

POTENSI INTERAKSI BIOFLOKULAN-DYT DENGAN ION LOGAM SEBAGAI PENGGANTI FLOKULAN SINTESIS

Ricky Febriyanto¹, Fitriyah²

Universitas Banten Jaya

¹rickyfebriyanto@unbaja.ac.id

Abstract: The successful isolation and crystallization of Bioflocculant-DYT as a active compounds from Indonesian tropical plants, reveals the potential of this plant as a raw material for the production of Eco friendly natural flocculants. This potential has been proven in previous studies, which showed a downward trend in the value of molar conductivity of Bioflocculant-DYT in line with the increase in its concentration value. To strengthen previous research, further research is conducted related to the physical properties of the Bioflocculant-DYT. One of them is conducted in this study, which is analyzing the ability of Bioflocculant-DYT active compounds with metal ions measured from the conductivity value. The solution of the active compound Bioflocculant-DYT crystalline is reacted with a solution of metal ions $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Then each mixture was tested for its conductivity value using a conductometer. The results of the measurement and calculation of the conductivity mixture of the active compound Bioflocculant-DYT with a solution of metal ions $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ showed the interaction. The effect of addition of Bioflocculant-DYT solution at low concentrations (250 ppm, 500 ppm and 750 ppm), resulting in a measurement molar conductance value higher than the calculated molar conductivity value. This condition indicates the active compound Bioflocculant-DYT can act as a polyelectrolyte. While the effect of addition of Bioflocculant-DYT solution at high concentrations (1000 ppm, 1250 ppm, 1500 and 1750 ppm), causing the measurement molar conductance value is lower than the calculated molar conductivity value. This condition defines the active compound Bioflocculant-DYT to act as a ligand that can assist in the composition of complexes with metal ions.

Keywords: Bioflocculant-DYT, Conductivity, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Abstrak: Keberhasilan isolasi dan kristalisasi senyawa aktif Bioflokulan-DYT dari tanaman tropis Indonesia, membuktikan tanaman ini berpotensi menjadi bahan baku produksi flokulan alami yang ramah lingkungan. Selama ini penggunaan flokulan dalam pengolahan limbah masih didominasi oleh flokulan sintesis, yang terbukti berdampak negatif terhadap lingkungan. Dengan ditemukannya Bioflokulan-DYT berpeluang menjadi alternatif pengganti flokulan sintetis. Potensi tersebut telah dibuktikan pada penelitian sebelumnya,

yang menunjukkan kecenderungan penurunan nilai hantaran molar Bioflokulan-DYT seiring dengan kenaikan nilai konsentrasinya. Untuk memperkuat penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian lanjutan terkait sifat fisik dari senyawa aktif Bioflokulan-DYT. Salah satunya yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu menganalisis kemampuan senyawa aktif Bioflokulan-DYT dengan ion logam yang diukur dari harga konduktivitasnya. Larutan kristal senyawa aktif Bioflokulan-DYT direaksikan dengan larutan ion logam yaitu $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Kemudian masing-masing campuran tersebut diuji nilai konduktivitasnya menggunakan konduktometer. Hasil pengukuran dan perhitungan konduktivitas campuran senyawa aktif Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam menunjukkan terjadinya interaksi. Pengaruh penambahan larutan Bioflokulan-DYT pada konsentrasi rendah (250 ppm, 500 ppm dan 750 ppm), mengakibatkan nilai hantaran molar pengukuran lebih tinggi dibandingkan dengan nilai hantaran molar perhitungan. Kondisi ini mengindikasikan senyawa aktif Bioflokulan-DYT dapat berperan sebagai polielektrolit. Sedangkan pengaruh penambahan larutan Bioflokulan-DYT pada konsentrasi tinggi (1000 ppm, 1250 ppm, 1500 dan 1750 ppm), menyebabkan nilai hantaran molar pengukuran lebih rendah dibandingkan dengan nilai hantaran molar perhitungan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa senyawa aktif Bioflokulan-DYT berperan sebagai ligan yang dapat berinteraksi dalam pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam.

