

Optimasi Koagulan dan Flokulan pada Proses Water Treatment Di PLTU Palabuhanratu

Septiar Agung Wicaksana¹, Lela Mukmilah Yuningsih², Reni Mulyani³

Kimia, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R. Syamsudin SH No, 50 Kota Sukabumi
Kimia, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R. Syamsudin SH No, 50 Kota Sukabumi
Kimia, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R. Syamsudin SH No, 50 Kota Sukabumi
¹tiarwicak@gmail.com

Abstrak — Water Treatment Plant adalah unit proses pengolahan air yang berada di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Palabuhanratu dimana terdapat 4 tahap pengolahan yaitu penyaringan, penjernihan, penghilangan garam dan demineralisasi. Pada proses penjernihan air yaitu pada tanki klarifier nilai kekeruhan berada di atas standar >5 NTU yang melebihi standar Manual Book China Huadian Power Plant Palabuhanratu hal ini menyebabkan beban proses selanjutnya menjadi lebih berat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai optimum koagulan dan flokulan dengan sistem batch eliminasi sampel. Koagulan yang digunakan adalah Poly Aluminium Chlorida dan flokulan yang digunakan adalah Poly Akril Amid. Sampel air laut di analisa sebelum optimasi dan sesudah optimasi dengan turbidity meter, Spektrofotometer Uv-Vis, pH meter dan TDS meter. Hasil optimum didapatkan nilai turbidity/kekeruhan 1.49 NTU dengan kombinasi koagulan PAC dengan dosis 50 mg/L, flokulan PAM dengan dosis 1 mg/L dan kecepatan pengadukan pada 110 rpm.

Kata kunci—Water Treatment; Koagulasi; Flokulasi

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan uap air demineralisasi sebagai media penggerak turbin untuk menghasilkan energy listrik. Air demineralisasi harus memenuhi standar yaitu tidak mengandung garam, mineral logam dan oksige. Sistem pengolahan air laut melalui beberapa tahap kompleks yaitu penyaringan, penjernihan, penghilangan garam dan demineralisasi. Pada proses penjernihan ada salah satu tahap penting yaitu koagulasi dan flokulasi air laut klarifier. [5] Klarifer merupakan wadah yang berfungsi untuk memisahkan flok yang terbentuk selama proses koagulasi dan flokulasi. Klarifier ini dapat dirancang dalam berbagaibentuk seperti *inclined plate (lamella)*, *rectangular*, atau *circular clarifier*. Tujuan dari penggunaan alat ini adalah untuk menyaring air baku yang keruh denganmelakukan koagulasi dan flokulasi dengan standar kekeruhan hasil keluaran < 5 NTU [1].

Koagulasi adalah proses penambahan bahan kimia yang disebut koagulan ke dalam air untuk membentuk mikroflokk atau gumpalan yang lebih besardari koloid. Koagulan yang digunakan adalah PolyAluminium Chloride $Aln(OH)mCl_{3n-m}$ (PAC) yaitu garam khusus dari senyawa alumunium chloride yang mampu memberikan daya koagulasi lebih kuat dibandingkan garam alumunium dan ferric lainnya [5]. Setelah proses koagulasi, tahap selanjutnya adalah flokulasi. Flokulasi adalah proses pembentukan makroflokk yang lebih besar dari partikel-partikel yang telah di koagulasi (mikroflokk). Dalam proses flokulasi, koagulan yang telah ditambahkan ke dalam air akan menggandakan partikel-partikel kecil untuk membentuk flokk yang lebih besar. Flokulan yang digunakan adalah Poly Akril Amid (PAM). Setelah proses flokulasi, flokk yang telah terbentuk akan mengendap. [4]. Proses pengendapan ini disebut sedimentasi. Setelah sedimentasi, air akan mengalami proses penyaringan melalui *lamella* untuk menghilangkan flokk yang masih tersisa sehingga air bersih dapat dihasilkan, setelah itu proses dilanjutkan ke sistem terakhir penjernihan yaitu *Multimedia Filter* [3]. Mekanisme flokulasi juga dapat melibatkan interaksi van der Waals antara partikel-partikel atau penggabungan melalui jembatan polimer yang terbentuk oleh flokulan [11].

