkan penyisihan kekeruhannya memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan koagulasi 1 tahap. Nilai pH pada effluen akan lebih tinggi pada koagulasi dengan dosis 2 tahap dibandingkan dengan 1 tahap (Zhao *et al.*, 2013). Dosis kedua menjadikan struktur flok menjadi lebih padat yang diakibatkan oleh penyusunan kembali partikel dengan perubahan muatan permukaannya. Sehingga dimensi flok tidak hanya mengenai struktur floknya namun juga karakteristik kimia dari permukaan flok (Zhao *et al.*, 2011). Penambahan dosis koagulan 2 tahap mengurangi residu Al pada effluen jika dibandingkan dengan penambahan dosis 1 tahap dengan konsentrasi total koagulan yang sama. Hal tersebut menandakan bahwa koagulan dapat sepenuhnya bereaksi dengan kontaminan (Xu *et al.*, 2012).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhao *et al.* (2011), koagulasi 2 tahap penambahan dosis koagulan dilakukan dengan pengadukan cepat selama 1 menit pada kecepatan 200 rpm, setelah itu dilakukan pengadukan lambat 40 rpm selama 10 menit, pengadukan cepat kembali (*breakage period*) 200 rpm selama 10 menit, pengadukan lambat 40 rpm selama 20 menit. Koagulan dosis kedua dilakukan pada 10 detik sebelum *breakage*

period berakhir. Menurut Zhao *et al.* (2013), penambahan koagulan dosis kedua saat mendekati waktu *breakage period* berakhir akan menghasilkan kualitas effluen yang lebih baik.

Berdasarkan penelitian Carlson dan Gregory (2000), pengolahan air permukaan menggunakan koagulasi 2 tahap mampu menurunkan kekeruhan sebesar 87% NTU dengan dosis 70 mg/L alum dan perbandingan dosis pertama dan kedua adalah 50:50. Zhao *et al.* (2013), menyatakan bahwa koagulasi 2 tahap mampu menyisihkan 81% NTU *humic acid* dengan dosis 10 mg/L $TiCl_4$ pada dosis pertama dan 5 mg/L $TiCl_4$ pada dosis kedua. Menurut Xu *et al.* (2012), pengolahan *humic acid* dengan menggunakan koagulasi 2 tahap koagulan PAC mampu menurunkan kekeruhan sebesar 86% NTU. Darmajaya (2005), menyatakan bahwa koagulasi 2 tahap untuk pengolahan lindi, mampu menyisihkan 96,6 % NTU, 85,4% warna, dan 94,4% zat organik dengan dosis 650 mg/L alum dan perbandingan penambahan koagulan 75:25. Menurut Oktaria (2005), koagulasi 2 tahap dengan $FeCl_3$ dengan perbandingan 75:25 dan 50:50 memberikan hasil penyisihan yang lebih baik dibandingkan dengan PAC, yaitu 90% NTU dan 90% warna, sedangkan hasil dari koagulasi 2 tahap dengan PAC adalah 86% NTU dan 86%. Berdasarkan penelitian Liu *et al.* (2011), pengolahan *humic acid* menggunakan koagulasi 2 tahap dengan koagulan alum dan perbandingan 75:25, mampu menyisihkan 95,2% NTU. Hasil penelitian terdahulu penggunaan koagulasi 2 tahap selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu Penggunaan Koagulasi Dua Tahap

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan	Koagulan	Perbandingan dosis optimum	Mekanisme Jar Tes	Efisiensi Penyisihan	Sumber
Air permukaan	Koagulasi 2 tahap	Alum	70 mg/L 50:50	PC: 1 menit; 300 rpm PC: 1 menit; 300 rpm PL: 15 menit (45, 30, dan 18 rpm) SD: 9 menit	87% NTU	Carlson dan Gregory, 2000
<i>Humic acid</i>	Koagulasi 2 tahap	TiCl ₄	10 mg/L + 5 mg/L	PC:1 menit; 200 rpm PL: 10 menit; 40 rpm PC: 10 menit; 200 rpm PL:10 menit; 40 rpm SD:15 menit	81% NTU	Zhao <i>et al.</i> , 2013

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan		Koagulan	Perbandingan dosis optimum	Mekanisme Jar Tes	Efisiensi Penyisihan	Sumber
<i>Humic acid</i>	Koagulasi tahap	2	PAC	3 mg/L + 1,5 mg/L	PC: 1,5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm PC: 5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm SD: 30 menit	86% NTU	Xu <i>et al.</i> , 2012
Lindi	Koagulasi tahap	2	Alum	650 mg/L 75:25	PC: 1 menit; 100 rpm PC: 1 menit; 100 rpm PL: 15 menit; 40 rpm SD: 30 menit	96,6% NTU 85,4% warna 94,4% zat organik	Darmajaya, 2005
Limbah industri pencelupan benang	Koagulasi tahap	2	FeCl ₃	450 mg/L 75:25 50:50	PC: 1 menit; 100 rpm PC: 1 menit; 100 rpm PL: 15 menit; 50 rpm SD: 30 menit	90% NTU 90% warna 86% NTU 86% warna	Oktaria, 2005
			PAC	400 mg/L 75:25 50:50			

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan		Koagulan	Perbandingan dosis optimum	Mekanisme Jar Tes	Efisiensi Penyisihan	Sumber
<i>Humic acid</i>	Koagulasi tahap	2	Alum	0,04 mM Al 75:25	PC: 1 menit; 200 rpm PL: 5,5 menit; 50 rpm PL: 5,5 menit; 50 rpm	95,2 % NTU	Liu <i>et al.</i> , 2011

2.7 Air Asam Tambang sebagai Koagulan

Komponen utama dalam air asam tambang adalah FeSO_4 dan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ yang merupakan koagulan yang biasa digunakan dalam pengolahan air bersih maupun air limbah. Biasanya digunakan untuk menyisihkan pencemar seperti kekeruhan dan fosfor. AAT sebagai zat yang berbahaya bagi lingkungan, penggunaannya sebagai koagulan sangat diperlukan. Penggunaan AAT sebagai koagulan dalam pengolahan air limbah, dapat menghemat biaya untuk pengolahan AAT itu sendiri dan air limbah yang akan diolah (Ruihua *et al.*, 2011).

Air asam tambang pada lokasi pertambangan yang berbeda mempunyai karakteristik AAT yang berbeda pula, sehingga ketika digunakan sebagai koagulan akan mempunyai kemampuan yang berbeda-beda pula dalam mengolah air limbah. Keefektifan AAT sama dengan koagulan komersial FeCl_3 , namun kontaminasi logam berat terhadap effluen menghalangi penggunaannya tanpa melalui pengolahan pendahuluan. Oleh karena itu, penggunaan AAT sebagai koagulan secara langsung harus diuji secara khusus (Ruihua *et al.*, 2011).

Berdasarkan penelitian Ruihua *et al.* (2011), air asam tambang dapat dijadikan sebagai koagulan dalam penyisihan fosfor pada air limbah sintesis. Penggunaan AAT sebesar 1,61 Fe/P molar ratio mampu menyisihkan 97% fosfor melalui proses koagulasi-flokulasi dengan pengadukan cepat 240 rpm selama 7 menit, pengadukan lambat 70 rpm selama 15 menit dan diakhiri dengan pengendapan selama 70 menit. Penelitian Amalia (2011), menunjukkan bahwa air asam tambang dengan dosis 6,345 mg Fe/L mampu menyisihkan 97% TSS pada pengolahan air *run off* pertambangan dengan pengadukan cepat 200 rpm selama 1 menit, pengadukan lambat 40 rpm selama 10 menit, pengendapan selama 20 menit. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu Penggunaan Koagulan Air Asam Tambang

Jenis Sampel	Jenis Pengolahan	Jenis Koagulan	Dosis optimum	Mekanisme Jar Tes	Efisiensi Penyisihan	Sumber
Air <i>run off</i> pertambangan	Koagulasi 1 tahap	AAT	3,645 mg Fe/L	PC: 0,5 menit; 200 rpm PL: 10 menit; 40 rpm SD: 20 menit	97% TSS	Amalia, 2011
Air limbah sintesis	Koagulasi 1 tahap	AAT	1,61 Fe/P molar ratio	PC: 7 menit; 240 rpm PL: 15 menit; 70 rpm SD: 70 menit	97% fosfor	Ruihua <i>et al.</i> , 2011

2.8 *Polyaluminum Chloride (PAC)*

Menurut Hendricks (2006), tujuan dari penggunaan polimer adalah untuk mempengaruhi karakteristik dari partikel atau flok. Penggunaan polimer dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam, yaitu:

1. Koagulan utama
Polimer sebagai koagulan utama dapat digunakan untuk menggantikan Al^{3+} atau Fe^{3+} . Dalam hal ini, polimer berfungsi untuk netralisasi muatan koloid atau partikel lain sehingga dapat terkumpul sebagai flok.
2. Koagulan aid
Polimer sebagai koagulan aid juga dapat digunakan sebagai penunjang koagulan utama yang ditambahkan bersamaan atau berurutan dengan koagulan utama. Keuntungan dari penggunaannya adalah dapat mengurangi dosis koagulan utama.
3. Flokulan
Ketika netralisasi muatan telah terjadi, polimer berfungsi menyatukan flok-flok untuk membentuk partikel yang lebih besar dan padat

Menurut Li (2010), salah satu koagulan polimer adalah *polyaluminum chloride* (PAC) yang banyak digunakan dalam pengolahan air bersih maupun air limbah dengan persamaan molekul $[Al_m(OH)_n(H_2O)_x] \cdot Cl_{3m-n}$ ($n \leq 3m$). PAC merupakan alum yang telah bereaksi dengan OH^- dalam keadaan khusus membentuk polynuclear kompleks yang tetap stabil pada kisaran pH dan temperatur yang lebih luas (Hendricks, 2006). Panjang dari rantai polimer, berat molekul dan jumlah muatan ionic ditentukan oleh derajat polimerisasi (Gebbie, 2001). PAC memberikan nilai zeta potensial yang lebih besar dan menunjukkan muatan netralisasi yang lebih besar dibandingkan dengan $Al_2(SO_4)_3$ dalam menyisihkan kekeruhan, UV_{254} dan DOC. PAC memperlihatkan konsentrasi rendah pada setiap jenis senyawa Al yang tersisa, kecuali konsentrasi dari ikatan Al organik terlarut.

PAC dapat secara efektif mereduksi konsentrasi dari monomer Al terlarut (Yang *et al.*, 2010).

Karakteristik PAC diantaranya adalah proses hidrolisisnya cukup lambat untuk mencapai netralisasi muatan penuh sebelum pembentukan sweep flok, PAC menyediakan muatan kation hingga pada pH > 6, proses hidrolisisnya menyebabkan penurunan pH yang sedikit dibandingkan alum, dosis yang digunakan lebih sedikit dibanding alum sehingga lumpur yang dihasilkan juga sedikit, dan PAC dapat bekerja baik pada temperatur rendah (Hendricks, 2006). PAC dapat bekerja dengan baik pada rentang pH 5 sampai 8. Keuntungan lain menggunakan PAC dalam pengolahan air adalah mengurangi konsentrasi sulfat yang ditambahkan ke dalam air olahan, jika dibandingkan dengan alum pada dosis yang sama *sludge* yang dihasilkan lebih sedikit, dan penggunaan dosis yang lebih rendah dibanding alum untuk menghasilkan effluent yang sama (Gebbie, 2001).

Berdasarkan penelitian Xu *et al.* (2012), PAC mampu menyisihkan 77% NTU dari *humic acid* melalui proses koagulasi 1 tahap dengan pengadukan cepat selama 1,5 menit 200 rpm, pengadukan lambat 15 menit 40 rpm dan dilanjutkan dengan pengendapan selama 30 menit. Menurut Yang *et al.* (2010), PAC mampu menyisihkan 96,3 % NTU dari air permukaan melalui proses koagulasi 1 tahap dengan pengadukan cepat selama 1 menit 200 rpm, pengadukan lambat 15 menit 40 rpm dan pengendapan selama 25 menit. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu Penggunaan Koagulan PAC

Jenis sampel	Jenis Pengolahan	Jenis Koagulan	Dosis Optimum	Mekanisme Jar Tes	Efisiensi Penyisihan	Sumber
<i>Humic acid</i>	Koagulasi 1 tahap	PAC	3 mg/L	PC: 1,5 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm SD: 30 menit	77% NTU	<i>Xu et al., 2012</i>
Air permukaan	Koagulasi 1 tahap	PAC	15 mg/L	PC: 1 menit; 200 rpm PL: 15 menit; 40 rpm SD: 25 menit	96,3% NTU	<i>Yang et al., 2010</i>

2.9 *Univariate Analysis of variance (Anova) dan Multi-Variate Analysis of Variance (Manova)*

Anova merupakan bentuk analisis dari variasi untuk mendapatkan dua estimasi berbeda dari jumlah variasi. Estimasi pertama berdasarkan variasi dalam kelompok. Estimasi kedua berdasarkan variasi inti dari grup (Carey, 1998). Dalam analisis satu arah, hanya ada satu sumber keragaman dalam variable terikat, yakni kelompok dalam populasi yang sedang dikaji. Sedangkan analisis dua arah digunakan untuk mengidentifikasi adanya dua faktor yang mungkin menyebabkan perbedaan dalam variabel terikat. Tujuan dari analisis dua faktor adalah untuk mengestimasi dan membandingkan pengaruh dari berbagai perlakuan yang berbeda-beda terhadap variabel bebas atau variabel respon untuk melihat signifikansi pengaruh antar level dari faktor 1, antar level dari faktor 2, dan antar kombinasi faktor 1 dan 2 (Sugiharto, 2009).

Manova merupakan metode analisis dalam suatu penelitian untuk mengkaji pengaruh dari berbagai perlakuan terhadap lebih dari satu respon, semua perhitungan dalam manova berupa matriks (Widiharih, 2001). Manova mempunyai sifat dan ciri-ciri seperti anova, yang membedakannya adalah anova dilakukan dengan vektor utama a (1×1) untuk tiap grup. Sedangkan, pada manova dilakukan dengan vektor a ($p \times 1$) untuk tiap grup (Carey, 1998).

BAB 3

Metode Penelitian

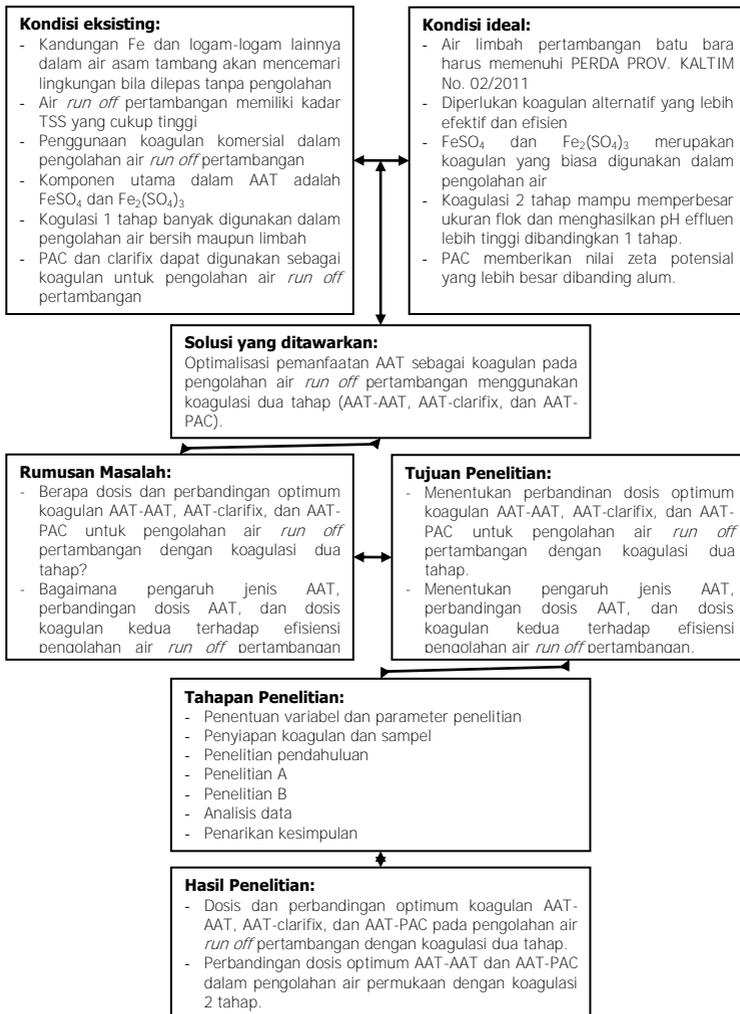
Tahap dalam penelitian ini ada tiga, yaitu penelitian pendahuluan, penelitian A dan penelitian B. Air sampel yang digunakan untuk penelitian A adalah AAT pit Pelikan dan air bekas tambang pit Kangguru sebagai air *run off* pertambangan yang diambil langsung dari PT Pamapersada Nusantara *site* KPCS. Sedangkan untuk penelitian B, digunakan AAT dari hasil pelarutan material *Potential Acid Forming* (PAF) dan air bekas tambang dari pelarutan material *Non Acid Forming* (NAF), kedua material tersebut berasal dari PT Pamapersada Nusantara *site* KPCS.