Kata kunci: Bioflokulan-DYT, Konduktivitas, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

PENDAHULUAN

Aktivitas industri dan rumah tangga (domestik) tidak dipungkiri menghasilkan buangan berupa limbah cair. Limbah cair seringkali mengandung logam berat maupun bahan berbahaya lainnya yang berpotensi mencemari lingkungan, bahkan dapat mengakibatkan gangguan kesehatan bagi makhluk hidup. Mengingat sistemik dampak yang dapat ditimbulkan, proses pengolahan limbah cair menjadi mutlak wajib dilakukan sebelum limbah dirilis ke lingkungan.

Pengolahan limbah cair yang efektif dan efisien merupakan salah satu wujud konservasi ekosistem perairan. Proses pengolahan limbah cair pada umumnya dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu pengolahan secara fisika, biologi dan kimia. Pada pengolahan secara kimia dilakukan proses netralisasi koagulasi dan flokulasi. Netralisasi merupakan langkah penyesuaian pH dari limbah cair, baik dalam kondisi asam maupun basa untuk mendekati pH netral (7,0). Proses koagulasi pada prinsipnya adalah destabilisasi partikel dalam cairan dengan menambahkan bahan kimia seperti, Aluminium sulfat atau besi klorida sehingga meningkatkan kemampuan aglomerasi dan membentuk gumpalan yang lebih besar.

Proses flokulasi adalah pembentukan flok menggunakan flokulan, yang berfungsi untuk meningkatkan sedimen dari suatu cairan. Ketika suatu larutan diflokulasi, maka partikel tersebut membentuk agregat yang lebih besar, sehingga membuatnya lebih mudah dilihat dan dihilangkan melalui proses pemisahan. Hal ini senada dengan pernyataan Deng et al. (2003) bahwa flokulasi merupakan teknik efektif yang biasa digunakan dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan berbagai partikel tersuspensi serta ion logam. Menurut Hu et al (2006), proses pemisahan padat-cair pada proses flokulasi dalam industri menggunakan flokulan yang dapat berasal dari alam atau sintetis. Dari kedua jenis tersebut flokulan sintetislah yang paling sering digunakan dikalangan industri. Umumnya proses industri menggunakan polimer sintetis jenis Poly aluminum chloride (PAC), Ferric chloride, Aluminium sulfat, Alum (Tawas) dan Ferrous sulfat.

Kebutuhan akan flokulan sintetis hingga saat ini masih tergolong tinggi. Mengingat kegunaannya diberbagai proses industri. Polimer ini tidak hanya digunakan untuk mengolah air limbah dan penjernihan air. Namun juga digunakan untuk pengolahan lumpur buangan dan bahkan untuk memanen partikel berharga yang tidak mudah dipisahkan dari cairan.

Terlepas dari besarnya manfaat yang diberikan flokulan sintetis, ternyata terdapat pula kelemahan penggunaan flokulan sintetis. Menurut Purwanto (2013), Flokulan dari bahan sintetis memiliki kelemahan antara lain, tidak tahan terhadap gaya geser, tidak terbarukan, dan kurang ramah bagi lingkungan. Flokulan sintetis sangat sensitif terhadap pH, tidak efisien pada suhu rendah, terbatas hanya pada beberapa sistem dispersi, dan untuk proses flokulasi yang efektif memerlukan kuantitas besar. Kondisi tersebut seringkali menghasilkan sejumlah besar lumpur. Hal senada dengan pernyataan Febriyanto (2019), flokulan sintetis relatif persisten sehingga sulit untuk terdegradasi oleh mikroorganisme. Penggunaan polimer sintetis cenderung efektif hanya pada konsentersasi kecil. Penggunaan dalam jumlah yang besar, polimer ini membentuk flok yang tidak stabil karena tidak tahan dengan gaya geser (*poor shear stability*).

Menurut Rebah et al (2018), flokulan sintetis seperti Poly aluminum chloride (PAC), Ferric chloride tetap berada dalam air limbah dan lumpur setelah pengolahan serta dapat menyebabkan komplikasi kesehatan maupun ekologis. Akibatnya, pembuangan air limbah yang telah diolah ke lingkungan dapat menyebabkan kerugian serius yang terkait dengan berbagai efek kesehatan (penyakit Alzheimer, neurotoksisitas, karsinogenik, sifat genotoksik,

dll.). Penelitian Kerr et al (2014) menunjukkan toksisitas poliakrilamida anionik dan polimer kationik untuk invertebrata air dan ikan. Selain itu dilaporkan juga pada penelitian Wauer dan Teien (2010), bahwa polimer kationik cenderung menumpuk di insang ikan, mengganggu fungsi insang dan regulasi ion, menyebabkan kematian ikan dan akibatnya mengurangi pasokan ikan sehat untuk konsumsi manusia.