Multimedia Filter berfungsi untuk menyaring air yang berasal dari Clarifier. Air yang masuk kedalam Multimedia Filter akan tersaring oleh pasir silika, gravel dan karbon aktif sehingga turbidity akan menurun sesuai dengan spesifikasi yang

telah di tentukan, yaitu standar < 2 NTU [3]. Pada proses Klarifier terjadi kenaikan kekeruhan > 5 NTU hal berdampak terjadinya *clogging* atau penyumbatan yang berpengaruh terhadap *lifetime* dari *Multimedia Filter*. Dosis optimum koagulan dan flokulan adalah 50 ppm untuk koagulan PAC dan 20 ppm untuk flokulan PAM, maka dari itu dilakukan Optimasi Koagulan dan Flokulan dengan faktor-faktor yang menyebabkan kenaikan ini yaitu dari dosis koagulan- flokulan yang tidak

optimal, proses pengadukan yang tidak maksimal, juga pH yang belum mencapaikonsentrasi optimum [3].

Penelitian Optimasi Koagulan dan Flokulan padaProses Water Treatment di PLTU Palabuhanratu ini dilakukan dengan *Jar Test Sistem Batch* dengan variasi dosis koagulan 10 ppm hingga 100 ppm, dosis flokulan 1 ppm hingga 20 ppm kecepatan pengadukan antara 80 rpm hingga 140 rpm dan pH 5.5 – 8.5.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat

Peralatan Laboratorium yang digunakan yaitu gelas ukur, gelas Erlenmeyer, botol semprot, seperangkat alat titrasi, hotplate, neraca analitik, media saring, *magnetic stirrer*, *jar test*, pipet volume sedangkan instrument yang digunakan adalah pH Meter Knick 766 Calimatic, Spectrofotometri DR3900HACH, Turbidity Meter Hanna HI 98704 dan TDS Meter.

B. Bahan

Bahan yang digunakan yaitu sampel air laut yang di ambil dari water intake atau inlet Clarifier dan air demineralisasi yang di ambil langsung dari produk *mixbed*. Bahan kimia yang digunakan untuk Optimasi Koagulan dan Flokulan yaitu Poli Aluminium Chlorida (PAC) dan Poli Akril Amid (PAM) yang akan dibuat larutan baku masing-masing 100 ppm.

C. Prosedur

1. Optimasi Variasi Koagulan PAC

Volume contoh uji yang sama dimasukan (1000ml) kedalam masing-masing gelas kimia. Gelas kimia tersebut diaduk dengan baling baling pengaduk berjarak 6,4 mm dari dinding gelas. Kemudian dicatat perubahan pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L) dan TSS (mg/L). PAC sebagai koagulan ditambahkan kedalam gelas kimia dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ppm, Larutan kemudian di aduk dengan kecepatan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm tunggu selama 60 detik lalu diukur perubahan pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L), dan TSS (mg/L), PAM ditambahkan kedalam larutan contoh uji yang telah diperoleh kondisi optimum PAC dengan konsentrasi 1 ppm. lalu diukur perubahan pH, suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L), dan TSS (mg/L), Kurangi kecepatan pengadukan untuk menjagakeseragaman partikel flok yang terlarut melalui pengadukan lambat selama 20 menit. Setelah pengadukan lambat selesai, angkat baling-baling dan lihat pengendapan partikel flok. Setelah 15 menit pengendapan catat pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L) dan TSS (mg/L), Ulangi langkah diatas sampai semua variabel penentu terevaluasi.

2. Optimasi Variasi Flokulan PAM

Volume contoh uji yang sama dimasukan (1000ml) kedalam masing-masing gelas kimia. Gelas kimia tersebut diaduk dengan baling baling pengaduk berjarak 6,4 mm dari dinding gelas. Kemudian dicatat perubahan pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L) dan TSS (mg/L). PAC sebagai koagulan ditambahkan kedalam gelas kimia dengan konsentrasi optimum 50 ppm, larutan kemudian di aduk dengan kecepatan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm tunggu selama 60 detik lalu diukur perubahan pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L), dan TSS (mg/L). Ditentukan kondisi optimum koagulan. (table 3), PAM ditambahkan kedalam larutan contoh uji yang telah diperoleh kondisi optimum PAC nya dengan variasi 1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20 ppm. lalu diukur perubahan pH, suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L), dan TSS (mg/L). Ditentukan kondisi optimum flokulan. (table 2). Kurangi kecepatan pengadukan untuk menjaga keseragaman partikel flok yang terlarut melalui pengadukan lambat selama 20 menit. Setelah pengadukan lambat selesai, angkat baling-baling dan lihat pengendapan partikel flok. Setelah 15 menit pengendapan catat pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L) dan TSS (mg/L). Ulangi langkah diatas sampai semua variabel penentu terevaluasi.