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk menentukan karakter AAT. Karakterisasi AAT didapatkan melalui pengukuran parameter fisik-kimia AAT, yaitu penentuan pengaruh pH dalam pengendapan AAT. Karakterisasi dilakukan untuk AAT yang didapatkan secara langsung dan AAT dari hasil pelarutan. Penelitian A bertujuan untuk menentukan kemampuan AAT pit Pelikan sebagai koagulan dengan koagulasi 2 tahap (AAT-AAT dan AAT-clarifix) dalam mengolah air bekas tambang atau *run off* pertambangan pit Kangguru. Penelitian B bertujuan untuk menentukan kemampuan AAT sebagai koagulan dengan koagulasi 2 tahap (AAT-AAT dan AAT-PAC) dalam mengolah air *run off* pertambangan menggunakan sampel dari hasil pelarutan material. Penelitian tersebut dilakukan dalam skala laboratorium. Pada tahap pendahuluan, dilakukan variasi pH melalui penambahan kapur dan NaOH. Sedangkan pada penelitian A dan B, dilakukan variasi terhadap perbandingan dosis koagulan (AAT-AAT) maupun (AAT-clarifix dan AAT-PAC) dan variasi pH awal sampel.

3.1 Metode Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran dari seluruh tahapan penelitian mulai dari meninjau keadaan eksisting dan ideal, solusi yang ditawarkan, rumusan masalah, tujuan, tahapan penelitian

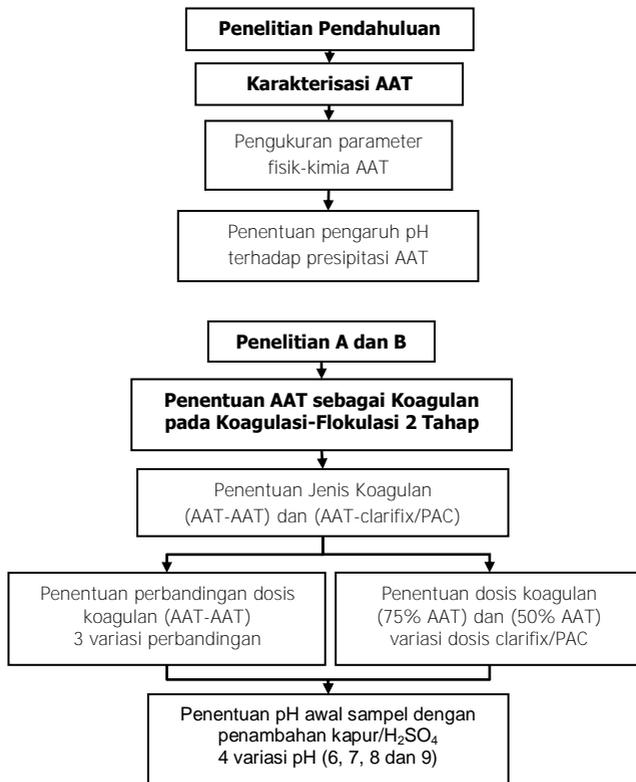
hingga hasil penelitian. Sehingga terlihat urutan kerja yang sistematis dan terencana. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Terdapat 3 tahapan dalam penelitian ini, yaitu penelitian pendahuluan, penelitian A dan B. Kerangka percobaan per tahapan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kerangka Percobaan per Tahap

3.2.1 Penentuan Variabel Penelitian

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan, yaitu karakterisasi AAT dilakukan dengan pengaturan pH AAT dengan penambahan kapur dan NaOH hingga mencapai pH 9. Sehingga jumlah variasi pH yang digunakan bergantung terhadap pH awal AAT. Jika pH awal AAT adalah 2, maka variasinya adalah pH 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan blanko, demikian seterusnya untuk pH awal AAT yang berbeda.

2. Penelitian A dan B

Penelitian A dan B dilakukan dengan variasi dosis AAT-AAT, AAT-clarifix, dan AAT-PAC. Tahap ini diawali dengan penentuan dosis optimum AAT sebagai koagulan dalam koagulasi 1 tahap. Dosis optimum tersebut akan menjadi acuan dalam perbandingan penambahan dosis pertama dan kedua dalam koagulasi 2 tahap. Kemudian dilakukan variasi perbandingan pemberian dosis pertama dan kedua, yaitu 100:0, 75:25, dan 50:50. Pengaturan pH dengan penambahan kapur dilakukan setelah didapatkan perbandingan optimum dari percobaan sebelumnya, dengan variasi pH sampel air *run off* pertambangan adalah 6, 7, 8, dan 9.

Pada penggunaan koagulan AAT-clarifix, terdapat 2 varian perbandingan yaitu 75% AAT + clarifix dan 50% AAT + clarifix. Dosis penambahan clarifix untuk tiap perbandingan dilakukan melalui *range finding test* terlebih dahulu, dengan variasi dosis yaitu 0,2 ml/L, 0,15 ml/L, 0,1 ml/L dan blanko. Selanjutnya akan dilakukan variasi dosis berikutnya sesuai hasil *range finding test* tersebut. Setelah didapatkan dosis clarifix yang tepat untuk tiap variasi perbandingan AAT, maka akan dilakukan penentuan pH optimum. Penentuan pH optimum dilakukan dengan pengaturan pH sampel air *run off* pertambangan melalui penambahan kapur untuk menaikkan pH sampel dan H₂SO₄ untuk menurunkan pH sampel. Variasi pH sampel yang digunakan adalah 6, 7, 8 dan 9. Hal yang sama juga dilakukan pada penggunaan koagulan AAT-PAC.

3.2.2 Penentuan Parameter Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa parameter yang perlu dianalisis, meliputi pH, *total suspended solid* (TSS), kekeruhan, Fe dan Mn. Sedangkan analisis awal air *run off* pertambangan dan air permukaan, meliputi pH, kekeruhan dan TSS.

Pada penelitian pendahuluan, A dan B, analisis yang dilakukan untuk semua perlakuan pada tiap variasinya adalah pH, kekeruhan, dan TSS. Pada penelitian A dan B, analisis Fe dan Mn hanya dilakukan pada tiap perlakuan yang menghasilkan nilai optimum saja. Parameter pH, TSS, Fe dan Mn dipilih untuk penyesuaian dengan baku mutu air limbah kegiatan pertambangan yang digunakan, yaitu Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No 02 Tahun 2011.

3.2.3 Persiapan Koagulan dan Sampel

Jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah AAT dan air bekas tambang/air *run off* pertambangan, keduanya merupakan hasil dari aktivitas pertambangan PT Pamapersada Nusantara *site* KPCS. AAT yang digunakan berasal dari pit Pelikan, sedangkan air *run off* berasal dari pit Kangguru. Sampel jenis tersebut digunakan dalam penelitian pendahuluan dan penelitian A. Air *run off* pertambangan telah mengalami proses pengendapan selama 24 jam sebelum digunakan sebagai sampel dalam penelitian.

Selain itu, terdapat pula air sampel dari hasil pelarutan material yang didapat dari lahan tambang PT Pamapersada Nusantara *site* KPCS, yaitu material *Potential Acid Forming* (PAF) sebagai AAT dan *Non Acid Forming* (NAF) sebagai air *run off* pertambangan. Sampel jenis tersebut digunakan dalam penelitian pendahuluan dan penelitian B. Persiapan sampel AAT untuk penelitian pendahuluan dilakukan dengan melarutkan material PAF menggunakan asam kuat H_2SO_4 dan akuades, 1 gram material PAF dilarutkan dalam 1 ml H_2SO_4 dan diencerkan dengan akuades

hingga volume mencapai 100 ml. Sedangkan sampel AAT untuk penelitian B adalah hasil pengenceran 10 kali dari sampel AAT sebelumnya.

Persiapan sampel air *run off* pertambangan dilakukan dengan melarutkan material NAF dengan air PDAM dengan perbandingan 1:25. Kemudian supernatan dari sampel tersebut diambil setelah mengalami pengendapan selama 1 jam. Supernatan tersebut digunakan sebagai sampel air *run off* pertambangan dalam penelitian B.

Adapun bahan tambahan yang digunakan pada penelitian pendahuluan adalah batu kapur dan NaOH 0.01 N. Sedangkan untuk penelitian A digunakan bahan tambahan koagulan clarifix 8%. Pada penelitian B, dibutuhkan bahan tambahan koagulan PAC. Batu kapur dan H₂SO₄ digunakan pada penelitian A dan B sebagai pengatur pH awal sampel. batu kapur yang digunakan akan dilarutkan dalam akuades dengan perbandingan 1:100, larutan tersebut digunakan tanpa melalui pengendapan.

3.2.4 Penelitian Pendahuluan

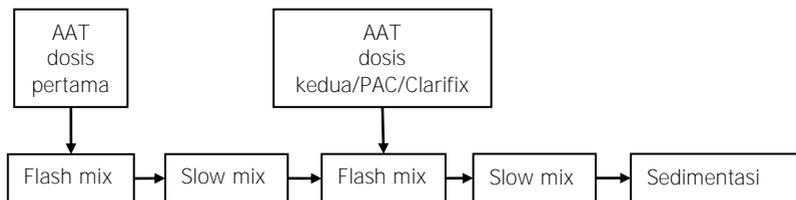
Penelitian pendahuluan berupa karakterisasi AAT yang bertujuan untuk mengukur parameter fisik dan kimia dari air asam tambang melalui penentuan pH yang mempengaruhi presipitasi AAT. Penentuan pH dilakukan melalui penambahan batu kapur dan NaOH. Penambahan kapur dan NaOH dapat menetralkan air asam tambang dengan menyisihkan kandungan logam yang ada didalamnya melalui reaksi pengendapan.

Pada percobaan ini, AAT yang berasal dari pit Pelikan maupun hasil dari pelarutan material akan direaksikan dengan larutan kapur dan NaOH. Pada karakterisasi AAT pit Pelikan, pengaturan pH dilakukan mulai dari pH 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan blanko. Pengaturan pH menggunakan larutan kapur dan NaOH 0.01N. Setelah itu, dilakukan pengadukan cepat 200 rpm selama 2 menit. Kemudian AAT diendapkan selama 45 menit, dengan

pengambilan sampel tiap menit ke 15. Analisis laboratorium yang dilakukan meliputi parameter pH, kekeruhan dan TSS. Sedangkan analisis kandungan Fe dan Mn hanya dilakukan pada effluen yang menghasilkan nilai optimum dan minimum. Dari penelitian ini akan didapatkan data kelarutan AAT dalam pH tertentu. Kelarutan AAT yang dimaksud adalah logam Fe dalam AAT. Hal yang sama juga dilakukan pada AAT hasil dari pelarutan material.

3.2.5 Penelitian A

Penelitian A dimaksudkan untuk mengolah air *run off* pertambangan dengan menggunakan 1 atau 2 jenis koagulan secara efektif melalui koagulasi 2 tahap. Air sampel yang digunakan merupakan AAT pit Pelikan dan air bekas tambang pit Kangguru sebagai air *run off* pertambangan. Koagulan yang digunakan adalah air asam tambang dan clarifix 8%. Koagulasi 2 tahap dilakukan dengan pengadukan cepat 200 rpm selama 1,5 menit, pengadukan lambat 40 rpm selama 15 menit, pengadukan cepat (*breakage period*) 200 rpm selama 1,5 menit, pengadukan lambat 40 rpm selama 15 menit dan diakhiri dengan pengendapan selama 45 menit. Pada saat pengadukan cepat dan *breakage period*, nilai G dan Gtd adalah 29/detik dan 1740. Sedangkan saat pengadukan lambat, nilai G dan Gtd adalah 6/detik dan 5400. Pemberian dosis pertama dilakukan sebelum pengadukan cepat di awal pengolahan, sedangkan pemberian dosis kedua dilakukan 10 detik sebelum *breakage period* berakhir. Skema tahapan koagulasi 2 tahap dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema Koagulasi Dua Tahap

3.2.5.1 Koagulasi Dua Tahap (AAT-AAT)

Pada koagulasi 2 tahap, variasi perbandingan dosis pertama dan kedua yang digunakan adalah 100:0, 75:25, dan 50:50. Setelah didapatkan perbandingan yang menghasilkan nilai optimum, maka akan dilakukan variasi pH awal sampel untuk menentukan pH awal optimum. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan larutan kapur, terdapat 4 variasi pH, yaitu 6, 7, 8 dan 9. Setelah penambahan larutan kapur tersebut, dilakukan analisis pada menit ke 0, 15 dan 30 untuk mengetahui pengaruh kapur terhadap pengendapan sampel, meliputi parameter pH, TSS dan kekeruhan. Kemudian dilakukan penambahan koagulan AAT sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan.

Analisis laboratorium dilakukan pada parameter pH, kekeruhan, dan TSS untuk semua variasi pada tiap perlakuan. Sedangkan analisis kandungan Fe dan Mn hanya dilakukan pada variasi yang menghasilkan nilai optimum. Dari percobaan ini akan didapatkan perbandingan koagulan AAT-AAT dan pH optimum pada koagulasi 2 tahap.

3.2.5.2 Koagulasi Dua Tahap (AAT - clarifix)

Percobaan ini bertujuan untuk mengurangi dosis optimum koagulan, namun tetap menghasilkan effluen dengan efisiensi penyisihan yang tinggi. AAT sebagai koagulan pertama dan clarifix sebagai koagulan kedua. Variasi dalam percobaan ini adalah prosentase penambahan koagulan pertama, yaitu 75% dan 50% AAT. Dosis AAT yang digunakan adalah dosis optimum pada percobaan sebelumnya. Selanjutnya, masing-masing dari variasi koagulan pertama tersebut ditambahkan koagulan kedua, yaitu clarifix dengan variasi dosis yang berbeda. Variasi dosis koagulan kedua dilakukan melalui range finding test dengan dosis 0,2 ml/L, 0,15 ml/L dan 0,1 ml/L. Kemudian penentuan dosis selanjutnya ditentukan dari hasil range finding test tersebut. Setelah didapatkan dosis koagulan kedua yang menghasilkan nilai optimum pada tiap perbandingan koagulan pertama, dilakukan

pengaturan pH awal sampel. Pengaturan pH awal sampel dilakukan melalui penambahan larutan kapur, dengan 4 variasi pH, yaitu 6, 7, 8 dan 9.

Kemudian dilakukan analisis effluen pada parameter pH, kekeruhan, dan TSS. Sedangkan analisis kandungan Fe dan Mn hanya dilakukan pada effluen yang menghasilkan nilai optimum. Dari kedua percobaan tersebut akan didapatkan perbandingan dosis penambahan (AAT-clarifix) dan pH awal dalam koagulasi 2 tahap yang mampu menghasilkan effluen paling optimum untuk mengolah air *run off* pertambangan.

3.2.6 Penelitian B

Prinsip pada penelitian pada B ini sama dengan A, namun air sampel yang digunakan berasal dari pelarutan material PAF dan NAF untuk mendapatkan AAT dan air *run off* pertambangan. Penelitian ini diawali dengan koagulasi 2 tahap dengan koagulan AAT-AAT, disertai dengan variasi pengaturan pH diawal proses. Dari kedua percobaan tersebut akan didapatkan perbandingan dosis (AAT-AAT) dan dosis kapur dalam koagulasi 2 tahap yang mampu menghasilkan effluen paling optimum untuk mengolah air permukaan. Percobaan selanjutnya adalah koagulasi 2 tahap dengan koagulan AAT-PAC, disertai dengan pengaturan pH diawal proses. Dari percobaan tersebut didapatkan perbandingan dosis penambahan (AAT-PAC) dan dosis kapur dalam koagulasi 2 tahap yang mampu menghasilkan effluen paling optimum untuk mengolah air permukaan. Analisis effluen pada parameter pH, kekeruhan, dan TSS. Sedangkan analisis kandungan Fe dan Mn hanya dilakukan pada effluen yang menghasilkan nilai optimum.

3.2.7 Analisis Laboratorium

Analisis laboratorium untuk menentukan nilai dari tiap parameter, yaitu pH, TSS, kekeruhan, Fe, dan Mn. Analisis pH dilakukan dengan metode elektrometri 4500-H⁺, analisis TSS menggunakan metode gravimetri 2540 D dan analisis kekeruhan dengan metode

nephelometri 2130 B, analisis Fe dan Mn masing-masing menggunakan phenanthroline 3500-Fe B dan persulfate 3500-Mn B. Metode analisis laboratorium selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.1. Prosedur analisis tiap metode dapat dilihat pada lampiran C.

Tabel 3.1 Metode Analisis Laboratorium

Parameter	Metode
pH	Elektrometri 4500-H ⁺ (APHA, 2005)
TSS	Gravimetri 2540 D (APHA, 2005)
Kekeruhan	Spektrofotometri
	Nephelometric 2130 B. (APHA, 2005)
	Turbidimetri
Fe	Phenanthroline 3500-Fe B. (APHA,2005)
Mn	Persulfate 3500-Mn B. (APHA, 2005)

3.2.8 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan melakukan perbandingan hasil penelitian dengan studi literatur dan keterkaitan penelitian pendahuluan, penelitian A dan B, antara lain:

1. Hubungan kelarutan Fe dalam AAT dengan pH larutan.
2. Pengaruh perbandingan dosis penambahan koagulan AAT-AAT dan pH awal dalam koagulasi 2 tahap dengan efisiensi penyisihan kekeruhan dan TSS.
3. Pengaruh perbandingan dosis penambahan koagulan AAT-Clarifix dan pH awal dalam koagulasi 2 tahap dengan efisiensi penyisihan kekeruhan dan TSS.
4. Pengaruh perbandingan dosis penambahan koagulan AAT-PAC dan pH awal dalam koagulasi 2 tahap dengan efisiensi penyisihan kekeruhan dan TSS.
5. Pengolahan data dengan analisis statistik.