Beberapa penelitian tersebut, membuktikan residu flokulan sintetis dapat membahayakan kehidupan akuatik dan membuat air tidak layak untuk dikonsumsi manusia. Untuk mengatasi berbagai kelemahan dan dampak yang ditimbulkan flokulan sintetis, berbagai penelitian flokulan yang ramah lingkungan dengan nilai ekonomis terus dikembangkan. Diantaranya adalah pengembangan Bioflokulan-DYT.

Beberapa peneliti sebelumnya telah mengkaji Bioflokulan-DYT dari aspek karakteristik sifat kimia. Diketahui Bioflokulan-DYT memiliki kandungan gugus fungsi O-H, C=O, C=C, -CH₂ dan -CH₃ (Ahmad. 2007). Berdasarkan data spektrum *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) diperoleh bentuk kristal Bioflokulan-DYT baik bentuk batang maupun bentuk kotak tersusun atas gugus fungsi yang sama yaitu O-H, C-H dan C=O (Walyadi. 2008). Selain itu menurut hasil penelitian Yosanti (2005), pada senyawa aktif Bioflokulan-DYT terdapat gugus fungsi -OH, C=O, -CH₂, dan C-O serta zat aktif yang dihasilkan termasuk kedalam golongan karbohidrat.

Penelitian terbaru yang dilakukan Febriyanto (2019), diperoleh Produksi senyawa aktif Bioflokulan-DYT dengan cara merefluk sampel dapat menghasilkan kristal sebesar 21,16 gram. Nilai tersebut setara dengan 0,094% massa basah atau 0,346% massa kering bahan baku yang berasal dari tanaman tropis Indonesia. Karakteristik sifat fisika dari senyawa aktif Bioflokulan-DYT berdasarkan pengukuran konduktivitas, diperoleh nilai hantaran molar Bioflokulan-DYT yang mengalami peningkatan setiap dilakukan pengenceran. Penurunan nilai konsentrasi, menandakan senyawa aktif ini berpotensi dapat membentuk ion kompleks pada konsentrasi rendah (Febriyanto. 2019).

Beberapa temuan penelitian terdahulu baik sifat kimia maupun fisik dari senyawa aktif Bioflokulan-DYT telah dilakukan. Namun, belum dapat menjelaskan interaksinya dengan ion logam. Sifat interaksi Bioflokulan-DYT dengan ion logam, penting untuk diketahui. Hal ini dapat memberikan informasi, efek flokulan yang terbaik dalam mereduksi komponen-komponen koloid dan partikel tersuspensi pada efluen limbah cair berbasis logam. Oleh

karena itu diperlukan kajian lebih lanjut terkait interaksi Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam secara komprehensif.

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat disusun dua tujuan utama pada penelitian ini. Pertama adalah untuk mengkaji pengaruh kristal Bioflokulan-DYT terhadap konduktivitas berbagai ion logam. Tujuan kedua adalah mengkaji potensi interaksi antara Bioflokulan-DYT dengan berbagai ion logam. Dengan demikian dapat dibuktikan kecenderungan nilai hantaran molar kristal Bioflokulan-DYT, sebagai nilai yang akan mempengaruhi kemampuannya dalam berinteraksi dengan ion logam. Selain itu pula dapat diketahui mekanisme reaksi senyawa aktif Bioflokulan-DYT dengan ion logam.

METODE

Untuk dapat tercapainya tujuan dari penelitian ini, maka peneliti menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Sumber data penelitian adalah data primer, yang diperoleh langsung dari objek penelitian. Adapun data tersebut meliputi, data konsentrasi dan data hantaran molar dari Bioflokulan-DYT, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ serta campurannya. Adapun teknik pengumpulan data penelitian, terdiri atas dua teknik yaitu, teknik pengenceran dan teknik pengukuran konduktivitas.

Senyawa aktif Bioflokulan-DYT yang digunakan dalam pengukuran konduktivitas ini adalah dalam bentuk kristal murni. Kristal Bioflokulan-DYT yang diperoleh dari tahap isolasi senyawa aktif, direkristalisasi menggunakan metanol dingin. Rekristalisasi kristal Bioflokulan-DYT, bertujuan supaya senyawa pengotor dapat dikeluarkan dari larutan.