3. Optimasi Variasi Kecepatan Pengadukan

Volume contoh uji yang sama dimasukan (1000ml) kedalam masing-masing gelas kimia. Gelas kimia tersebut diaduk dengan baling baling pengaduk berjarak 6,4 mm dari dinding gelas. Kemudian dicatat perubahan pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L) dan TSS (mg/L). PAC sebagai koagulan ditambahkan kedalam gelas kimia dengan konsentrasi optimum 50 ppm, larutan kemudian di aduk dengan kecepatan pengadukan dengan kecepatan 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 rpm tunggu selama 60 detik lalu diukur perubahan pH, Suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L), dan TSS (mg/L). PAM ditambahkan kedalam larutan contoh uji yang telah diperoleh kondisi optimum PAM nya pada konsentrasi optimum 1 ppm. lalu diukur perubahan pH, suhu, Turbidity (NTU), TDS (g/L), dan TSS (mg/L). Kurangi kecepatan pengadukan untuk menjaga keseragaman partikel flok yang terlarut melalui pengadukan lambat selama 20 menit.

4. Optimasi pH

Setelah koagulan, flokulan, dan kecepatan pengadukan didapat hasil optimum dan didapatkan hasil turbidity < 5 NTU, maka dilakukan variasi optimasi pH sebagai rekomendasi ketika terjadi perubahan pH pada air laut/sampel. Dilakukan percobaan pengaturan pH 6, 6.5, 7, 7.5, 8, dan 8.5 dengan menambahkan HCL 10% dan NaOH 10% hingga pH yang diinginkan tercapai yang mengacupada pH air laut di Pelabuhanratu yang rata-rata berada pada kisaran 8.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

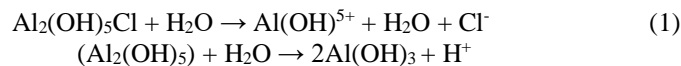
A. Pengaruh Variasi Dosis Koagulan PAC Terhadap Kekeruhan

Koagulasi merupakan reaksi destabilisasi partikel dimana partikel-partikel kecil dalam air mengalami perubahan muatan positif menjadi negatif agar terjadi tumbukan antar partikel yang menghasilkan microflok atau flok berukuran kecil. Pada tabel 1 ditunjukkan hasil optimasi koagulan PAC

TABEL 2
OPTIMASI KOAGULAN PAC

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis PAM (mg/L)	Kecepatan pengadukan (rpm)	pH	Suhu (°C)	Turbidity (NTU)	TDS (g/L)	TSS (mg/L)
1	0	0	100	8.04	25.2	9.81	23.5	19
2	10	1	100	7.83	25.3	7.67	23.5	13
3	20	1	100	7.71	25.1	5.92	23.5	6
4	30	1	100	7.58	25.4	4.25	23.5	4
5	40	1	100	7.34	25.4	2.60	23.4	3
6	50	1	100	7.26	25.2	1.81	23.4	2
7	60	1	100	7.20	25.3	3.44	23.4	4
8	70	1	100	7.12	25.2	5.69	23.5	6
9	80	1	100	6.89	25.3	6.58	23.5	7
10	90	1	100	6.78	25.4	7.25	23.5	12
11	100	1	100	6.67	25.3	7.98	23.5	13