3.2.9 Perumusan Kesimpulan

Dari analisis data, maka dapat disimpulkan hasil penelitian berdasarkan rumusan masalah dan tujuan yang telah dibuat, diantaranya adalah perbandingan dosis koagulan optimum AAT-AAT dan AAT-clarifix/PAC dalam mengolah air *run off* pertambangan dan perbandingan dosis koagulan AAT-AAT dan AAT-clarifix/PAC dalam mengolah air *run off* pertambangan. Selain itu, akan didapatkan juga pengaruh variasi jenis AAT, perbandingan dosis AAT dan dosis koagulan kedua pada koagulasi dua tahap.

BAB 4

Analisis dan Pembahasan

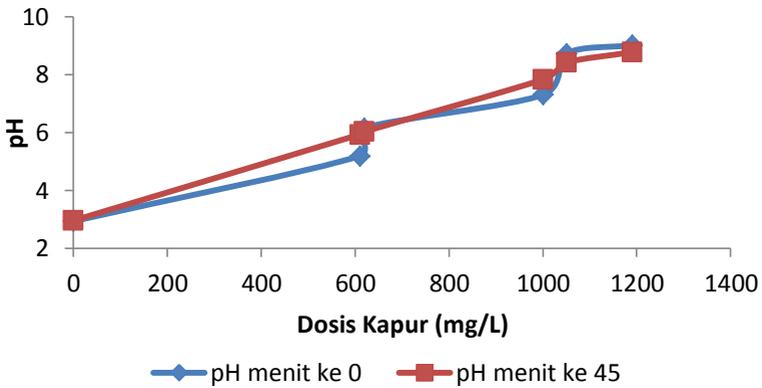
4.1 Karakterisasi AAT

Karakterisasi AAT dimaksudkan untuk menganalisis kelarutan Fe dalam AAT. Karakterisasi dilakukan dengan mereaksikan AAT dengan larutan basa, yaitu larutan kapur dan NaOH. Sampel AAT yang digunakan berasal dari pit Pelikan dan hasil pelarutan material PAF.

4.1.1 Karakterisasi AAT dengan Kapur

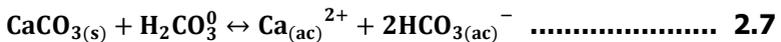
Pada penelitian A, karakterisasi AAT Pelikan dilakukan dengan larutan basa yang berasal dari batu kapur. AAT pit Pelikan memiliki pH 2,94 dengan kandungan TSS dan kekeruhan adalah 5 mg/L dan 1,1 NTU. Kandungan logam Fe dan Mn adalah 3,6 mg/L dan 13 mg/L. Penambahan larutan kapur dilakukan hingga pH AAT pit Pelikan mencapai 5, 6, 7, 8 dan 9. Pengaturan pH dilakukan dengan menambahkan larutan kapur. Larutan kapur tersebut merupakan hasil pelarutan 10 gram batu kapur ke dalam 1000 mL akuades. Konsentrasi kapur yang dibutuhkan untuk menjadikan AAT dari pH awal 2,94 menjadi pH 5, 6, 7, 8 dan 9 adalah 610 mg/L, 620 mg/L, 1000 mg/L, 1050 mg/L, dan 1190 mg/L. Kebutuhan kapur AAT Pelikan hingga pH 9 dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Penambahan kapur dilakukan hingga mencapai pH 5,19; 6,15; 7,3; 8,72; dan 9,01. Setelah mencapai menit ke 15, 30 dan 45 dilakukan analisis pH kembali dan menunjukkan bahwa pada menit ke 15, kapur mulai terlarut dan cenderung menaikkan pH AAT, namun tidak untuk sampel dengan pH 8,72 dan 9,01. Pada menit ke 45, pH AAT untuk masing-masing pH awal menjadi 2,96; 5,93; 6,03; 7,83; 8,41; dan 8,77.

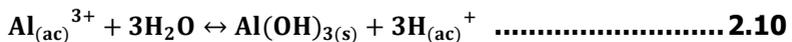
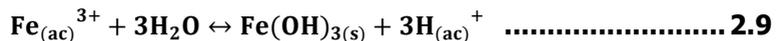


Gambar 4.1 Kebutuhan Kapur AAT Pelikan

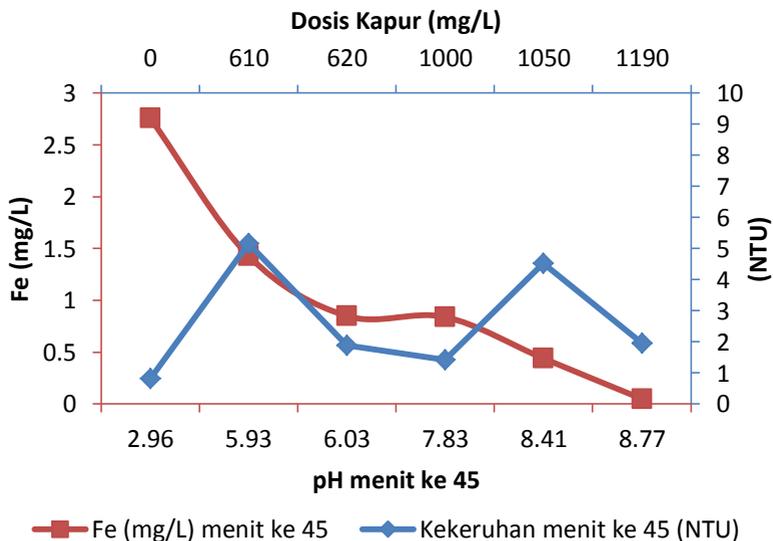
Berdasarkan penelitian Labastida *et al.* (2013), perubahan nilai pH seiring dengan penambahan kapur merupakan akibat dari reaksi senyawa kapur CaCO_3 dengan asam membentuk ion Ca^{2+} dan ion karbonat, seperti pada persamaan 2.6, 2.7, dan 2.8 berikut:



Perubahan pH juga menimbulkan perubahan konsentrasi logam terlarut pada AAT. Ketika pH meningkat, keberadaan Fe dan Al dalam larutan asam akan membentuk Fe dan Al hidroksida seperti pada persamaan 2.9 dan 2.10 berikut:



Penambahan kapur mengakibatkan perubahan nilai pH. Penambahan larutan kapur 1% dapat pula menimbulkan perubahan kekeruhan pada AAT. Grafik hubungan pH dan Fe setelah penambahan kapur pada pengendapan menit ke 45 dalam AAT, dapat dilihat pada Gambar 4.2.



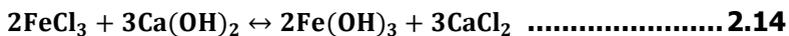
Gambar 4.2 Hubungan pH dan Fe pada AAT Setelah Penambahan Kapur

Pada Gambar 4.2, perubahan nilai pH sebagai akibat dari penambahan kapur pada AAT, menyebabkan perubahan nilai Fe terlarut pada AAT. Selain berakibat pada perubahan nilai pH, penambahan kapur juga menyebabkan perubahan kekeruhan pada AAT. Penambahan kapur sebanyak 610 mg/L mampu meningkatkan kekeruhan hingga 5,16 NTU atau terjadi peningkatan kekeruhan sebesar 84% dari kekeruhan awal. Namun, peningkatan dosis kapur selanjutnya yaitu pada 620 dan 1000 mg kapur/L tidak terjadi peningkatan kekeruhan bahkan

terjadi penurunan kekeruhan pada AAT. Hal tersebut disebabkan karena kapur telah bereaksi dengan AAT dan membentuk padatan yang dapat mengendap lebih cepat. Proses tersebut berulang ketika dosis kapur 1050 mg/L, terjadi peningkatan kekeruhan dan kemudian terjadi penurunan kekeruhan kembali ketika dosis kapur bertambah menjadi 1190 mg/L. Perubahan nilai kekeruhan akibat penambahan kapur juga diikuti oleh perubahan nilai TSS. Setelah penambahan kapur 610, 620, 1000, 1050, dan 1190 mg/L, nilai TSS sebagai akibat dari penambahan dosis kapur masing-masing adalah 2, 10, 1, 1, 3, dan 2 mg TSS/L.

Penambahan kapur sebesar 1190 mg/L menyebabkan pH AAT pada menit ke 45 adalah 8,77 dengan nilai TSS dan kekeruhan, yaitu 1,95 mg/L dan 2 NTU. Pada pH 8,77 tersebut, logam Fe dan Mn dalam supernatan pada menit ke 45 masing-masing adalah 0,05 mg Fe/L dan 4,7 mg Mn/L. Penurunan konsentrasi Fe terlarut pada AAT secara drastis terjadi ketika pH AAT mencapai 6,03, yaitu terjadi penurunan sebesar 69,2% dari konsentrasi awal ketika pH 2,96. Selanjutnya, konsentrasi Fe menurun bertahap seiring meningkatnya nilai pH AAT hingga pada pH 8,77 mampu mengendapkan logam Fe sebesar 98,6% dan logam Mn sebesar 63,8% dari konsentrasi awal. Pada pH dibawah 6,03 Fe terlarut masih mendominasi AAT, sedangkan pada pH di atas 7,83 Fe hidroksida mulai mendominasi AAT hingga pH 8,77. Oleh karena itu, Fe yang baik digunakan saat proses koagulasi flokulasi adalah pada kisaran pH 6,03 sampai 7,83. Hal tersebut disebabkan pada pH tersebut Fe terlarut dan Fe hidroksida dalam keadaan setimbang. Pada penelitian Santos *et al.* (2004); Metcalf dan Eddy (2003), menyatakan bahwa keberadaan senyawa kapur dalam AAT yang meningkatkan kekeruhan, membuat Fe yang terlarut dalam AAT ataupun dalam bentuk senyawa FeCl_3 akan terikat dengan senyawa Ca(OH)_2 , CaCO_3 , $\text{Ca(HCO}_3)_2$ ataupun senyawa kapur lainnya membentuk logam hidroksida yang dapat mengendap, seperti pada persamaan 2.13 dan 2.14 berikut:

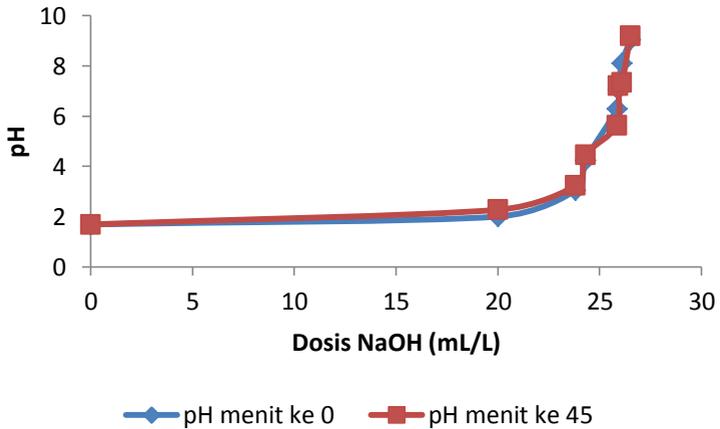




Sehingga terdapat keterkaitan secara langsung antara kekeruhan akibat senyawa kapur terhadap Fe terlarut. Penurunan kekeruhan pada AAT diikuti pula dengan penurunan konsentrasi Fe terlarut pada AAT. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-1.

4.1.2 Karakterisasi AAT dengan NaOH

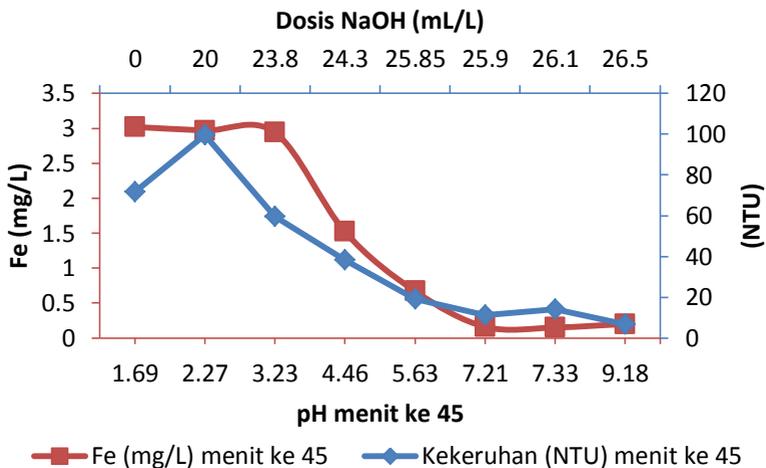
Karakterisasi juga dilakukan dengan melakukan pengaturan pH AAT hasil pelarutan material PAF melalui penambahan larutan basa lainnya, yaitu NaOH. NaOH digunakan sebagai pembanding dengan senyawa basa kapur, hal tersebut dilakukan karena kandungan batu kapur yang tidak murni dari zat pengotor yang dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan, sehingga dari keadaan tersebut akan dapat diketahui pengaruh kekeruhan terhadap pengendapan logam. Pada karakterisasi AAT, hasil pelarutan material PAF dilakukan perlakuan dan metode analisis yang sama dengan karakterisasi sebelumnya namun menggunakan NaOH 1 N. AAT hasil pelarutan tersebut, memiliki pH 1,69 dengan kandungan TSS, kekeruhan, Fe dan Mn masing-masing adalah 328 mg TSS/L; 71,6 NTU; 3,02 mg Fe/L; dan 3,74 mg Mn/L. Kebutuhan NaOH 1 N untuk menjadikan pH AAT mencapai 9 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kebutuhan NaOH

Berdasarkan Gambar 4.3, untuk menjadikan pH AAT menjadi 2; 3,04; 4,25; 6,29; 7,05; 8,11; dan 9,04 dibutuhkan dosis NaOH 1N masing-masing adalah 20; 23,8; 24,3; 25,85; 25,9; 26,1; 26,5 mL/L. Setelah menit ke 45, pH cenderung meningkat dari pH tujuan, masing-masing menjadi 2,27; 3,23; 4,46; 5,63; 7,21; 7,33; dan 9,18. Pada Gambar 4.3, dibutuhkan 20 mL/L untuk mencapai pH 2, kemudian penambahan NaOH berikutnya akan memberikan efek yang sensitif terhadap peningkatan nilai pH. Hal tersebut terjadi karena adanya senyawa buffer yang terdapat pada AAT, kebutuhan NaOH yang besar pada awal penambahan bereaksi dengan senyawa buffer yang mempertahankan pH. Namun ketika senyawa buffer telah habis bereaksi dengan NaOH, maka penambahan NaOH selanjutnya akan menimbulkan efek peningkatan nilai pH dengan cepat. Penggunaan NaOH sebagai pengatur pH lebih efektif dibandingkan kapur. Hal tersebut karena senyawa NaOH yang dapat cepat terlarut dan bereaksi lebih sempurna dibanding dengan larutan kapur tanpa adanya elemen lain sebagai pengotor, sehingga dapat mempertahankan pH awal lebih baik.

Karakterisasi dengan NaOH tidak menyebabkan kekeruhan dan TSS meningkat, bahkan dapat menurunkan TSS dan kekeruhan secara berkala. Pada pH 9, TSS dan kekeruhan AAT masing-masing menjadi 164 mg TSS/L dan 6,8 NTU. Begitu juga dengan logam Fe dan Mn yang menurun seiring dengan peningkatan nilai pH akibat penambahan NaOH, pada pH 9 konsentrasi Fe dan Mn masing-masing adalah 0,2 mg Fe/L dan 0,63 mg Mn/L. Hubungan penurunan kekeruhan dengan penurunan kandungan logam Fe seiring dengan peningkatan pH AAT dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hubungan antara pH dan Fe dalam AAT Setelah Penambahan NaOH

Berdasarkan Gambar 4.4, peningkatan kekeruhan ditunjukkan pada pH 2,27 yaitu dari 71,6 NTU menjadi 99,5 NTU, kemudian diikuti penurunan secara berkala seiring dengan meningkatnya dosis penambahan NaOH dengan masing-masing nilai kekeruhannya adalah 59,7 NTU; 38,4 NTU; 19,1 NTU; 11,3 NTU; 14,2 NTU; dan 6,8 NTU. Penurunan kekeruhan tersebut diikuti dengan penurunan kandungan logam Fe dalam AAT akibat peningkatan nilai pH dari 1,69 hingga 9,18, masing-masing

konsentrasi Fe pada pH tersebut adalah 3,02 mg Fe/L; 2,97 mg Fe/L; 2,94 mg Fe/L; 1,52 mg Fe/L; 0,67 mg Fe/L; 0,16 mg Fe/L; 0,15 mg Fe/L; dan 0,2 mg Fe/L.

Konsentrasi Fe pada pH 2,27 dan 3,23 tidak menunjukkan penurunan yang signifikan, hal tersebut berarti pada kondisi pH 1,69 hingga 3,23, Fe terlarut dalam AAT. Selanjutnya, Fe akan mengalami pengendapan ketika memasuki pH di atas 3,23, hal tersebut dibuktikan dengan konsentrasi Fe pada pH 4,46 yang berkurang hingga menjadi 1,52 mg/L dan diikuti penurunan secara berkala seiring dengan meningkatnya pH. Pada pH di atas 3,32 tersebut, senyawa Fe akan bereaksi dengan NaOH membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang dapat terendapkan membentuk padatan berwarna oranye. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mohan dan Chander (2006), pada $\text{pH} > 4$ akan terjadi reaksi pengendapan, ion OH^- dari larutan akan membentuk senyawa kompleks dengan Fe^{2+} , sedangkan pada Fe^{3+} reaksi pengendapan terjadi pada $\text{pH} > 3$, Fe^{3+} lebih banyak terhidrolisis dibandingkan Fe^{2+} .