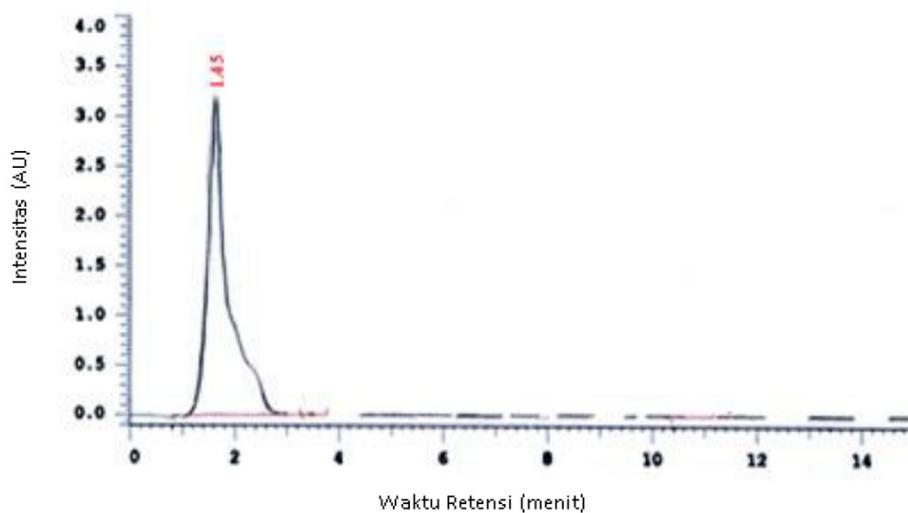
Terbentuknya kristal dari senyawa aktif Bioflokulan-DYT diawali oleh tercapainya kondisi lewat jenuh ketika larutan didinginkan sehingga proses nukleasi dan pertumbuhan kristal dapat berlangsung secara spontan. Ketika larutan didinginkan, kelarutan senyawa akan berkurang sehingga molekul-molekul polimer yang besar dari senyawa aktif Bioflokulan-DYT, bergabung membentuk suatu agregat yang stabil sehingga inti-inti kristal mulai terbentuk. Hasil rekristalisasi Bioflokulan-DYT dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kristal Murni Bioflokulan-DYT.

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Kemurnian kristal Bioflokulan-DYT dibuktikan melalui data hasil uji kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC). Data kromatogram menunjukkan, pada perbandingan fasa gerak air : metanol = 50% : 50%, diperoleh satu puncak dengan waktu retensi 1,45. Hasil uji tersebut tidak berbeda jauh dengan yang diperoleh dari penelitian Yosanti (2005), dimana puncak yang terdeteksinya juga satu puncak dengan waktu retensi 1,41. Hal ini menunjukkan bahwa kristal Bioflokulan-DYT tersebut kemungkinan besar sudah dalam keadaan murni. Berikut kromatogram dari hasil uji HPLC yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kromatogram Kristal Bioflokulan-DYT dengan Fasa Gerak Air : Metanol = 50% :50%

(Sumber: Hasil Pengukuran)

Data konsentrasi dari masing-masing senyawa (Bioflokulan-DYT dan logam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, serta $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), diperoleh melalui metode pengenceran larutan induk, yang terdiri atas:

1. Larutan Induk Bioflokulan-DYT 2000 ppm

Larutan induk Bioflokulan-DYT 2000 ppm dibuat dengan melarutkan 2 gram kristal Bioflokulan-DYT dalam labu ukur 1000 ml, menggunakan pelarut aquades.

2. Larutan Induk $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 2000 ppm

Larutan induk $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 2000 ppm dibuat dengan melarutkan 3,18 gram kristal $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam labu ukur 1000 ml, menggunakan pelarut aquades.

3. Larutan Induk $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 2000 ppm

Larutan induk $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 2000 ppm dibuat dengan melarutkan 2,88 gram kristal $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam labu ukur 1000 ml, menggunakan pelarut aquades.

4. Larutan Induk $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2000 ppm

Larutan induk $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2000 ppm dibuat dengan melarutkan 2,88 gram kristal $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dalam labu ukur 1000 ml, menggunakan pelarut aquades.