Pada Tabel 1 menunjukkan dosis yang menghasilkan nilai kekeruhan terkecil berada pada penambahan koagulan PAC 50 mg/L dengan hasil kekeruhan 1.81 NTU yang sudah memenuhi standar kekeruhan klarifier <5 NTU. Dosis koagulasi di bawah < 50 mg/L menunjukkan nilai kekeruhan yang masih tinggi hal ini disebabkan karena koagulan PAC belum sempurna mengikat partikel – partikel yang berada pada sampel, pada dosis PAC 50 mg/L proses destabilisasi partikel bekerja secara sempurna. Sedangkan dosis koagulan ini diatas > 50 mg/L nilai kekeruhan secara fluktuatif naik dimana kekeruhan ini terjadi karena restabilisasi partikel^[6]. Ion OH⁻ dalam air berperan penting terhadap kemampuan koagulan PAC mengikat partikel, ion Al³⁺ mengikat koloid yang bermuatan negatif dan membentuk mikroflok, penambahan PAC menurunkan pH namun tidak signifikan disebabkan oleh reaksi hidrolisis PAC dengan air. Reaksi yang terjadi:



PAC melepas ion H⁺ dalam air sehingga cenderung menurunkan pH. Hal ini didukung oleh penelitian Wati^[7] yang menyatakan bahwa hasil turbidity terendah didapatkan dengan dosis koagulan PAC 50 mg/L. yang menyatakan bahwa hasil turbidity terendah didapatkan dengan dosis koagulan PAC 50 mg/L.

B. Pengaruh Variasi Dosis Koagulan PAM

1. Terhadap Kekeruhan

Flokulasi adalah proses pembentukan suatamakroflok atau gumpalan yang lebih besar setelah proses pembentukan mikroflok atau koagulasi telah sempurna. Pada Tabel 2 ditunjukkan hasil optimasi flokulan PAM.

TABEL 2
OPTIMASI FLOKULAN PAM

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis PAM (mg/L)	Kecepatan pengadukan (rpm)	pH	Suhu(°C)	Turbidity (NTU)	TDS (g/L)	TSS (mg/L)
1	50	0	100	7.30	25.3	1.82	23.5	3
2	50	1	100	7.26	25.2	1.79	23.5	2
3	50	2	100	7.28	25.1	1.84	23.5	3
4	50	3	100	7.30	25.2	2.34	23.5	4

5	50	4	100	7.38	25.3	2.25	23.5	4
6	50	5	100	7.39	25.1	2.30	23.5	4
7	50	10	100	7.62	25.2	2.61	23.5	4
8	50	15	100	7.76	25.3	2.68	23.5	5
9	50	20	100	7.92	25.3	2.80	23.5	5

Pada Tabel 2 menunjukkan penambahan flokulan PAM tidak ada perubahan kekeruhan yang signifikan hal ini disebabkan oleh nilai turbidity yang sudah tercapai dengan penambahan dosis koagulan optimum yaitu dengan kombinasi PAC 50 mg/L dan PAM 1 mg/L dengan hasil 1.79 NTU. Pada kombinasi ini menunjukkan hasil turbidity yang paling rendah dibandingkan dengan variasi >1 mg/L yang mengalami kenaikan turbidity dan pH secara fluktuatif yang disebabkan oleh reaksi hidrolisis flokulan[11] dan air reaksi yang terjadi adalah $C_3H_5NO(aq) + 2H_2O(aq) \rightarrow C_3H_6O_3(s) + NH_3(aq)$. Penambahan flokulan berlebih menyebabkan overdosis muatan partikel sehingga muatan menjadi stabil kembali hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan turbidity [2].

C. Pengaruh Variasi Kecepatan Pengadukan Terhadap Kekeruhan

Kecepatan pengadukan berpengaruh saat proses koagulasi dan flokulasi dimana kecepatan ini mampu meningkatkan kontak antar partikel koloid dengan koagulan PAC dan flokulan PAM. Optimasi kecepatan pengadukan terhadap kekeruhan ditunjukkan pada Pada Tabel 3.

TABEL 3
OPTIMASI KECEPATAN PENGADUKAN

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis PAM (mg/L)	Kecepatan pengadukan (rpm)	pH	Suhu(°C)	Turbidity (NTU)	TDS (g/L)	TSS (mg/L)
1	50	1	80	7.30	25.4	1.84	23.4	3
2	50	1	90	7.26	25.2	1.85	23.5	3
3	50	1	100	7.28	25.5	1.72	23.4	3
4	50	1	110	7.30	25.3	1.49	23.4	2
5	50	1	120	7.29	25.4	1.58	23.5	2
6	50	1	130	7.31	25.3	1.74	23.5	3
7	50	1	140	7.30	25.1	1.77	23.5	3

Pada Tabel 3 menunjukkan variasi kecepatan pengadukan menggunakan nilai optimum koagulan PAC dan Flokulan PAM didapatkan nilai optimum pada 110 rpm dengan nilai Turbidity 1.49 NTU pada kombinasi kecepatan ini didapatkan nilai turbidity terendah. Bahwa semakin lambat kecepatan pengadukan maka kecepatan koagulan dan flokulan dalam kontak antar partikel pun semakin sedikit sebaliknya ketika kecepatan pengadukan terlalu cepat partikel-partikel yang sudah tersuspensi terurai kembali.