Peningkatan kekeruhan yang merupakan efek dari penambahan larutan kapur, tidak menyebabkan logam Fe terendapkan mengikuti pengendapan partikel kapur penyebab kekeruhan. Hal tersebut terbukti pada karakterisasi dengan kapur saat pH mencapai 7,83 pada menit ke 45, hanya mampu menyisihkan konsentrasi Fe dari AAT sebesar 76,6%. Sedangkan pada karakterisasi dengan NaOH saat pH mencapai 7,33 pada menit ke 45, mampu menyisihkan 95% Fe dari AAT. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-2.

4.2 Koagulasi Flokulasi Dua Tahap Satu Koagulan

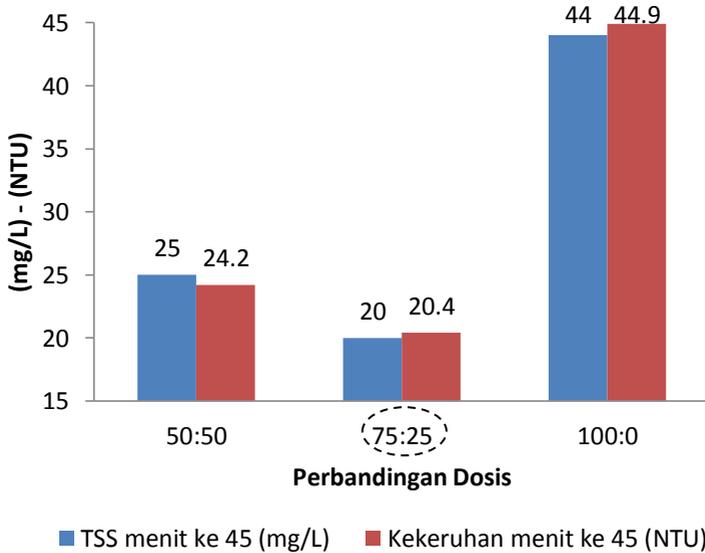
Koagulasi flokulasi dua tahap dilakukan dengan satu dan dua jenis koagulan. Pada koagulasi flokulasi dua tahap satu jenis koagulan digunakan AAT, sedangkan pada dua jenis koagulan digunakan AAT-clarifix dan AAT-PAC. Pada penelitian A, jenis sampel yang digunakan adalah AAT Pit Pelikan dan air bekas

tambang Pit Kangguru sebagai air *run off* pertambangan. Sedangkan penelitian B menggunakan AAT dari pelarutan material PAF dan air *run off* pertambangan dari pelarutan material NAF. Proses dua tahap diawali dengan proses satu tahap untuk menentukan dosis optimum pada satu tahap. Dosis optimum koagulasi flokulasi satu tahap untuk penelitian A adalah 350 mL/L, sedangkan pada penelitian B adalah 80 mL/L.

4.2.1 Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (AAT – AAT)

Pada penelitian A, koagulasi-flokulasi dua tahap dilakukan berdasarkan hasil yang didapat pada koagulasi-flokulasi satu tahap. Dosis optimum yang digunakan pada koagulasi satu tahap adalah 350 mL/L. Koagulasi dua tahap dengan satu jenis koagulan melakukan variasi perbandingan dosis penambahan pertama dan kedua, yaitu 100:0, 75:25, 50:50 dan blanko. AAT Pelikan pH 3,04 digunakan sebagai koagulan dengan kandungan TSS, Kekeruhan, logam Fe dan Mn masing-masing adalah 0 mg TSS/L, 1,6 NTU, 3,6 mg Fe/L, dan 13 mg Mn/L. Sedangkan air bekas tambang Pit Kangguru digunakan sebagai sampel air *run off* pertambangan dengan karakteristik awal pH, TSS, dan kekeruhan masing-masing adalah 7,69; 650 mg TSS/L; dan 989 NTU.

Penambahan koagulan pada proses jar tes dibagi menjadi dua. Perbandingan pemberian dosis tersebut didasarkan pada dosis optimum satu tahap yaitu 100:0, 75:25, dan 50:50, dan tanpa pemberian koagulan (blanko). Pemberian dosis pertama dilakukan pada waktu pengadukan cepat pertama dan pemberian dosis kedua dilakukan 10 detik sebelum pengadukan cepat kedua atau *breakage period* berakhir. *Breakage period* merupakan pengadukan cepat saat flok telah terbentuk yang bertujuan untuk memecah flok. Nilai TSS dan kekeruhan tiap perbandingan dosis dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Nilai TSS dan Kekeruhan Koagulasi Dua Tahap AAT-AAT (Penelitian A)

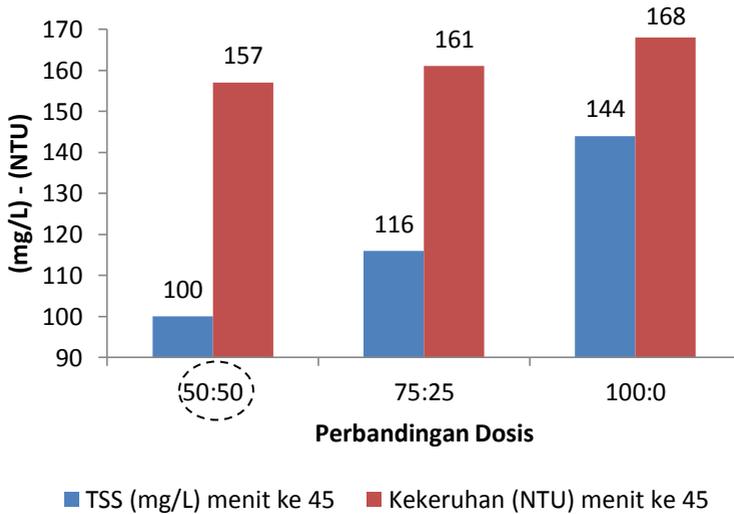
Berdasarkan Gambar 4.5, penurunan TSS dan kekeruhan terbesar terdapat pada perbandingan dosis 75:25, selanjutnya diikuti perbandingan 50:50 dan 100:0. Pada perbandingan dosis 75:25 nilai TSS dan kekeruhan pada pengendapan menit ke 45 masing-masing adalah 20 mg TSS/L dan 20,4 NTU. Sedangkan perbandingan 50:50 dan 100:0 nilai TSS dan kekeruhan masing-masing adalah 25 mg TSS/L; 24,2 NTU dan 44 mg TSS/L; 44,9 NTU. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbandingan dosis optimum adalah pada 75:25 yang mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan masing-masing hingga 96,9% dan 97,9%. Pada perbandingan tersebut, Fe dan Mn yang bereaksi sebagai koagulan adalah sebanyak 91,27% dan 64,83% dari total Fe dan Mn dalam AAT yang dibubuhkan sebagai koagulan. Data penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-3.

Penambahan dosis pertama 75% dan 50% dari dosis optimum berlaku sebagai pembentuk flok pada proses koagulasi tahap pertama. Ketika flok terbentuk setelah pengadukan lambat pertama, flok dipecah pada pengadukan cepat kedua (*breakage period*). Flok yang terbentuk dari ikatan muatan positif dan negatif hasil netralisasi muatan ataupun hasil dari *sweep coagulation* akan pecah. Sehingga, flok yang pecah atau kehilangan muatannya akan mencari muatan positif atau negatif lainnya. Sebelum *breakage period* berakhir, ditambahkan koagulan kembali sebagai dosis penambahan kedua yaitu 25% dan 50%. Penelitian Xu *et al.* (2012) dan Zhao *et al.* (2011), menyatakan bahwa penambahan kedua dosis koagulan menyebabkan struktur flok menjadi lebih padat akibat penyusunan kembali partikel dengan perubahan muatan netralisasi yang signifikan pada proses re-koagulasi flok yang rusak. Koagulan dosis kedua ini sebagai pelengkap muatan positif yang telah terpisah saat *breakage period* agar terbentuk kembali flok yang lebih padat.

Pada penelitian B, AAT hasil pelarutan material PAF sebagai koagulan dan hasil pelarutan material NAF sebagai air *run off* pertambangan diberi perlakuan yang sama dengan penelitian A pada koagulasi flokulasi dua tahap AAT-AAT. AAT yang memiliki pH 2,1 dengan kandungan logam Fe dan Mn masing-masing adalah 3,02 mg Fe/L dan 3,74 mg Mn/L. Sedangkan air *run off* pertambangan hasil dari pelarutan material NAF memiliki karakteristik awal pH, TSS, dan kekeruhan masing-masing adalah 8,12; 736 mg TSS/L; dan 888 NTU. Dosis optimum untuk proses koagulasi flokulasi satu tahap dengan air sampel tersebut, didapatkan dosis sebesar 80 mL/L melalui *range finding test*. Pada dosis tersebut, proses koagulasi satu tahap mampu menyisihkan 77,6% TSS dan 78,6% NTU setelah pengendapan pada menit ke 45 dengan pH akhir adalah 6,48.

Dosis optimum tersebut digunakan dalam koagulasi flokulasi dua tahap dengan perbandingan dosis penambahan pertama dan kedua adalah 100:0, 75:25, dan 50:50. Penurunan TSS dan

kekeruhan tiap perbandingan dosis pada penelitian B dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Nilai TSS dan Kekeruhan Koagulasi Dua Tahap AAT-AAT (Penelitian B)

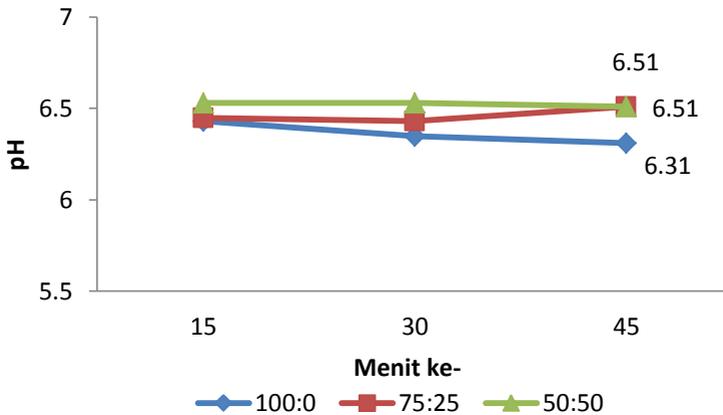
Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa perbandingan dosis 50:50 menghasilkan nilai TSS dan kekeruhan terendah pada pengendapan menit ke 45, yaitu 100 mg TSS/L dan 157 NTU atau dapat menyisihkan 86,4% TSS dan 82,3% kekeruhan. Fe dan Mn yang tersisa dalam proses tersebut adalah sebesar 1,55 mg Fe/L dan 1,89 mg Mn/L. Kekeruhan dan TSS terendah selanjutnya pada perbandingan 75:25 dan 100:0 dengan masing-masing nilai TSS dan kekeruhannya adalah 116 mg TSS/L, 161 NTU dan 144 mg TSS/L, 168 NTU.

Hal tersebut berbeda dengan perbandingan dosis optimum yang dihasilkan pada penelitian A, yaitu 75:25. Perbedaan perbandingan tersebut dapat terjadi akibat perbedaan jenis AAT yang digunakan pada penelitian A dan B, dimana pH AAT yang

digunakan dalam penelitian A dan B masing-masing adalah 3,04 dan 2,01. AAT penelitian B memiliki pH lebih rendah yang berarti mengandung ion sulfat lebih banyak dibandingkan AAT penelitian A. Xiao *et al.* (2010) dalam penelitiannya menyatakan bahwa meningkatnya SO_4^{2-} dapat meningkatkan kecepatan pembentukan flok. Hal inilah yang terjadi pada penelitian B, dengan dosis penambahan pertama 50% dari dosis optimum telah mampu menghasilkan flok secepat flok yang terbentuk pada penelitian A yaitu 75% dari dosis optimum. Sehingga pada penelitian B, perbandingan optimum dapat tercapai pada perbandingan 50:50. Berdasarkan perhitungan secara statistik, jenis AAT turut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan TSS dan kekeruhan pada tiap variasi perbandingan dengan nilai F masing-masing adalah 67,193 dan 173,597 hasil perhitungan statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-27. Penelitian terdahulu oleh Carlson dan Gregory (2000), Darmajaya (2005), Oktaria (2005), dan Liu *et al.* (2011) menunjukkan bahwa, perbandingan optimum untuk koagulasi dua tahap adalah 75:25 dan 50:50 dengan koagulan alum, FeCl_3 , atau PAC.

Berdasarkan analisis statistik, kemampuan perbandingan dosis 50:50 dan 75:25 pada penelitian A, tidak menghasilkan perbedaan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan yang signifikan. Hal yang sama juga ditunjukkan pada penelitian B, perbandingan dosis 50:50, 75:25, dan 100:0 tidak menghasilkan perbedaan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan yang signifikan. Data analisis statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-3 dan A-9. Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi perbandingan dosis AAT pada koagulasi dua tahap satu jenis koagulan tidak mempengaruhi efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan yang signifikan.

Koagulasi dua tahap, cenderung dapat mempertahankan nilai pH akhir, dimana pada perbandingan dosis 50:50 dan 75:25 memiliki pH akhir lebih tinggi dari 100:0. Perubahan nilai pH berdasarkan perbandingan dosis penambahan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perubahan Nilai pH tiap Perbandingan Dosis Koagulasi Dua Tahap AAT-AAT (Penelitian B)

Berdasarkan Gambar 4.7, dapat dilihat bahwa pada perbandingan 100:0 nilai pH menurun dari menit ke 15, 30, dan 45 masing-masing adalah 6,43; 6,35; dan 6,31. Pada perbandingan 50:50, nilai pH tidak mengalami perubahan dari menit ke 15 hingga 30, yaitu 6,53 dan kemudian mengalami penurunan yang tidak signifikan pada menit ke 45 menjadi 6,51. Sedangkan pada perbandingan 75:25, pada menit ke 15 nilai pH adalah 6,45 dan menjadi 6,43 pada menit ke 30, pada menit ke 45 mengalami peningkatan hingga 6,51. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil perbandingan dosis koagulan pada penambahan pertama akan membuat nilai pH bertahan atau tidak mengalami penurunan yang signifikan. Perbandingan dosis pada penambahan kedua juga memberikan pengaruh, seperti penelitian Zhao *et al.* (2013), bahwa pH effluen akan menurun seiring dengan meningkatnya dosis koagulan pada penambahan kedua dan pH effluen akan meningkat jika dosis koagulan penambahan pertama dan kedua sama atau lebih kecil.

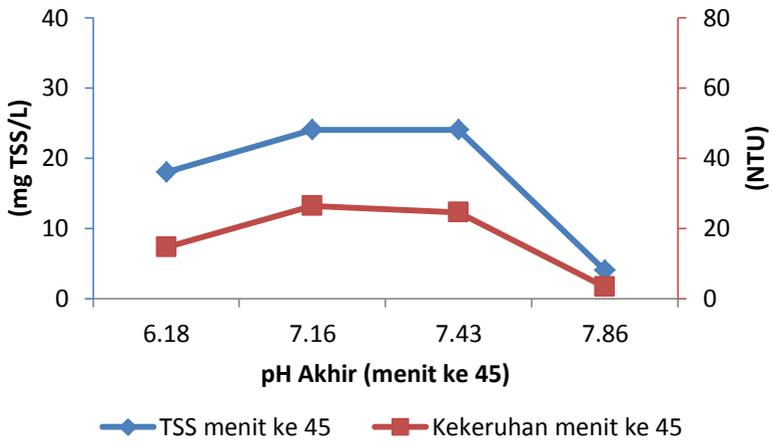
Dosis penambahan pertama membawa pengaruh terhadap perubahan nilai pH. Pemberian dosis sekaligus menyebabkan

senyawa koagulan yang bereaksi dengan air sampel akan membentuk logam hidroksida dan membebaskan ion H^+ (Labastida *et al.*, 2013). Semakin banyak dosis koagulan yang diberikan maka semakin banyak pula ion H^+ yang terbentuk, sehingga akan lebih cepat menurunkan nilai pH dibandingkan dengan pemberian koagulan secara berkala dengan perbandingan tertentu. Hal tersebut terlihat pada perbandingan 100:0 kemudian diikuti oleh 75:25 dan 50:50.

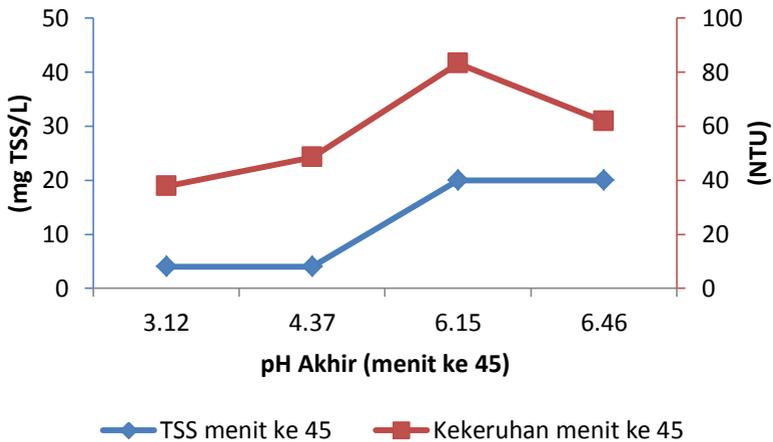
4.2.2 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (AAT-AAT)

Perbandingan dengan hasil optimum tersebut, yaitu 75:25 pada penelitian A dan 50:50 pada penelitian B, diuji terhadap beberapa variasi pH awal sampel yaitu pH 6, 7, 8, dan 9 untuk mendapatkan pH optimum dari reaksi tersebut. Pada penelitian A, didapatkan bahwa saat pH awal sampel 9 mampu menurunkan TSS dan kekeruhan tertinggi dibandingkan dengan pH awal 6, 7, dan 8. Namun, pada penelitian B, pada pH 6 mampu menurunkan TSS dan kekeruhan tertinggi dibandingkan pH awal sampel lainnya. Perbandingan nilai TSS dan kekeruhan tiap variasi pH awal sampel pada penelitian A dan B dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

Berdasarkan Gambar 4.8, koagulasi dua tahap penelitian A dengan perbandingan 75:25 pada pH awal 6,04; 7,04; 8,01; dan 9,27 menghasilkan nilai pH akhir pada menit ke 45 masing-masing adalah 6,18; 7,16; 7,43; dan 7,86. Pada pH akhir 7,86, kemampuan AAT sebagai koagulan dapat bereaksi secara maksimal dibandingkan dengan pH lainnya, yaitu mampu menurunkan TSS dan kekeruhan masing-masing hingga sebesar 4 mg TSS/L dan 3,33 NTU atau sebesar 99,4% dan 99,6%. Fe dan Mn yang tersisa adalah sebesar 0,06 mg Fe/L dan 0,2 mg Mn/L. pH akhir dari proses tersebut adalah 7,86. Oleh karena itu, pH optimum dari koagulasi dua tahap (AAT-AAT) pada penelitian A adalah 7,86.