Konduktivitas molar dapat didefinisikan sebagai daya hantar semua ion yang dihasilkan dengan melarutkan satu mol elektrolit dalam larutan. Pengukuran konduktivitas suatu larutan elektrolit dapat menunjukkan mobilitas dari ion-ion yang ada dalam larutan. Secara umum kristal Bioflokulan-DYT mengandung gugus-gugus fungsi yang dapat menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen dan gaya van der Waals. Apabila kristal Bioflokulan-DYT dilarutkan dalam air maka kristal tersebut akan menjadi suatu elektrolit yang memiliki daya hantar listrik sehingga dapat terespon oleh konduktometer (Febriyanto. 2019). Menurut Hendrawati. et. al (2015), nilai konduktivitas yang tinggi dapat terjadi berdasarkan adanya ion-ion mineral dan senyawa organik yang terlarut dalam air. Dengan demikian nilai konduktivitas akan seimbang dengan jumlah zat padat terlarut (garam terlarut). Data konduktivitas hantaran jenis (κ) yang didapat dinyatakan dalam bentuk hantaran molar (Λ_m), yang secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{C}$$

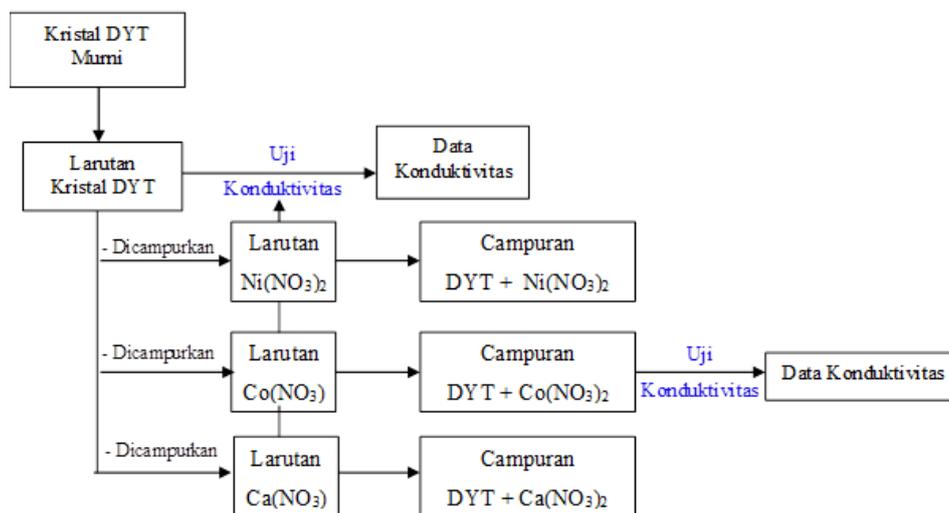
Keterangan:

Λ_m = Hantaran molar

κ = Hantaran jenis (kappa)

C = Konsentrasi

Sebelum memasuki uji konduktivitas dilakukan preparasi sampel. Pada tahapan ini kristal Bioflokulan-DYT murni dilarutkan menggunakan pelarut aquades. Selain itu dilakukan pula, standarisasi set alat konduktometer merek Consort tipe C830. Standarisasi dilakukan dengan cara, mencelupkan sel elektroda kedalam larutan standar KCl 0,001M dengan suhu larutan harus berada diantara 0 °C hingga 30 °C. Kemudian ditunggu beberapa saat, untuk mendapatkan nilai digit yang relatif stabil. Apabila nilai digit yang didapat berbeda dengan nilai mS yang tertera pada label botol larutan standar yaitu sebesar 1413 μ S pada suhu 25 °C, maka dilakukan pengaaturan tombol trimer. Sistematika tahapan uji konduktivitas secara lebih terperinci diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Uji Konduktivitas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konduktivitas Larutan Masing-Masing Pereaksi

Nilai konduktivitas diperoleh dalam kondisi suhu konstan yaitu pada suhu kamar (25°C). Massa kristal Bioflokulan-DYT murni yang digunakan pada uji konduktivitas larutan kristal

Bioflokulan-DYT dan campuran kristal Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam, masing-masing adalah 2 dan 6 gram. Untuk uji konduktivitas campuran larutan ion logam dengan larutan kristal Bioflokulan-DYT, digunakan logam kristal $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ masing-masing sebanyak 3,18 gram, 2,88 gram dan 2,88 gram.