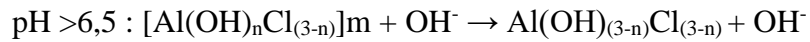
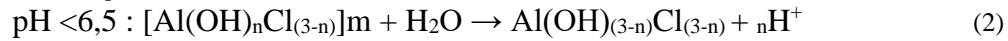
D. Optimasi pH

pH optimum PAC berada pada rentang yang luas 6 – 9 [8], namun pada pH air terlalu rendah reaksi koagulan tidak akan optimal sebaliknya pada pH air terlalu tinggi akan banyak ion hidroksida yang menghambat efektifitas koagulasi. Optimasi pH terhadap kekeruhan di tunjukan pada Tabel 4.

TABEL 4
OPTIMASI PH

No	Dosis PAC (mg/L)	Dosis PAM (mg/L)	Kecepatan pengadukan (rpm)	pH	Suhu (°C)	Turbidity(NTU)
1	50	1	110	6.0	25.2	1.54
2	50	1	110	6.5	25.1	0.82
3	50	1	110	7	25.2	1.65
4	50	1	110	7.5	25.1	1.87
5	50	1	110	8.0	25.2	3.31
6	50	1	110	8.5	25.3	4.43

Pada Tabel 4 menunjukkan optimasi pH dengan beberapa variabel terlihat bahwa pH air sampel agar mencapai titik optimum dalam menurunkan kekeruhan yaitu pada pH 6.5 dengan hasil 0.82 NTU dengan kombinasi koagulan PAC 50 mg/L, flokulan PAM 1 mg/L dan kecepatan pengadukan pada 110 rpm. Reaksi PAC di air menghasilkan hidrolisis[7]. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



pH di atas 6,5 memerlukan dosis yang lebih besar disebabkan oleh muatan negatif yang berada pada sampel lebih banyak sehingga dosis PAC perlu ditambahkan agar koloid-koloid yang bermuatan negatif dapat ditangkap secara maksimal, sebaliknya ketika pH terlalu rendah maka muatan positif lebih banyak yang menyebabkan koagulan tidak akan bekerja secara optimum[8].