Gambar 4.8 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (AAT-AAT) Penelitian A



Gambar 4.9 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (AAT-AAT) Penelitian B

Sedangkan pada Gambar 4.9, koagulasi dua tahap penelitian B dengan perbandingan 50:50 pada pH awal 6, 7, 8, dan 9 menghasilkan pH akhir pada menit ke 45 masing-masing adalah 3,12; 4,37; 6,15; dan 6,46. Pada pH akhir 3,12, mampu menurunkan nilai TSS dan kekeruhan terendah yaitu 4 mg TSS/L dan 37,7 NTU. Namun, pH akhir yang dihasilkan terlalu rendah, sehingga tidak ditentukan sebagai optimum pada penelitian ini karena tidak dapat memenuhi baku mutu jika dibuang ke badan air. Nilai TSS dan kekeruhan terendah selanjutnya adalah pada pH akhir 4,37, sehingga pada pH akhir tersebut juga tidak ditentukan sebagai optimum karena rendahnya nilai pH. pH akhir 6,46 dipilih sebagai pH optimum karena pada pH tersebut nilai TSS dan kekeruhannya adalah 20 mg TSS/L dan 61,7 NTU. Pada pH akhir 6,46 tersebut, mampu menyisihkan kandungan TSS dan kekeruhan hingga 97,3% TSS dan 93% kekeruhan. Fe dan Mn yang tersisa dari proses tersebut adalah 1,45 mg Fe/L dan 1,5 mg Mn/L. Analisis statistik menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan yang signifikan pada pH akhir 6,15 dengan 6,46, sehingga pH optimum dari koagulasi dua tahap (AAT-AAT) penelitian B adalah 6 sampai 6,5. Analisis statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-22.

AAT yang digunakan pada penelitian B dapat secara drastis menurunkan nilai pH, terlihat pada pH awal 6 dan 7 menghasilkan nilai pH akhir yaitu 3,12 dan 4,37. Hal tersebut disebabkan karena AAT pada penelitian B yang merupakan hasil pelarutan material PAF dengan asam kuat, yaitu H_2SO_4 . Sedangkan, AAT dari sump pit Pelikan merupakan hasil pelarutan material pertambangan dengan asam yang berasal dari tanah maupun air hujan yang terjadi secara alami. Asam yang berasal dari tanah merupakan asam organik yang didominasi oleh propionate, citrate, dan oxalate, sedangkan pada air hujan terdapat asam oxalic, dicarboxylic, dan malonic (Xiao and Wu, 2014). Asam-asam organik tersebut merupakan asam lemah,

sehingga ketika bereaksi dengan air sampel tidak lebih reaktif dari asam kuat dalam membebaskan ion H^+ .

Perbedaan jenis AAT memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan kekeruhan dibandingkan dengan variasi pH awal sampel. Hal tersebut dapat dibuktikan dari hasil analisis statistik, jenis AAT memberikan nilai F yaitu 75,60, sedangkan variasi pH awal dan interaksi keduanya masing-masing memberikan nilai F yaitu 2,79 dan 2,43, sehingga perbedaan jenis AAT tersebut, memberikan pengaruh yang berbeda terhadap penentuan pH optimum.

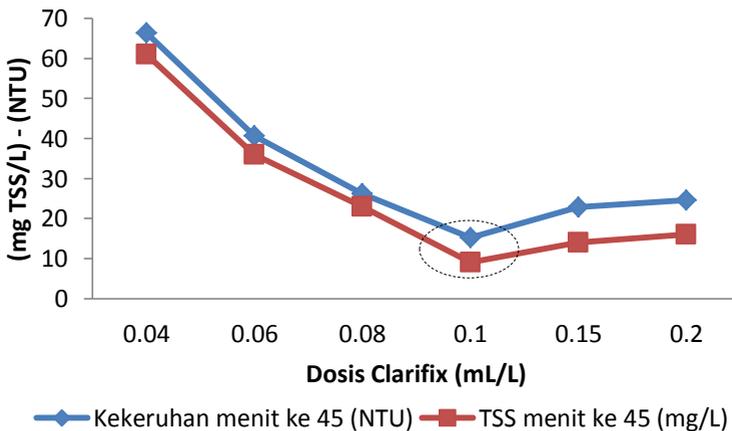
4.3 Koagulasi-Flokulasi Dua Tahap Dua Koagulan

Penelitian koagulasi dua tahap dengan dua koagulan dilakukan dengan AAT sebagai koagulan pertama, clarifix dan PAC sebagai koagulan kedua. AAT sebagai pembentuk flok pertama, setelah melalui *breakage period*, flok yang telah terbentuk akan terpecah dan kembali mencari muatan positif untuk membentuk flok yang lebih berat, sehingga dapat mengendap dengan cepat. Penambahan koagulan dosis kedua tersebut yang akan memberikan ion positif kembali untuk dapat memperbesar flok yang telah terbentuk. Variasi dilakukan terhadap perbandingan koagulan AAT sebagai koagulan pertama, yaitu 50% dan 75%. Kemudian variasi dilakukan terhadap dosis koagulan clarifix dan PAC sebagai koagulan kedua. Penelitian A menggunakan clarifix sebagai koagulan kedua, sedangkan penelitian B menggunakan PAC.

4.3.1 Koagulasi-Flokulasi Dua Tahap (50% AAT-Clarifix)

Koagulasi flokulasi dua tahap dua koagulan dengan menggunakan AAT pit Pelikan dan clarifix 8% untuk mengolah air *run off* pertambangan pit Kangguru. Karakteristik awal TSS, kekeruhan, Fe, dan Mn AAT dengan pH 3,04 masing-masing adalah 0 mg TSS/L; 1,6 NTU; 3,6 mg Fe/L; dan 13 mg Mn/L. Sedangkan air *run off* pertambangan memiliki pH, TSS, dan

kekeruhan masing-masing adalah 7,69; 650 mg TSS/L; dan 989 NTU. Perbandingan 50% dari dosis optimum AAT digunakan sebagai koagulan pertama, yaitu 175 mL/L AAT dan variasi dosis clarifix sebagai koagulan kedua. Variasi dosis clarifix sebagai koagulan kedua diantaranya adalah 0,04 mL/L; 0,06 mL/L; 0,08 mL/L; 0,1 mL/L; 0,15 mL/L; dan 0,2 mL/L. Penurunan nilai TSS dan kekeruhan 50% AAT-Clarifix dapat dilihat pada Gambar 4.10.



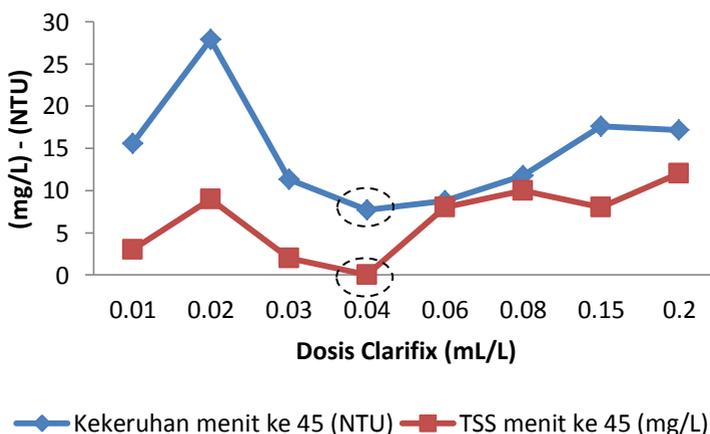
Gambar 4.10 TSS dan Kekeruhan 50% AAT-Clarifix

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pada koagulasi dua tahap dengan koagulan 50% AAT-0,1 mL/L clarifix mampu menghasilkan nilai TSS dan kekeruhan terendah, masing-masing yaitu 9 mg TSS/L dan 15,2 NTU pada pengendapan menit ke 45 dengan pH akhir adalah 8,19. Nilai TSS dan kekeruhan mengalami kenaikan pada dosis clarifix 0,15 mL/L; 0,2 mL/L; 0,08 mL/L; 0,06 mL/L; dan 0,04 mL/L. Penggunaan koagulan 50% AAT-0,1 mL/L dalam koagulasi dua tahap mampu menurunkan TSS dan kekeruhan masing-masing adalah 98,6% dan 98,4%. Fe dan Mn yang tersisa pada proses tersebut adalah 0,08 mg Fe/L dan 1,1 mg Mn/L. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-5.

Keberadaan clarifix sebagai koagulan kedua melengkapi proses pembentukan flok yang telah pecah akibat *breakage period*. Clarifix yang merupakan salah satu koagulan aid yang menggantikan peran garam logam anorganik pada umumnya, seperti Al dan Fe.

4.3.2 Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (75% AAT-Clarifix)

Koagulasi dua tahap AAT-clarifix juga dilakukan pada perbandingan 75% AAT dari dosis optimum, yaitu 262,5 mL/L AAT. AAT berasal dari pit Pelikan yang memiliki karakteristik awal pH, TSS, kekeruhan, Fe dan Mn masing-masing adalah 3,19; 1,51 mg TSS/L; 1 NTU; 2,31 mg Fe/L; dan 3,5 mg Mn/L. Sedangkan karakteristik awal pH, TSS, dan kekeruhan air *run off* pertambangan yang berasal dari pit kangguru masing-masing adalah 7,84; 709 mg TSS/L; dan 879 NTU. Variasi dosis clarifix sebagai koagulan kedua adalah 0,01 mL/L; 0,02 mL/L; 0,03 mL/L; 0,04 mL/L; 0,06 mL/L; 0,08 mL/L; 0,15 mL/L; dan 0,2 mL/L. Nilai TSS dan kekeruhan untuk masing-masing variasi dosis clarifix dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 TSS dan Kekeruhan 75% AAT-Clarifix

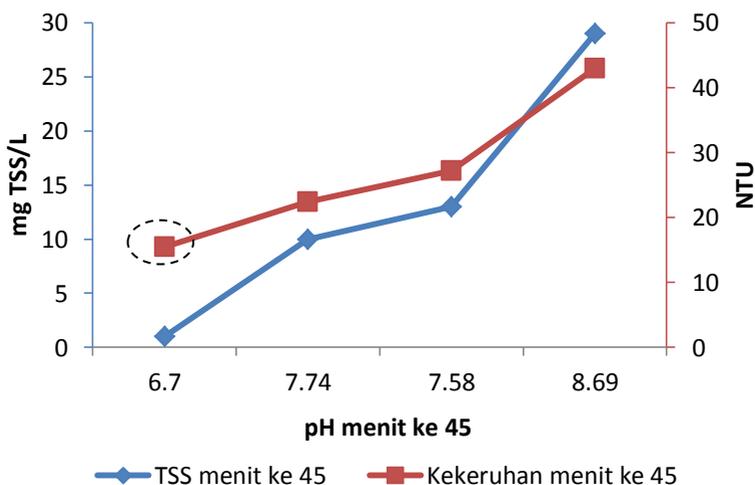
Berdasarkan Gambar 4.11, koagulasi dua tahap 75% AAT-clarifix menghasilkan nilai TSS dan kekeruhan terendah pada dosis clarifix 0,04 mL/L, masing-masing yaitu 0 mg TSS/L dan 6,21 NTU setelah pengendapan menit ke 45 dengan pH akhir sampel adalah 7,35. Koagulasi dua tahap 75% AAT-0,04 mL/L clarifix mampu menyisihkan 100% mg TSS/L dan 99,3% kekeruhan. Fe dan Mn yang tersisa dari proses tersebut adalah 0,12 mg Fe/L dan 0 mg Mn/L.

Analisis statistik menunjukkan bahwa variasi dosis clarifix memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan TSS dan kekeruhan pada perbandingan AAT 50% dan 75%. Namun, pada perbandingan 50%, saat dosis clarifix 0,08 mL/L hingga 0,2 mL/L tidak terjadi perbedaan penyisihan kekeruhan yang signifikan. Hal yang sama terjadi pada perbandingan 75%, saat dosis clarifix 0,03 mL/L hingga 0,08 mL/L. Hasil analisis statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-17 dan A-19.

Jika membandingkan hasil dari variasi perbandingan dosis AAT sebagai koagulan pertama, maka 75% AAT sebagai koagulan pertama mampu menghasilkan efisiensi penyisihan yang lebih baik dibandingkan dengan 50% AAT. Hal tersebut terlihat bahwa, pada 75% AAT mampu menyisihkan 100% TSS dan 99,3% kekeruhan, sedangkan pada 50% AAT mampu menyisihkan 98,6% TSS dan 98,4% kekeruhan. AAT sebagai koagulan pertama memberikan peranan penting terhadap pembentukan flok pertama, semakin besar dosis AAT yang diberikan akan memberikan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan lebih baik. Analisis statistik menunjukkan bahwa variasi perbandingan AAT memberikan nilai F lebih besar dibandingkan dengan variasi dosis clarifix, yaitu 205,75 pada TSS dan 240,60 pada kekeruhan. Hal tersebut menandakan bahwa variasi perbandingan memberikan pengaruh yang lebih signifikan dalam menyisihkan TSS dan kekeruhan dibandingkan dengan variasi dosis clarifix, hasil analisis statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-29.

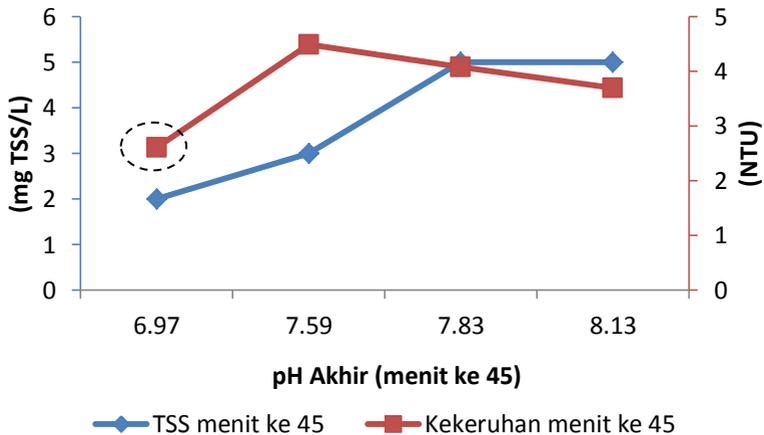
4.3.3 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (AAT-Clarifix)

Penentuan pH optimum dari koagulasi dua tahap AAT-clarifix, dilakukan pengaturan pH awal sampel menjadi 6, 7, 8, dan 9 melalui penambahan kapur untuk menaikkan pH dan H_2SO_4 untuk menurunkan pH. Pengaruh pengaturan pH awal pada proses tersebut pada parameter TSS dan kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap 50% AAT-clarifix

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa perbandingan dosis 50% AAT-clarifix pada pH awal 6,02; 7,77; 8; dan 9,69 menghasilkan pH akhir pada menit ke 45 masing-masing adalah 6,7; 7,74; 7,38; dan 8,69. Saat pH akhir sampel 6,7 mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan masing-masing adalah 1 mg TSS/L dan 15,5 NTU, atau sebesar 99,8% TSS dan 98% kekeruhan dari karakteristik awal. Fe dan Mn yang tersisa pada proses tersebut adalah 0,07 mg Fe/L dan 0,2 mg Mn/L.



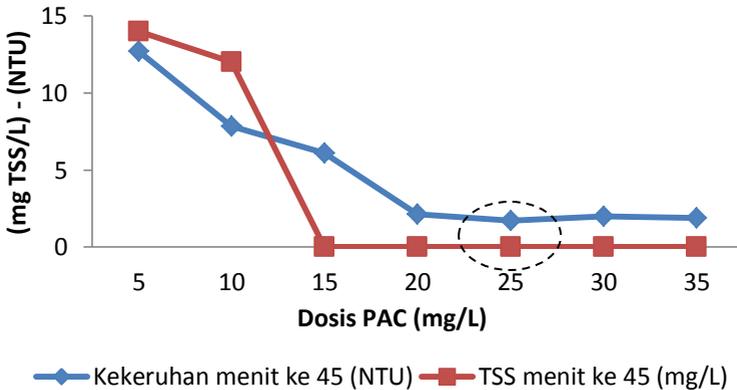
Gambar 4.13 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap 75% AAT-clarifix

Sedangkan pada Gambar 4.13, perbandingan 75% AAT-clarifix pada pH awal 6,07; 7,56; 8,01; dan 9,3 menghasilkan pH akhir pada menit ke 45 masing-masing adalah 6,97; 7,59; 7,83; dan 8,13. Saat pH akhir sampel 6,97 mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan masing-masing hingga 2 mg TSS/L dan 2,61 NTU atau sebesar 99,7% TSS dan 99,7% kekeruhan dari karakteristik awal. Fe dan Mn yang tersisa dari proses tersebut adalah 0,07 mg Fe/L dan 0,3 mg Mn/L. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-6 dan A-8.