Data hasil pengamatan pada penentuan nilai hantaran molar larutan kristal Bioflokulan-DYT dan berbagai larutan ion logam di dalam pelarut air disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hantaran Molar Larutan Kristal DYT, Larutan Ion Logam $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ pada Berbagai Variasi Konsentrasi.

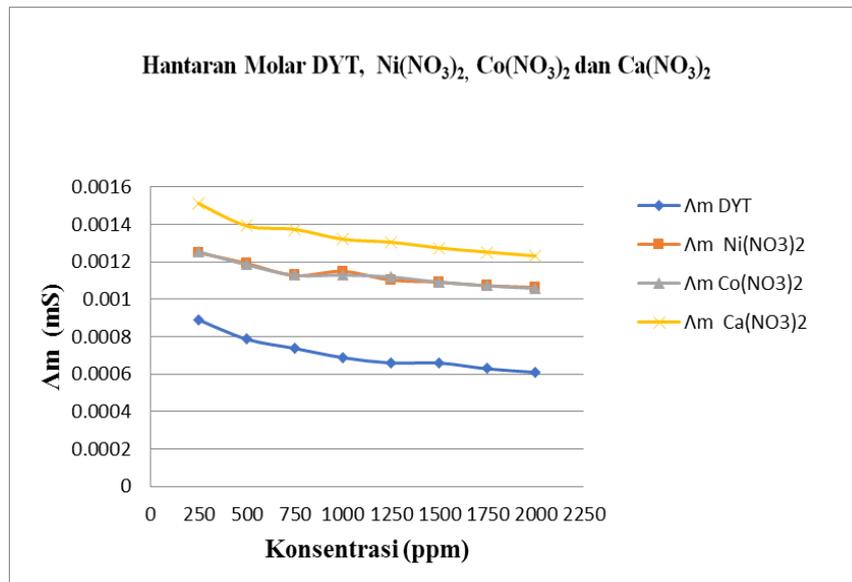
Variasi Konsentrasi Perekasi (ppm)	Λ_m DYT (mS.ppm ⁻¹)	Λ_m $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ (mS.ppm ⁻¹)	Λ_m $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ (mS.ppm ⁻¹)	Λ_m $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (mS.ppm ⁻¹)
0	-	-	-	-
250	0,000888	0,001248	0,001252	0,001512
500	0,000786	0,001192	0,001184	0,001392
750	0,000737	0,001128	0,001129	0,001373
1000	0,000688	0,001150	0,001130	0,001320
1250	0,000660	0,001104	0,001120	0,001304
1500	0,000660	0,001093	0,001093	0,001273
1750	0,000629	0,001074	0,001074	0,001251
2000	0,000610	0,001065	0,001060	0,001230

Tabel 1 menunjukkan, pengukuran pada konsentrasi 0 ppm merupakan data nilai hantaran jenis dari pelarut aquades. Dimana nilai hantaran molarnya tidak dapat dihitung, karena didefinisikan sebagai nilai dari daya hantar zat terlarut. Didapatnya nilai hantaran jenis aquades ini menunjukkan, bahwa air walaupun sangat murni masih dapat menghantarkan listrik.

Secara umum terdapat kesamaan nilai hantaran molar yang diperoleh dari keempat pereaksi pada berbagai variasi konsentrasi. Data keempat pereaksi tersebut memperlihatkan adanya kecenderungan nilai hantaran molar mengalami penurunan seiring kenaikan nilai konsentrasi. Rata-rata penurunan hantaran molar untuk setiap larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$

dan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ seiring kenaikan konsentrasi pereaksi sebesar 250 ppm adalah tidak berbeda jauh. Larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ mengalami penurunan paling tinggi, yaitu sebesar 2,88%. Selanjutnya adalah larutan dengan penurunan sebesar 2,33%. Larutan $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ mengalami penurunan terkecil dengan nilai sebesar 2,21%.

Terjadinya penurunan nilai hantaran molar merupakan konsekuensi dari terganggunya mobilitas ion-ion yang terdapat didalam larutan. Hal ini sejalan dengan prinsip dari pengenceran larutan elektrolit. Dimana pada proses pengenceran larutan elektrolit, semakin rendahnya nilai konsentrasi yang diperoleh mengakibatkan masing-masing ion dari larutan elektrolit tersebut bergerak lebih bebas. Mobilitas yang lebih bebas disebabkan oleh pengaruh dari ion lawannya yang lebih kecil, sehingga nilai hantaran molar akan mengalami kenaikan begitu pula kondisi sebaliknya.