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut, Optimasi koagulan PAC dan flokulan PAM telah berhasil dengan menggunakan sistim batch. Dibuktikan dengan hasil turbidity/kekeruhan 1.49NTU dengan kombinasi koagulan PAC dengan dosis 50 mg/L, Flokulan PAM dengan dosis 1 mg/L dan kecepatan pengadukan pada 110 RPM. Pengaruh dosis koagulan sangat menentukan hasil dari nilai kekeruhan air sampel namun untuk dosis flokulan tidak terlalu perubahan yang signifikan dalam penurunan nilai kekeruhan, lain halnya dengan pH terlalu asam sampel maka reaksi tidak akan terdisebaliknya semakin basa sampel maka dosis yang di perlukan akan lebih besar namun dengan pH optimum pada 6.5 didapatkan hasil kekeruhan 0.82 NTU. Ketika kecepatan terlalu lambat maka kontak antar partikel akan berjalan lambat pula, namun dengan kecepatan yang optimum yaitu pada 110 RPM nilai kekeruhan dapat turun hingga 1.49 NTU.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas tersusunnya artikel ini, saya ucapkan terima kasih kepada pembimbing, serta instansi yang menunjang pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anhar, E. Dewi, I. Purnawasari, "Proses Pengolahan Air Pada Tangki Klarifier ditinjau dari Laju Alir dan Konsentrasi Koagulan di PLTG Borang," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, Vol. 1(8): 315-320, Agustus 2021. Available: <https://jpti.journals.id/index.php/jpti/article/view/77> [Diakses 15 Juli 2023].
- [2] A. D. Sadewo, R. Firyanto, R. Ambarwati. 2023. "Optimasi Dosis Koagulan dan Flokulan pada Wastewater Treatment di PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan unit 2," *Journal of Chemical Engineering*. Vol. 3(2): 45-49 September 2022. Available: <http://jurnal.untagsmg.ac.id/index.php/chemtag/article/download/3158/2074> [Diakses 15 Agustus 2023].
- [3] CHD Power Plant Operation, *Manual Book Chemical Operation Manual PLTU Pelabuhan Ratu Final Edition*. Palabuhanratu: CHD Power Plant Operation, 2011.
- [4] Ferdiansyah, D. Sofarini, dan A. Rahman, "Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Aluminium Sulfat (Tawas) dalam Penanganan Air Limbah Logam Berat di PT. SILO Kabupaten Kotabaru Kalimantan," *Jurnal Universitas Lambung Mangkurat*. Vol.6(1): 1-59, Juni 2023. Available: <https://jtam.ulm.ac.id/index.php/aquatic/article/view/2079> [Diakses 19 Januari 2024].
- [5] Husaini, S. S. Cahyono, Suganal dan K. N. Hidayat, "Perbandingan Koagulan Hasil Percobaan dengan Koagulan Komersial Menggunakan Metode Jar Test," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara.*, Vol. 14(1) :31-45, Januari 2018. Available: <https://www.researchgate.net/publication/322812059> [Diakses 17 Juli 2023].

- [6] K. D. Sasin, Penentuan Dosis Optimum Koagulan untuk Menurunkan Kadar Total Suspended Solid (TSS) pada Air Limbah Tambang Batubara. S.T [Skripsi]. Malang: Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional., 2023. [Online]. Available: <https://eprints.itn.ac.id/13897>. [Diakses 11 Desember 2023].
- [7] M. Kartini, R. Indrawati dan Suwono. 2019, "Perbedaan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur Gali di Dusun Wonodadi RT 07/RW 10 yang Diberi PAC dengan yang Diberi Tawas," Jurnal Laboratorium Khatulistiwa. Vol. 2(1): 2597-9531, Agustus 2018. Available: <https://ejournal.poltekkes-pontianak.ac.id/index.php/JLK/article/view/319>. [Diakses 24 Januari 2024].
- [8] R. Mayasari dan M. Hastarina, "Optimasi Koagulan Alumunium Sulfat dan Poli Alumunium Klorida (PAC) (Studi Kasus PDAM Tirta Musi Palembang)," Jurnal Integrasi Universitas Muhammadiyah Palembang, Vol. 3(2): 2654-5551, Oktober 2018. Available: <https://jurnal.um-palembang.ac.id/integrasi/article/view/1273/1093>. [Diakses 5 Januari 2024].
- [9] S. W. Rachmawati, B. Iswanto, Winarni, "Pengaruh pH pada Proses Koagulasi dengan Koagulan Alumunium Sulfat dan Ferri Klorida," Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Trisakti, Vol. 5(2): 40-45, Desember 2009. Available: <https://e-journal.trisakti.ac.id/index.php/urbanenvirotech/article/view/676/602>. [Diakses 20 Januari 2024].
- [10] T. M. Arum dan H. W. Indaryanto, "Penentuan Kondisi Optimum Pengadukan dalam Proses Koagulasi," Jurnal Purifikasi Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya. Vol. 5(3): 121-126, Juli 2004. Available: <https://purifikasi.id/index.php/purifikasi/article/view/318>. [Diakses 17 Januari 2024].
- [11] V. Vajihinejad, S. P. Gumfekar, B. Bazoubandi, Z. R. Najafabadi dan João B, Soares, "Water Soluble Polymer Flocculants: Synthesis, Characterization, and Performance Assessment," Journal of Macromolekular Engineering, Vol 304(10): 1002, November 2018. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mame.201800526> [Diakses 12 Desember 2023].
- [12] W. N. Astuti, Optimasi Dosis Koagulan dan Flokulan untuk mengatasi kekeruhan pada Clarifier Water Treatment Plant Unit 1&2 PLTU Cilacap, Yogyakarta: Fakultas Sains dan Matematika Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, 2022.