Analisis statistik menunjukkan bahwa pada perbandingan 50% AAT saat pH akhir 6,7 menghasilkan efisiensi penyisihan kekeruhan yang signifikan dibandingkan dengan ketiga pH lainnya. Namun pada perbandingan 75% AAT saat pH akhir 6,97 dan 7,59 tidak menghasilkan efisiensi penyisihan yang signifikan. Oleh karena itu, pH optimum untuk proses koagulasi flokulasi dua tahap dengan koagulan AAT dan clarifix adalah berada pada kisaran pH 6,5 hingga 7,5.

4.3.4 Koagulasi-Flokulasi Dua Tahap (50% AAT-PAC)

Pada penelitian ini, koagulasi flokulasi dua tahap dua koagulan dengan menggunakan AAT dari hasil pelarutan material PAF dan air *run off* pertambangan dari hasil pelarutan material NAF. Koagulan AAT dan PAC digunakan sebagai pembandingan kemampuan AAT dan clarifix. Karakteristik awal pH, Fe, dan Mn dari AAT hasil pelarutan masing-masing adalah pH 2,1; 3,02 mg Fe/L; dan 3,74 mg Mn/L. Sedangkan karakteristik awal sampel air *run off* pertambangan hasil pelarutan yang meliputi pH, TSS, dan kekeruhan masing-masing adalah 8,2; 736 mg TSS/L; dan 888 NTU. Perbandingan dosis 50% AAT digunakan pada penelitian ini yang berarti 40 mL/L AAT sebagai koagulan pertama dan PAC sebagai koagulan kedua. Variasi dosis PAC adalah 5 mg/L; 10 mg/L; 15 mg/L; 20 mg/L; 25 mg/L; 30 mg/L; dan 35 mg/L. Nilai TSS dan kekeruhan pada koagulasi flokulasi dua tahap 50% AAT dan PAC dapat dilihat pada Gambar 4.14.



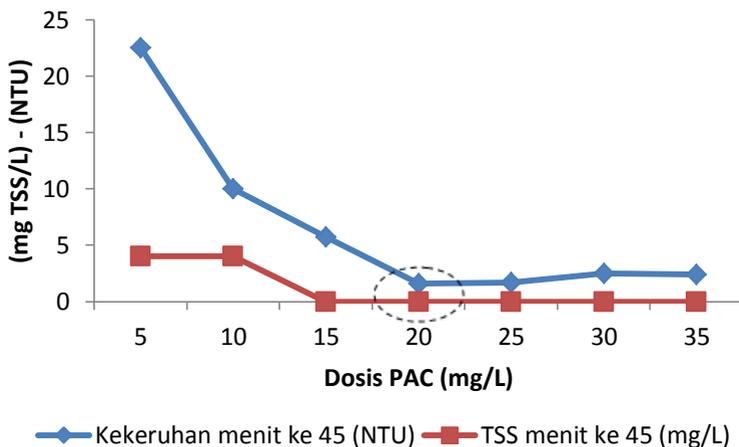
Gambar 4.14 TSS dan Kekeruhan 50% AAT – PAC

Berdasarkan Gambar 4.14, TSS dan kekeruhan terendah terdapat pada 50% AAT dengan 25 mg/L PAC. Pada dosis tersebut, nilai TSS dan kekeruhan pada pengendapan menit ke 45 masing-masing adalah 0 mg TSS/L dan 1,7 NTU atau sebesar 100% TSS dan 99,8% kekeruhan dengan pH akhir 7,4. Fe dan

Mn yang tersisa dalam proses tersebut adalah 0,07 mg Fe/L dan 1,09 mg Mn/L. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-11.

4.3.5 Koagulasi-Flokulasi Dua Tahap (75% AAT-PAC)

Koagulasi flokulasi dua tahap dua jenis koagulan dengan perbandingan 75% AAT dan PAC. Digunakan perbandingan dosis 75% AAT yang berarti 60 mL/L AAT sebagai koagulan pertama dan variasi dosis PAC sebagai koagulan kedua, diantaranya adalah 5 mg/L; 10 mg/L; 15 mg/L; 20 mg/L; 25 mg/L; 30 mg/L; dan 35 mg/L. Nilai TSS dan kekeruhan pada koagulasi flokulasi dua tahap 75% AAT dan PAC dapat dilihat pada Gambar 4.15.



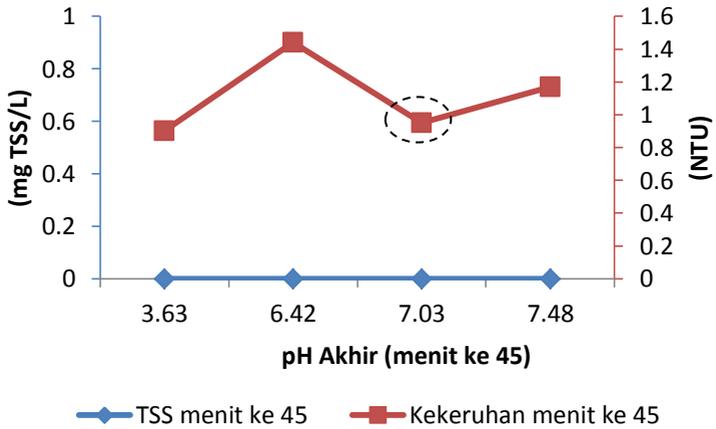
Gambar 4.15 TSS dan Kekeruhan 75% AAT – PAC

Berdasarkan Gambar 4.15, dosis 75% AAT-20 mg/L PAC mampu menurunkan TSS dan kekeruhan masing-masing hingga 0 mg TSS/L dan 1,61 NTU dengan pH akhir 6,95. Proses tersebut mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan sebesar 100% TSS dan 99,8% kekeruhan. Fe dan Mn yang tersisa dari proses tersebut 0,1 mg Fe/L dan 0,76 mg Mn/L. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-13.

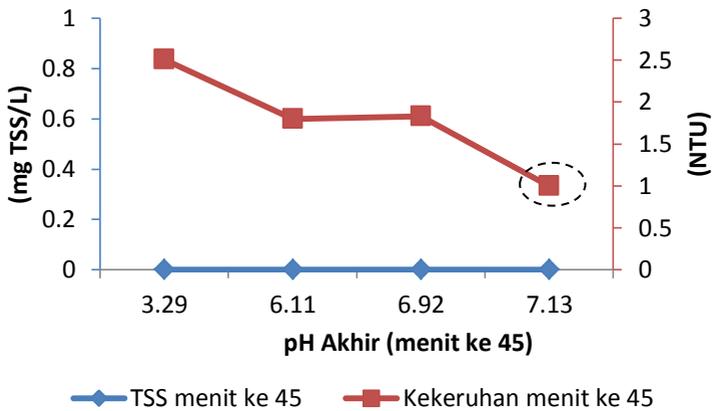
50% AAT – PAC dan 75% AAT – PAC menghasilkan nilai efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan yang sama yaitu 100% pada TSS dan 99,8% pada kekeruhan. Hal tersebut berarti variasi perbandingan dosis AAT dan variasi dosis PAC tidak memberikan perbedaan kemampuan penyisihan TSS dan kekeruhan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dari analisis statistik yang menunjukkan bahwa pada dosis PAC 20 mg/L sampai 35 mg/L di kedua perbandingan tidak menunjukkan perbedaan kemampuan yang signifikan. Demikian juga pada variasi perbandingan dosis AAT menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dengan nilai F yaitu 6,80 pada kekeruhan. Hasil analisis statistik selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-30.

4.3.6 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap (AAT-PAC)

Penentuan pH optimum dari proses koagulasi flokulasi dua tahap dengan menggunakan koagulan AAT dan PAC, dilakukan dengan melakukan pengaturan pH awal sampel menjadi 6, 7, 8, dan 9. Pengaturan pH sampel dilakukan pada dosis 50% AAT-25 mg/L PAC dan 75% AAT-20 mg/L PAC. Nilai TSS, kekeruhan, dan pH akhir tiap variasi pH awal sampel dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.



Gambar 4.16 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap 50% AAT-PAC



Gambar 4.17 pH Optimum Koagulasi Flokulasi Dua Tahap 75% AAT-PAC

Berdasarkan Gambar 4.16, koagulasi 50% AAT-25 mg/L PAC pada pH awal 6; 7; 8; dan 9 menghasilkan pH akhir pada menit ke 45 masing-masing adalah 3,63; 6,42; 7,03; dan 7,48. pH akhir 7,03 menghasilkan TSS dan kekeruhan terendah dengan nilai masing-masing adalah 0 mg/L TSS dan 0,95 NTU. Sehingga nilai efisiensi TSS dan kekeruhan adalah 100% dan 99,8% dari karakteristik awal sampel. Fe dan Mn yang tersisa dari proses tersebut adalah 0,03 mg Fe/L dan 0,04 mg Mn/L. Berdasarkan analisis statistik, pH awal 6, 7, 8, dan 9 tidak menghasilkan perbedaan kemampuan dalam menurunkan TSS dan kekeruhan secara signifikan dengan masing-masing pH akhir adalah 3,63; 6,42; 7,03; dan 7,48. Namun, pH awal 7, 8, dan 9 memiliki pH akhir dengan kisaran yang tidak terlalu jauh yaitu 6,42; 7,03; dan 7,48, sehingga pH optimum untuk proses 50% AAT-PAC adalah pada kisaran 6,5-7,5. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A-24.

Sedangkan pada Gambar 4.17, koagulasi 75% AAT-20 mg/L PAC pada pH awal 6; 7; 8; dan 9 menghasilkan pH akhir pada menit ke 45 masing-masing adalah 3,29; 6,11; 6,92; dan 7,13. Pada pH akhir 7,13 menghasilkan TSS dan kekeruhan terendah yaitu 0 mg TSS/L dan 1 NTU, sehingga efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan adalah 100% dan 99,7% dari karakteristik awal sampel. Fe dan Mn yang tersisa pada proses tersebut adalah sebesar 0,97 mg Fe/L dan 0,61 mg Mn/L. Seperti halnya pada perbandingan 50% AAT, pada perbandingan 75% ini, tidak dihasilkan perbedaan kemampuan dalam menurunkan TSS dan kekeruhan yang signifikan antar keempat pH awal. Tiga diantara pH awal tersebut menghasilkan pH akhir dengan kisaran yang berdekatan, yaitu 6,11; 6,92; dan 7,13. Sehingga pH optimum pada proses koagulasi flokulasi dua tahap dengan menggunakan 75% AAT-PAC adalah pada kisaran 6 hingga 7. Hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** Dari kedua proses tersebut 50% AAT – PAC dan 75% - AAT, maka pH optimum untuk koagulasi dua tahap dua koagulan (AAT-PAC) adalah pada kisaran 6-7,5.

4.4 Pengaruh Jenis AAT, Perbandingan Dosis AAT, dan Dosis Koagulan Kedua pada Koagulasi Dua Tahap

Penggunaan jenis AAT yang berbeda dalam proses koagulasi dua tahap akan menghasilkan hasil yang berbeda pula. Perbedaan yang dimaksud adalah nilai pH AAT sebagai akibat dari perbedaan proses pelarutannya. Hal tersebut ditunjukkan pada koagulasi flokulasi dua tahap satu jenis koagulan (AAT-AAT) pada penelitian A dan B. Penelitian A menggunakan AAT dari pit Pelikan dengan pH 3,04 sedangkan penelitian B menggunakan AAT dari pelarutan material PAF dengan pH 2,1. Pengaruh perbedaan jenis AAT dalam koagulasi AAT-AAT pada penelitian A dan B diuji menggunakan analisis statistik manova. Analisis tersebut membandingkan variasi jenis AAT dengan variasi perbandingan dosis AAT yaitu 100:0, 75:25, dan 50:50 dalam koagulasi AAT-AAT pada penelitian A dan B.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa variasi jenis AAT memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan variasi perbandingan dosis AAT dalam menurunkan TSS dan kekeruhan. Hal tersebut dibuktikan melalui nilai signifikansi jenis AAT <0.05 , yaitu 0,00 untuk parameter TSS dan kekeruhan. Sedangkan nilai signifikansi dari variasi perbandingan adalah 0,144 dan 0,302 untuk parameter TSS dan kekeruhan. Interaksi antara variasi tersebut, yaitu jenis AAT dan perbandingan menghasilkan nilai signifikansi 0,330 dan 0,637 untuk parameter TSS dan kekeruhan. Perbedaan jenis AAT yang memberikan pengaruh terhadap efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan disebabkan oleh perbedaan jenis pelarut. AAT penelitian A berasal dari material tambang pit Pelikan yang terlarut oleh air hujan dan asam organik dari tanah, asam organik didominasi oleh asam lemah. Sedangkan AAT penelitian B berasal dari pelarutan material tambang dengan asam kuat H_2SO_4 . Perbedaan komposisi tersebut akan menimbulkan perbedaan dari proses reaksinya, AAT penelitian B akan lebih cepat menurunkan alkalinitas dari air sampel dibanding AAT penelitian A.

Pada koagulasi dua tahap dua jenis koagulan, perbandingan 50% AAT dan 75% AAT memberikan perbedaan yang signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada saat koagulasi AAT-clarifix menghasilkan nilai signifikansi 0,000 untuk parameter TSS dan kekeruhan dengan masing-masing nilai F adalah 205,755 dan 240,608. Variasi dosis dan interaksi antara perbandingan AAT dan dosis memberikan nilai signifikansi 0,000 pada parameter TSS dan kekeruhan. Hal yang sama juga ditunjukkan pada koagulasi AAT-PAC, perbandingan AAT memberikan nilai signifikansi 0,002 dan 0,014 untuk parameter TSS dan kekeruhan. Variasi dosis PAC memberikan nilai signifikansi 0,000 untuk TSS dan kekeruhan. Sedangkan interaksi antara perbandingan AAT dan dosis PAC menunjukkan hasil yang tidak signifikan pada parameter TSS, yaitu 0,89 dan nilai yang signifikan pada parameter kekeruhan yaitu 0,05.

Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah AAT yang ditambahkan sebagai koagulan pertama dan utama akan memberikan pengaruh besar terhadap pembentukan flok pertama. Semakin besar dosis yang diberikan maka akan menghasilkan efisiensi penyisihan yang lebih baik. Kemudian adanya clarifix dan PAC sebagai koagulan kedua, memegang peranan tersendiri dari AAT. Clarifix dan PAC yang merupakan koagulan bestruktur polimer dan berperan sebagai koagulan aid. Menurut Hendricks (2006), polimer sebagai koagulan aid digunakan sebagai penunjang koagulan utama yang ditambahkan berurutan dengan koagulan utama, keuntungannya adalah dapat mengurangi dosis koagulan utama. PAC memiliki muatan positif yang besar dan mampu mengikat dengan kuat (Yong-qiang, *et al.*, 2003), sehingga dalam proses koagulasi dua tahap dua koagulan, PAC mampu mengikat flok-flok yang terbentuk oleh koagulan pertama, oleh karena itu keberadaan koagulan kedua tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan TSS dan kekeruhan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Koagulasi dua tahap mampu menghasilkan efisiensi penyisihan TSS, kekeruhan, dan nilai pH effluent lebih tinggi dibandingkan dengan koagulasi satu tahap.
2. Koagulasi flokulasi dua tahap (AAT-AAT) untuk AAT dengan pH 3,04 pada perbandingan 75:25, mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan masing-masing adalah 99,4% dan 99,6% pada pH optimum 7,86.
3. Koagulasi 75% AAT-0,04 mL/L clarifix mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan masing-masing hingga 99,7% dan 96,3%, pH optimum pada pH 6,5-7,5.
4. Koagulasi 75% AAT-20 mg/L PAC mampu menyisihkan TSS dan kekeruhan masing-masing hingga 100% dan 99,8%, pH optimum pada pH 6-7,5.
5. Jenis AAT berpengaruh signifikan terhadap efisiensi TSS dan kekeruhan pada koagulasi AAT-AAT. Pada koagulasi AAT-clarifix, perbandingan dosis AAT berpengaruh lebih besar dibandingkan dengan variasi dosis clarifix. Sedangkan pada koagulasi AAT-PAC, dosis PAC berpengaruh lebih besar dibandingkan dengan variasi perbandingan AAT.

5.2 Saran

1. Penelitian lanjutan mengenai jenis AAT yang digunakan dan pengaruhnya terhadap proses koagulasi flokulasi.
2. Penelitian lanjutan mengenai koagulasi dua tahap satu koagulan dengan variasi perbandingan dosis yang lebih beragam.
3. Penelitian lanjutan mengenai perbandingan penggunaan koagulan lainnya selain clarifix dan PAC.
4. Perencanaan koagulasi flokulasi dengan pengadukan secara hidrolis untuk aplikasi lebih lanjut.