Gambar 4. Grafik Hantaran Molar DYT , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ dan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
(Sumber: Hasil Analisis Data)

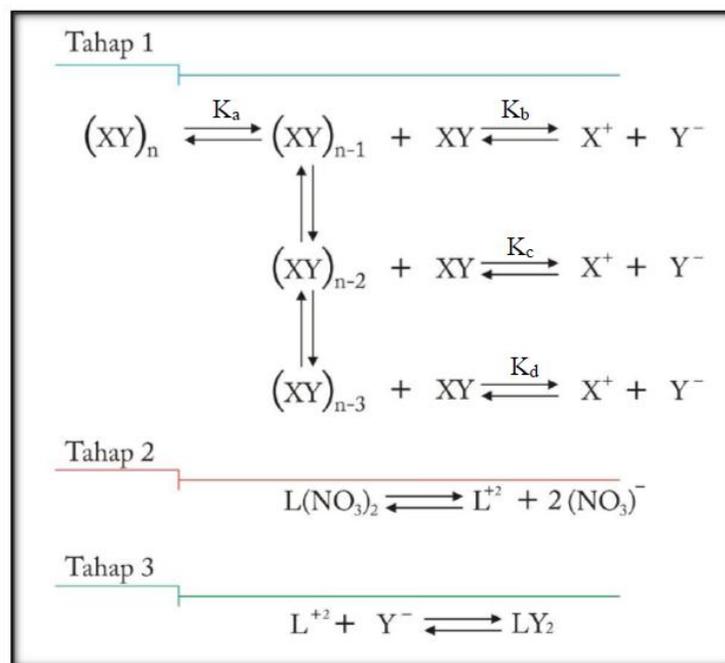
Gambar 4 memperlihatkan *trend* setiap larutan mengalami penurunan nilai hantaran molar seiring kenaikan nilai konsentrasi. Terjadinya penurunan hantaran molar seiring dengan kenaikan konsentrasi pada dasarnya mengikuti Teori Debye-Huckel. Secara garis besar teori konduktansi memprediksi bahwa penurunan konduktansi dengan meningkatnya konsentrasi zat terlarut, muncul dari hubungan elektrostriktif, relaksasi dan ionik.

Ketika konsentrasi semakin meningkat, mengakibatkan interferensi ion-ion menjadi semakin kuat. Interpretasi turunnya daya hantar dengan naiknya konsentrasi, disebabkan oleh

dua hal yaitu efek relaksasi (*relaxation effect*) atmosfer ion dan efek elektrophoretik (*electrophoretic effect*). Hal ini diperkuat oleh penelitian dari Jain (2007), yang menyatakan bahwa energi potensial suatu ion dalam larutan bergantung pada kekuatan ion larutan. Dalam kasus elektrolit kuat, nilai konduktansi molar pada pengenceran tak terhingga jauh lebih kecil, daripada satu kesatuan yang disebabkan oleh *relaxation effect* dan *electrophoretic effect*. Munculnya relaksasi atmosfer ion menurut hukum pembatas Onsager, adalah ketika ion tertarik pada medan listrik, ion tersebut juga akan dipengaruhi gaya berlawanan yang muncul akibat ion atmosfernya. Kondisi ini akan cenderung menghambat gerak ion tersebut dan akan menurunkan daya hantar ion.

Konduktivitas Larutan Bioflokulan-DYT dengan Larutan Ion Logam

Kekuatan interaksi adsorbat dengan adsorben dipengaruhi oleh sifat dari adsorbat maupun adsorbennya. Gejala yang umum dipakai untuk meramalkan komponen mana yang diadsorpsi lebih kuat adalah kepolaran adsorben dengan adsorbatnya. Apabila adsorbennya bersifat polar, maka komponen yang bersifat polar akan terikat lebih kuat dibandingkan dengan komponen yang kurang polar. Mekanisme reaksi yang terjadi antara interaksi polimer Bioflokulan-DYT dengan ion logam disajikan pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Mekanisme Reaksi Antara Interaksi Polimer Bioflokulan-DYT Dengan Ion Logam.