" Halaman ini sengaja dikosongkan "

LAMPIRAN A DATA PENELITIAN

A-1. Karakterisasi AAT dengan Kapur

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
AAT Pelikan	2,94	5			1,11			3,6			13			

pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			mg/L Kapur
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
2,94	2,98	2,97	2,96	7	4	2	1,15	0,839	0,815	-	-	2,76	-	-	6,1	0
5,19	5,62	5,61	5,93	12	10	10	8,48	7,1	5,16	-	-	1,43	-	-	6,4	610
6,15	6,98	7,07	6,03	4	7	1	5,27	4,23	1,89	-	-	0,85	-	-	6,4	620
7,3	7,72	7,53	7,83	9	7	1	5,83	2,29	1,42	-	-	0,84	-	-	6	1000
8,72	8,35	8,46	8,41	11	5	3	6,89	5,47	4,52	-	-	0,44	-	-	5,1	1050
9,01	8,67	8,8	8,77	3	10	2	4,72	1,17	1,95	-	-	0,05	-	-	4,7	1190

A-2. Karakterisasi AAT dengan NaOH

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
AAT (PAF)	1,69	328	71,6	3,02	3,74	

pH (0')	pH 45'	Kekeruhan 45' (NTU)	TSS 45' (mg/L)	Fe 45' (mg/L)	Mn 45' (mg/L)	Dosis NaOH (mL/L)
1,69	1,69	71,6	328	3,02	3,74	0
2	2,27	99,5	180	2,97	2,98	20
3,04	3,23	59,7	140	2,94	2,27	23,8
4,25	4,46	38,4	180	1,52	0,92	24,3
6,29	5,63	19,1	212	0,67	2,01	25,85
7,05	7,21	11,3	180	0,16	1,94	25,9
8,11	7,33	14,2	180	0,15	1,06	26,1
9,04	9,18	6,8	164	0,2	0,63	26,5

A-3. Penelitian A (AAT-AAT)

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
AAT Pelikan	3,04	0	1,6	3,6	13	
Air <i>run off</i>	7,69	650	989	-	-	

Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
Blanko	8,07	8,07	8,15	670	683	705	946	929	928	-	-	-	-	-	-	
50:50	7,32	7,39	7,34	44	31	25	43,4	31	24,2	-	-	-	-	-	-	
75:25	7,34	7,44	7,25	40	22	20	37,1	20,2	20,4	0,22	0,13	0,11	1,7	1	1,6	
100:0	7,38	7,36	7,3	74	59	44	77,1	57,1	44,9	-	-	-	-	-	-	

A-4. Penelitian A (AAT-AAT) dengan Pengaturan pH

Jenis Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
Air run off	8,01			644			911			-			-			
AAT Pelikan	3,2			0			1,14			2,22			4,5			
pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
6	6,36	6,18	6,18	27	19	18	24,9	16,2	14,6	-	-	-	-	-	-	
7	7,17	7,14	7,16	28	17	24	27,6	17,4	26,4	-	-	-	-	-	-	
8	7,79	7,49	7,43	36	26	24	35	22,9	24,5	-	-	-	-	-	-	
9	7,85	7,85	7,86	19	6	4	14,4	8,24	3,33	0,1	0,04	0,06	0,1	0,2	0,2	

A-5. Penelitian A (50% AAT-Clarifix)

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	7,69	650	989	-	-	
AAT Pelikan	3,04	0	1,6	3,6	13	

Dosis clarifix (mL/L)	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
0.04	7,5	7,9	7,59	88	69	61	91,4	80	66,4	-	-	-	-	-	-	
0.06	8,01	7,59	7,54	52	40	36	55	43,4	40,7	-	-	-	-	-	-	
0.08	7,55	7,54	7,51	31	27	23	33,8	28,5	26,2	-	-	-	-	-	-	
0.1	7,77	8,16	8,19	9	10	9	15,6	15,6	15,2	0,1	0,08	0,08	0,7	0,7	1,1	
0.15	7,68	7,61	7,59	14	14	14	21,9	22,3	22,9	-	-	-	-	-	-	
0.2	7,94	7,73	7,95	15	16	16	24,8	24,7	24,6	-	-	-	-	-	-	

A-6. Penelitian A (50% AAT-0,1 mL/L Clarifix) dengan Pengaturan pH

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	7,77	584	784	-	-	
AAT Pelikan	3,22	1	1,23	1,52	3,5	

pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
6	6,68	6,73	6,7	4	9	1	15,9	16	15,5	0,07	0,07	0,07	0,3	0,2	0,2	
7	7,65	7,63	7,74	13	11	10	22,9	23	22,4	-	-	-	-	-	-	
8	7,52	7,65	7,58	18	14	13	27,8	27	27,2	-	-	-	-	-	-	
9	8,7	8,7	8,69	33	31	29	46,3	45,4	43	-	-	-	-	-	-	

A-7. Penelitian A (75% AAT-Clarifix)

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	7,84	709	879	-	-	
AAT Pelikan	3,19	1,51	1	2,31	3,5	

Dosis Clarifix (mL/L)	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
0.01	7,38	7,39	7,36	4	4	3	15,6	10,5	9,62	-	-	-	-	-	-	
0.02	7,38	7,37	7,36	21	15	9	27,9	19,5	15,3	-	-	-	-	-	-	
0.03	7,44	7,35	7,35	5	4	2	11,3	9,48	8,94	-	-	-	-	-	-	
0.04	7,49	7,34	7,35	2	1	0	7,7	6,69	6,21	0,28	0,22	0,12	0,5	0,4	0	
0.06	7,27	7,35	7,32	8	9	8	8,76	9,64	9,56	-	-	-	-	-	-	
0.08	7,27	7,37	7,37	13	10	10	11,8	12,3	11,6	-	-	-	-	-	-	
0.1	8,01	7,32	7,35	2	3	1	8,36	8,43	8,07	-	-	-	-	-	-	
0.15	7,31	7,28	7,33	9	11	8	17,6	17,9	17,9	-	-	-	-	-	-	
0.2	7,69	7,32	7,36	11	13	12	17,2	20,5	19,5	-	-	-	-	-	-	

A-8. Penelitian A (75% AAT-0,04 mL/L Clarifix) dengan Pengaturan pH

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	8,21	670	866	-	-	
AAT Pelikan	3,18	9	4,41	1,92	6	

pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
6	6,86	6,9	6,97	2	1	2	4,39	3,61	2,61	0,12	0,09	0,07	0,1	0,3	0,3	
7	7,56	7,56	7,59	4	2	3	7,37	6,38	4,49	-	-	-	-	-	-	
8	7,67	7,77	7,83	6	6	5	9,97	9,48	4,08	-	-	-	-	-	-	
9	8,11	8,09	8,13	6	5	5	9,97	9,57	3,69	-	-	-	-	-	-	

A-9. Penelitian B (AAT-AAT)

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	8,12	736	888	-	-	
AAT (PAF)	2,1	-	-	3,02	3,74	

Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
Blanko	8.23	8.28	8.47	584	468	508	818	782	720	-	-	-	-	-	-	
50:50	6.53	6.53	6.51	148	116	100	196	171	157	2,25	1,98	1,55	2,98	2,56	1,89	
75:25	6.45	6.43	6.51	176	180	116	231	173	161	-	-	-	-	-	-	
100:0	6.43	6.35	6.31	200	124	144	235	176	168	-	-	-	-	-	-	

A-10. Penelitian B (AAT-AAT) dengan Pengaturan pH

Jenis Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
Air run off	8,12			736			888			-			-			
AAT (PAF)	2,1			-			-			3,02			3,74			
pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
6	3.19	3.14	3.12	44	12	4	74.8	53.8	37.7	-	-	-	-	-	-	
7	4.52	4.36	4.37	16	8	4	88.8	70.8	48.4	-	-	-	-	-	-	
8	6.11	6.12	6.15	36	32	20	121	103	83.2	-	-	-	-	-	-	
9	6.38	6.44	6.46	68	44	20	125	81.7	61.7	2,1	1,89	1,45	3,24	2,96	1,5	

A-11. Penelitian B (50% AAT-PAC)

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	8,12	736	888	-	-	
AAT (PAF)	2,1	-	-	3,02	3,74	

Dosis PAC (mg/L)	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
5	6.92	7.01	6.98	24	20	14	20.7	13.9	12.7	-	-	-	-	-	-	
10	7.05	7.01	7.09	20	12	12	13.8	9.33	7.85	-	-	-	-	-	-	
15	7.18	7.17	7.19	12	8	0	8.83	7.31	6.11	-	-	-	-	-	-	
20	7.63	7.48	7.46	4	4	0	4.84	2.57	2.14	-	-	-	-	-	-	
25	7.55	7.47	7.4	4	0	0	2.85	2.06	1.7	0,21	0,11	0,07	1,56	1,24	1,09	
30	7.6	7.67	7.64	4	0	0	4.25	2.75	1.99	-	-	-	-	-	-	
35	7.71	7.7	7.7	4	0	0	3.01	1.94	1.87	-	-	-	-	-	-	

A-12. Penelitian B (50% AAT-25 mg/L PAC) dengan Pengaturan pH

Jenis Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
Air run off	8,12			400			442			-			-			
AAT (PAF)	2,1			-			-			3,02			3,74			
pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
6	3.57	3.61	3.63	4	4	0	2.29	1.5	0.9	-	-	-	-	-	-	
7	6.29	6.21	6.42	4	4	0	2.85	1.85	1.44	-	-	-	-	-	-	
8	7.17	6.76	7.03	4	0	0	1.55	1.58	0.95	0,12	0,07	0,03	1,22	1,08	0,04	
9	7.35	7.44	7.48	0	0	0	1.77	1.51	1.17	-	-	-	-	-	-	

A-13. Penelitian B (75% AAT-PAC)

Jenis Sampel	pH	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Ket
Air run off	8,12	736	888	-	-	
AAT (PAF)	2,1	-	-	3,02	3,74	

Dosis PAC (mg/L)	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
5	6.93	7.01	6.97	16	8	4	24.3	29.8	22.5	-	-	-	-	-	-	
10	6.82	6.8	6.83	8	4	4	17.2	12.8	10	-	-	-	-	-	-	
15	6.88	6.84	6.9	8	4	0	9.34	7.56	5.72	-	-	-	-	-	-	
20	6.96	6.95	6.95	4	0	0	5.23	2.05	1.61	0,17	0,15	0,1	0,95	0,8	0,76	
25	6.33	6.44	6.53	4	0	0	3.73	1.63	1.69	-	-	-	-	-	-	
30	6.6	6.67	6.87	0	0	0	2.69	2.73	2.5	-	-	-	-	-	-	
35	7.01	7.01	7	0	0	0	2.48	2.48	2.4	-	-	-	-	-	-	

A-14. Penelitian B (75% AAT-20 mg/L PAC) dengan Pengaturan pH

Jenis Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
Air run off	8,12			400			442			-			-			
AAT (PAF)	2,1			-			-			3,02			3,74			
pH Awal Sampel	pH			TSS (mg/L)			Kekeruhan (NTU)			Fe (mg/L)			Mn (mg/L)			Ket
	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	15'	30'	45'	
6	3.36	3.32	3.29	4	0	0	5.36	3.5	2.51	-	-	-	-	-	-	
7	5.78	5.85	6.11	0	0	0	2.87	1.72	1.8	-	-	-	-	-	-	
8	6.73	6.84	6.92	0	0	0	2.9	2.36	1.83	-	-	-	-	-	-	
9	7.09	7.11	7.13	0	0	0	1.43	1.36	1	0,13	0,12	0,097	0,75	0,73	0,61	

A-15. Analisis Statistik Pengaruh Perbandingan Dosis terhadap TSS dan Kekeruhan pada Penelitian A (AAT-AAT)

Tests of Between-Subjects Effects

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	2520.444 ^a	4	630.111	43.125	.002
	Kekeruhan	2735.618 ^b	4	683.904	33.496	.002
Intercept	TSS	14320.111	1	14320.111	980.084	.000
	Kekeruhan	14034.351	1	14034.351	687.359	.000
Perbandingan	TSS	1697.556	2	848.778	58.091	.001
	Kekeruhan	1911.002	2	955.501	46.798	.002
Waktu	TSS	822.889	2	411.444	28.160	.004
	Kekeruhan	824.616	2	412.308	20.194	.008

a. R Squared = .977 (Adjusted R Squared = .955)

b. R Squared = .971 (Adjusted R Squared = .942)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

Perbandingan	N	Subset	
		1	2
75:25	3	27.3333	
50:50	3	33.3333	
100:0	3		59.0000
Sig.		.247	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 14.611.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type

I error levels are not guaranteed.
 c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

Perbandingan	N	Subset	
		1	2
75:25	3	25.9000	
50:50	3	32.8667	
100:0	3		59.7000
Sig.		.256	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 Based on observed means.
 The error term is Mean Square(Error) = 20.418.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
 c. Alpha = .05.

A-16. Analisis Statistik Pengaruh Variasi pH Awal terhadap TSS dan Kekeruhan pada Perbandingan Dosis Optimum Penelitian A (AAT- AAT)

Tests of Between-Subjects Effects

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	853.333 ^a	5	170.667	22.588	.001
	Kekeruhan	808.642 ^b	5	161.728	15.175	.002
Intercept	TSS	5125.333	1	5125.333	678.353	.000
	Kekeruhan	4620.510	1	4620.510	433.548	.000
pHawal	TSS	572.667	3	190.889	25.265	.001
	Kekeruhan	601.040	3	200.347	18.799	.002
Waktu	TSS	280.667	2	140.333	18.574	.003
	Kekeruhan	207.602	2	103.801	9.740	.013

a. R Squared = .950 (Adjusted R Squared = .908)

b. R Squared = .927 (Adjusted R Squared = .866)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	2
9	3	9.6667	
6	3		21.3333
7	3		23.0000
8	3		28.6667
Sig.		1.000	.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7.556.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	2
9	3	8.6567	
6	3		18.5667
7	3		23.8000
8	3		27.4667
Sig.		1.000	.058

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 10.657.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-17. Analisis Statistik Pengaruh Variasi Dosis Clarifix terhadap TSS dan Kekeruhan pada Penelitian A (50% AAT-clarifix)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS 8849.889 ^a	7	1264.270	37.051	.000
	Kekeruhan 8450.091 ^b	7	1207.156	43.491	.000
Intercept	TSS 16440.889	1	16440.889	481.824	.000
	Kekeruhan 23682.134	1	23682.134	853.209	.000
Dosis	TSS 8634.444	5	1726.889	50.609	.000
	Kekeruhan 8267.289	5	1653.458	59.570	.000
Waktu	TSS 215.444	2	107.722	3.157	.087
	Kekeruhan 182.801	2	91.401	3.293	.080

a. R Squared = .963 (Adjusted R Squared = .937)

b. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .946)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

Dosis	N	Subset			
		1	2	3	4
0.1	3	9.3333			
0.15	3	14.0000	14.0000		
0.2	3	15.6667	15.6667		
0.08	3		27.0000	27.0000	
0.06	3			42.6667	
0.04	3				72.6667
Sig.		.765	.153	.067	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 34.122.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

Dosis	N	Subset		
		1	2	3
0.1	3	15.4667		
0.15	3	22.3667		
0.2	3	24.7000		
0.08	3	29.5000		
0.06	3		46.3333	
0.04	3			79.2667
Sig.		.069	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 27.757.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

A-18. Analisis Statistik Pengaruh Variasi pH Awal terhadap TSS dan Kekeruhan pada Dosis Clarifix Optimum Penelitian A (50% AAT-clarifix)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	TSS	1157.167 ^a	5	231.433	49.890	.000
	Kekeruhan	1388.782 ^b	5	277.756	476.381	.000
Intercept	TSS	2883.000	1	2883.000	621.485	.000
	Kekeruhan	9207.480	1	9207.480	15791.771	.000
pHawal	TSS	1125.667	3	375.222	80.886	.000
	Kekeruhan	1385.767	3	461.922	792.244	.000
Waktu	TSS	31.500	2	15.750	3.395	.103
	Kekeruhan	3.015	2	1.508	2.586	.155

a. R Squared = .977 (Adjusted R Squared = .957)

b. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

pHawal	N	Subset		
		1	2	3
6	3	4.6667		
7	3		11.3333	
8	3		15.0000	
9	3			31.0000
Sig.		1.000	.258	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 4.639.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I

error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

pHawal	N	Subset			
		1	2	3	4
6	3	15.8000			
7	3		22.7667		
8	3			27.3333	
9	3				44.9000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .583.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-19. Analisis Statistik Pengaruh Variasi Dosis Clarifix terhadap TSS dan Kekeruhan pada Penelitian A (75% AAT-clarifix)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	TSS	516.583 ^a	9	57.398	12.671	.000
	Kekeruhan	574.487 ^b	9	63.832	9.870	.000
Intercept	TSS	1536.000	1	1536.000	339.091	.000
	Kekeruhan	4347.042	1	4347.042	672.171	.000
Dosis	TSS	487.333	7	69.619	15.369	.000
	Kekeruhan	551.124	7	78.732	12.174	.000
Waktu	TSS	29.250	2	14.625	3.229	.070
	Kekeruhan	23.363	2	11.681	1.806	.201

a. R Squared = .891 (Adjusted R Squared = .820)

b. R Squared = .864 (Adjusted R Squared = .776)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

Dosis	N	Subset			
		1	2	3	4
0.04	3	1.0000			
0.01	3	3.6667	3.6667		
0.03	3	3.6667	3.6667		
0.06	3		8.3333	8.3333	
0.15	3		9.3333	9.3333	9.3333
0.08	3			11.0000	11.0000
0.2	3			12.0000	12.0000
0.02	3				15.0000

Sig.	.778	.080	.453	.080
------	------	------	------	------

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4.530.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

Dosis	N	Subset		
		1	2	3
0.04	3	6.8667		
0.06	3	9.3200		
0.03	3	9.9067		
0.08	3	11.9000	11.9000	
0.01	3	11.9067	11.9067	
0.15	3		17.8000	17.8000
0.2	3		19.0667	19.0667
0.02	3			20.9000
Sig.		.300	.057	.799

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 6.467.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- c. Alpha = .05.

A-20. Analisis Statistik Pengaruh Variasi pH Awal terhadap TSS dan Kekeruhan pada Dosis Clarifix Optimum Penelitian A (75% AAT-clarifix)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	TSS	35.083 ^a	5	7.017	22.964	.001
	Kekeruhan	77.375 ^b	5	15.475	8.413	.011
Intercept	TSS	184.083	1	184.083	602.455	.000
	Kekeruhan	476.406	1	476.406	258.994	.000
pHawal	TSS	32.917	3	10.972	35.909	.000
	Kekeruhan	36.448	3	12.149	6.605	.025
Waktu	TSS	2.167	2	1.083	3.545	.096
	Kekeruhan	40.926	2	20.463	11.125	.010

a. R Squared = .950 (Adjusted R Squared = .909)

b. R Squared = .875 (Adjusted R Squared = .771)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	2
6	3	1.6667	
7	3	3.0000	
9	3		5.3333
8	3		5.6667
Sig.		.091	.878

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .306.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	2
6	3	3.5367	
7	3	6.0800	6.0800
9	3		7.7433
8	3		7.8433
Sig.		.201	.448

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1,839.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-21. Analisis Statistik Pengaruh Perbandingan Dosis terhadap TSS dan Kekeruhan pada Penelitian B (AAT-AAT)

Tests of Between-Subjects Effects

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	7089.778 ^a	4	1772.444	3.111	.149
	Kekeruhan	6355.333 ^b	4	1588.833	14.102	.013
Intercept	TSS	188935.111	1	188935.111	331.594	.000
	Kekeruhan	309136.000	1	309136.000	2743.811	.000
Perbandingan	TSS	2499.556	2	1249.778	2.193	.227
	Kekeruhan	544.667	2	272.333	2.417	.205
Waktu	TSS	4590.222	2	2295.111	4.028	.110
	Kekeruhan	5810.667	2	2905.333	25.787	.005

a. R Squared = .757 (Adjusted R Squared = .513)

b. R Squared = .934 (Adjusted R Squared = .868)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

Perbandingan	N	Subset	
		1	
50:50	3	121.3333	
100:0	3	156.0000	
75:25	3	157.3333	
Sig.		.267	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 569.778.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

Perbandingan	N	Subset
		1
50:50	3	174.6667
75:25	3	188.3333
100:0	3	193.0000
Sig.		.202

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 112.667.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-22. Analisis Statistik Pengaruh Variasi pH Awal terhadap TSS dan Kekeruhan pada Perbandingan Dosis Optimum Penelitian B (AAT- AAT)

Tests of Between-Subjects Effects

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	3644.000 ^a	5	728.800	7.772	.013
	Kekeruhan	7924.941 ^b	5	1584.988	30.384	.000
Intercept	TSS	7905.333	1	7905.333	84.299	.000
	Kekeruhan	75192.501	1	75192.501	1441.444	.000
pHawal	TSS	1945.333	3	648.444	6.915	.023
	Kekeruhan	3917.529	3	1305.843	25.033	.001
Waktu	TSS	1698.667	2	849.333	9.057	.015
	Kekeruhan	4007.412	2	2003.706	38.411	.000

a. R Squared = .866 (Adjusted R Squared = .755)

b. R Squared = .962 (Adjusted R Squared = .930)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	2
7	3	9.3333	
6	3	20.0000	20.0000
8	3	29.3333	29.3333
9	3		44.0000
Sig.		.152	.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 93.778.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.

Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

pHawal	N	Subset		
		1	2	3
6	3	55.4333		
7	3	69.3333	69.3333	
9	3		89.4667	89.4667
8	3			102.4000
Sig.		.187	.053	.227

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 52.165.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-23. Analisis Statistik Pengaruh Variasi Dosis PAC terhadap TSS dan Kekeruhan pada Penelitian B (50% AAT-PAC)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	TSS	1130.667 ^a	8	141.333	29.680	.000
	Kekeruhan	526.945 ^b	8	65.868	33.416	.000
Intercept	TSS	960.190	1	960.190	201.640	.000
	Kekeruhan	836.012	1	836.012	424.128	.000
Dosis	TSS	977.143	6	162.857	34.200	.000
	Kekeruhan	482.101	6	80.350	40.763	.000
Waktu	TSS	153.524	2	76.762	16.120	.000
	Kekeruhan	44.843	2	22.422	11.375	.002

a. R Squared = .952 (Adjusted R Squared = .920)

b. R Squared = .957 (Adjusted R Squared = .928)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

Dosis	N	Subset	
		1	2
25	3	1.3333	
30	3	1.3333	
35	3	1.3333	
20	3	2.6667	
15	3	6.6667	
10	3		14.6667
5	3		19.3333
Sig.		.114	.202

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 Based on observed means.
 The error term is Mean Square(Error) = 4.762.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.
 Type I error levels are not guaranteed.
 c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

Dosis	N	Subset		
		1	2	3
25	3	2.2033		
35	3	2.2733		
30	3	2.9967		
20	3	3.1833		
15	3		7.4167	
10	3		10.3267	
5	3			15.7667
Sig.		.973	.227	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 Based on observed means.
 The error term is Mean Square(Error) = 1.971.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.
 b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
 c. Alpha = .05.

A-24. Analisis Statistik Pengaruh Variasi pH Awal terhadap TSS dan Kekeruhan pada Dosis PAC Optimum Penelitian B (50% AAT-PAC)

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	33.333 ^a	5	6.667	3.000	.107
	Kekeruhan	2.814 ^b	5	.563	7.378	.015
Intercept	TSS	33.333	1	33.333	15.000	.008
	Kekeruhan	31.234	1	31.234	409.419	.000
pHawal	TSS	14.667	3	4.889	2.200	.189
	Kekeruhan	.814	3	.271	3.557	.087
Waktu	TSS	18.667	2	9.333	4.200	.072
	Kekeruhan	2.000	2	1.000	13.109	.006

a. R Squared = .714 (Adjusted R Squared = .476)

b. R Squared = .860 (Adjusted R Squared = .744)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	
9	3	0.0000	
8	3	1.3333	
6	3	2.6667	
7	3	2.6667	
Sig.		.228	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 2.222.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	
8	3	1.3600	
9	3	1.4833	
6	3	1.5633	
7	3	2.0467	
Sig.		.082	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .076.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-25. Analisis Statistik Pengaruh Variasi Dosis PAC terhadap TSS dan Kekeruhan pada Penelitian B (75% AAT-PAC)

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	TSS	275.810 ^a	8	34.476	6.962	.002
	Kekeruhan	1383.946 ^b	8	172.993	44.289	.000
Intercept	TSS	128.762	1	128.762	26.000	.000
	Kekeruhan	1383.324	1	1383.324	354.156	.000
Dosis	TSS	228.571	6	38.095	7.692	.001
	Kekeruhan	1358.295	6	226.382	57.958	.000
Waktu	TSS	47.238	2	23.619	4.769	.030
	Kekeruhan	25.651	2	12.825	3.284	.073

a. R Squared = .823 (Adjusted R Squared = .705)

b. R Squared = .967 (Adjusted R Squared = .945)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

Dosis	N	Subset	
		1	2
25	3	0.0000	
30	3	0.0000	
35	3	0.0000	
15	3	1.3333	
20	3	1.3333	
10	3	5.3333	5.3333
5	3		9.3333
Sig.		.125	.361

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4.952.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.

Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

Dosis	N	Subset		
		1	2	3
25	3	2.3500		
35	3	2.4533		
30	3	2.6400		
20	3	2.9633		
15	3	7.5400		
10	3		13.3333	
5	3			25.5333
Sig.		.080	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3.906.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-26. Analisis Statistik Pengaruh Variasi pH Awal terhadap TSS dan Kekeruhan pada Dosis PAC Optimum Penelitian B (75% AAT-PAC)

Tests of Between-Subjects Effects

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	6.667 ^a	5	1.333	1.000	.489
	Kekeruhan	13.703 ^b	5	2.741	8.743	.010
Intercept	TSS	1.333	1	1.333	1.000	.356
	Kekeruhan	68.354	1	68.354	218.051	.000
pHawal	TSS	4.000	3	1.333	1.000	.455
	Kekeruhan	9.893	3	3.298	10.520	.008
Waktu	TSS	2.667	2	1.333	1.000	.422
	Kekeruhan	3.810	2	1.905	6.077	.036

a. R Squared = .455 (Adjusted R Squared = .000)

b. R Squared = .879 (Adjusted R Squared = .779)

Homogeneous Subsets

TSS

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	
7	3	0.0000	
8	3	0.0000	
9	3	0.0000	
6	3	1.3333	
Sig.		.535	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1.333.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

Kekeruhan

Tukey HSD

pHawal	N	Subset	
		1	2
9	3	1.2633	
7	3	2.1300	
8	3	2.3633	2.3633
6	3		3.7900
Sig.		.176	.075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .313.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

A-27. Analisis Statistik Pengaruh Jenis AAT dan Perbandingan Dosis (AAT-AAT) terhadap TSS dan Kekeruhan

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	912.524 ^a	5	182.505	14.843	.000
	Kekeruhan	1308.321 ^b	5	261.664	35.436	.000
Intercept	TSS	136518.800	1	136518.800	11102.690	.000
	Kekeruhan	138029.585	1	138029.585	18692.698	.000
Jenis AAT	TSS	826.211	1	826.211	67.193	.000
	Kekeruhan	1281.867	1	1281.867	173.597	.000
Perbandingan	TSS	56.337	2	28.168	2.291	.144
	Kekeruhan	19.541	2	9.770	1.323	.302
Jenis AAT * Perbandingan	TSS	29.976	2	14.988	1.219	.330
	Kekeruhan	6.913	2	3.457	.468	.637

A-28. Analisis Statistik Pengaruh Jenis AAT dan Pengaturan pH Awal (AAT-AAT) terhadap TSS dan Kekeruhan

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	50.264 ^a	7	7.181	2.316	.078
	Kekeruhan	331.273 ^b	7	47.325	13.043	.000
Intercept	TSS	224195.139	1	224195.139	72318.388	.000
	Kekeruhan	214171.048	1	214171.048	59028.068	.000
Jenis AAT	TSS	.462	1	.462	.149	.705
	Kekeruhan	274.321	1	274.321	75.606	.000
pH awal	TSS	11.317	3	3.772	1.217	.336
	Kekeruhan	30.444	3	10.148	2.797	.074
Jenis AAT * pH awal	TSS	38.485	3	12.828	4.138	.024
	Kekeruhan	26.509	3	8.836	2.435	.102

a. R Squared = .503 (Adjusted R Squared = .286)

b. R Squared = .851 (Adjusted R Squared = .786)

A-29. Analisis Statistik Pengaruh Perbandingan AAT dan Dosis Clarifix terhadap TSS dan Kekeruhan

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	345.160 ^a	11	31.378	53.164	.000
	Kekeruhan	175.256 ^b	11	15.932	65.191	.000
Intercept	TSS	339434.412	1	339434.412	575098.661	.000
	Kekeruhan	341019.014	1	341019.014	1395363.201	.000
Perbandingan	TSS	121.440	1	121.440	205.755	.000
	Kekeruhan	58.803	1	58.803	240.608	.000
Dosis	TSS	92.412	5	18.482	31.314	.000
	Kekeruhan	43.790	5	8.758	35.835	.000
Perbandingan * Dosis	TSS	131.308	5	26.262	44.495	.000
	Kekeruhan	72.663	5	14.533	59.463	.000

a. R Squared = .961 (Adjusted R Squared = .943)

b. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .953)

A-30. Analisis Statistik Pengaruh Perbandingan AAT dan Dosis PAC terhadap TSS dan Kekeruhan

Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	TSS	24.614 ^a	13	1.893	8.224	.000
	Kekeruhan	23.804 ^b	13	1.831	28.569	.000
Intercept	TSS	414426.613	1	414426.613	1800121.804	.000
	Kekeruhan	413207.686	1	413207.686	6447016.163	.000
Perbandingan	TSS	2.675	1	2.675	11.620	.002
	Kekeruhan	.436	1	.436	6.805	.014
Dosis	TSS	19.077	6	3.179	13.811	.000
	Kekeruhan	21.807	6	3.635	56.708	.000
Perbandingan * Dosis	TSS	2.862	6	.477	2.072	.089
	Kekeruhan	1.560	6	.260	4.058	.005

a. R Squared = .792 (Adjusted R Squared = .696)

b. R Squared = .930 (Adjusted R Squared = .897)

LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN



Sump Pit Kangguru



Sump Pit Pelikan



Air Asam Tambang Pit Pelikan



Hasil Koagulasi Dua Tahap AAT-AAT (Penelitian A)



Hasil Koagulasi Dua Tahap AAT-Clarifix (1)



Hasil Koagulasi Dua Tahap AAT-Clarifix (2)



Vacuum Pump



Neraca Analitik



pH Meter

LAMPIRAN C PROSEDUR ANALISIS

1. pH

Elektrometri

Alat dan bahan:

1. pH meter
2. *Magnetic stirrer*

Prosedur analisis:

1. Meletakkan sampel di atas magnetic stirrer.
2. Meletakkan sensor pH meter ke dalam sampel, tunggu hingga pH meter menunjukkan nilai pH.

2. *Total Suspended Solid (TSS)*

Spektrofotometri

Alat dan bahan:

1. Spektrofotometer

Prosedur analisis:

1. Sampel sebanyak 10 ml dimasukkan dalam kuvet.
2. Meletakkan kuvet dalam spektrofotometer dengan panjang gelombang 810 nm.

Gravimetri

Alat dan bahan:

1. Vacuum pump
2. Oven
3. Desikator
4. Neraca analitik
5. Kertas saring

Prosedur analisis:

1. Disiapkan kertas saring untuk di oven dalam suhu 104°C selama 1 jam, kemudian di letakkan dalam desikator selama 15 menit, kertas ditimbang dengan neraca analitik dan catat berat awal kertas saring (So).
2. Meletakkan kertas saring di atas kasa filter vaccum pump, merangkai vaccum pump dan menuangkan 25 ml sampel dalam vaccum pump.
3. Setelah sampel terlihat tersaring sempurna, kertas saring diambil dan di oven dalam suhu 105°C selama 1 jam, kemudian diletakkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang berat akhir kertas saring (S).
4. Dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$TSS (mg/L) = \frac{(S - So) \times 10^6}{Volume\ sampel}$$

3. Kekeruhan

Turbidimetri

Alat dan bahan:

1. Turbidimeter

Prosedur analisis:

1. Sampel sebanyak ± 25 ml dimasukkan dalam kuvet.
2. Meletakkan kuvet ke dalam turbidimeter.

4. Logam Fe

Spektrofotometri

Alat dan bahan:

1. Spektrofotometer
2. Phenantrolin

Prosedur analisis:

1. Sampel sebanyak 10 ml dimasukkan dalam kuvet spektrofotometer dan diatur sebagai blank atau "0".

2. Kuvet diambil, dimasukkan phenantrolin sebanyak x gram, kocok dan diamkan selama 3 menit.
3. Kuvet dimasukkan kembali dalam spektrofotometer 510 nm dan dilakukan pembacaan dalam mg Fe/L.

Phenanthroline

Alat dan bahan:

1. Spektrofotometer
2. Pipet volumetric
3. Propipet
4. Pemanas
5. HCL pekat
6. Hydroxilamine
7. Ammonium acetate buffer
8. Phenanthroline

Prosedur analisis:

1. Disiapkan sampel sebanyak 25 mL. Ditambahkan 1mL HCL pekat dan 0,5 mL hydroxilamine.
2. Sampel dipanaskan hingga volumenya menjadi 15-20 mL.
3. Ditambahkan 5 mL ammonium acetate buffer dan 1 mL phenantrolin.
4. Pembuatan blanko dilakukan dengan menambahkan 5 mL ammonium acetate buffer dan 1 mL phenantrolin ke dalam akuades 25 mL.
5. Dilakukan pembacaan dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 nm dan didapatkan nilai absorbansinya.
6. Dilakukan perhitungan konsentrasi dengan memasukkan nilai absorbansi ke dalam persamaan kurva kalibrasi.

5. Logam Mn

Spektrofotometri

Alat dan bahan:

1. Spektrofotometer

2. Manganese citrate buffer
3. Sodium periodate

Prosedur analisis:

1. Sampel sebanyak 10 ml dimasukkan dalam kuvet spektrofotometer dan **diatur sebagai blank atau "0"**.
2. Kuvet diambil, dimasukkan manganese citrate buffer lalu kocok hingga terlarut.
3. Ditambahkan sodium periodate lalu kocok hingga terlarut dan diamkan selama 2 menit.
4. Dilakukan pembacaan konsentrasi Mn dalam mg/L dengan spektrofotometer.

Persulfate

Alat dan bahan:

1. Spektrofotometer
2. Pipet volumetric
3. Propipet
4. Pipet tetes
5. Pemanas
6. Spatula
7. Asam nitrat pekat
8. Larutan AgNO_3
9. Kristal $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$

Prosedur analisis:

1. Disiapkan sampel sebanyak 25 mL. Ditambahkan asam nitrat pekat sebanyak 3 tetes.
2. Ditambahkan larutan AgNO_3 dengan titrasi hingga warna sampel menjadi keruh dan terdapat endapan putih.
3. Sampel dipanaskan dan ditambahkan 1 spatula kristal $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ sebelum sampel mendidih.
4. Setelah sampel dingin, dilakukan pembacaan dengan spektrofotometer 540 nm dan didapatkan nilai absorbansinya.
5. Dilakukan perhitungan konsentrasi Mn dengan memasukkan nilai absorbansi tersebut kedalam persamaan kurva kalibrasi.