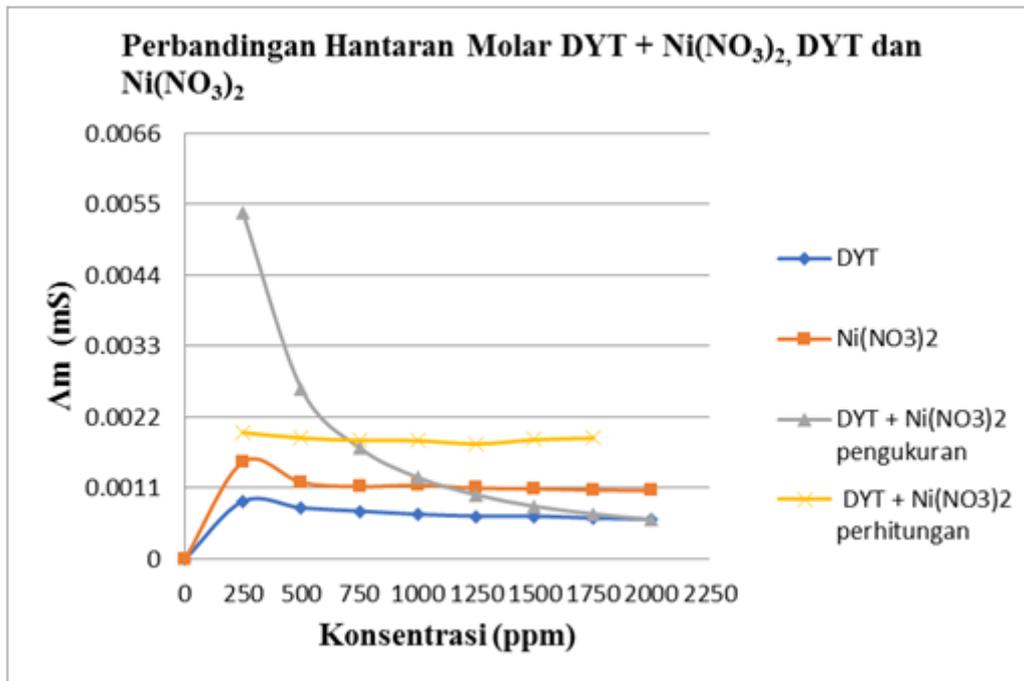
(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan Gambar 5, XY diinterpretasikan sebagai molekul penyusun polimer Bioflokulan-DYT. n merupakan jumlah monomer, sedangkan L adalah logam. Untuk Ka, Kb, Kc dan Kd adalah tetapan kesetimbangan pada kondisi a, b, c dan d. Tahap 1 merupakan proses **inisiasi**, yaitu penguraian inisiator dan adisi molekul monomer pada salah satu radikal bebas yang terbentuk. Tahap 2 merupakan proses **propagasi**, dalam tahap ini terjadi reaksi adisi molekul monomer pada radikal monomer yang terbentuk dalam tahap inisiasi. Tahap 3 merupakan tahap **terminasi**, dapat terjadi melalui reaksi antara spesi polimer yang sedang tumbuh dengan spesi polimer lainnya.

Pada pengukuran nilai konduktivitas campuran antara larutan Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam bertujuan untuk menentukan interaksi antara kedua larutan tersebut, yaitu dengan cara membandingkan data hantaran molar pengukuran masing-masing campuran dengan data hantaran molar perhitungan. Nilai hantaran molar pengukuran merupakan nilai hantaran molar yang didapat dari pengukuran campuran antara larutan biflokulan DYT dengan larutan ion logam. Nilai hantaran molar perhitungan yaitu penjumlahan nilai hantaran molar larutan Bioflokulan-DYT dengan nilai hantaran molar larutan ion logam pada pelarut air.

Konduktivitas Campuran antara Larutan Bioflokulan-DYT dengan Larutan Ion Logam Ni(NO₃)₂

Pengukuran hantaran molar campuran antara larutan Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam Ni(NO₃)₂ dalam berbagai variasi konsentersasi, memperlihatkan trend penurunan nilai konduktivitas. Hasil pengukuran pada variasi konsentersasi dengan rentang 250 ppm, menunjukkan nilai konduktivitas campuran mengalami penurunan rata-rata sebesar 25,49%. Pola perbandingan nilai konduktivitas dalam berbagai kondisi, secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6.

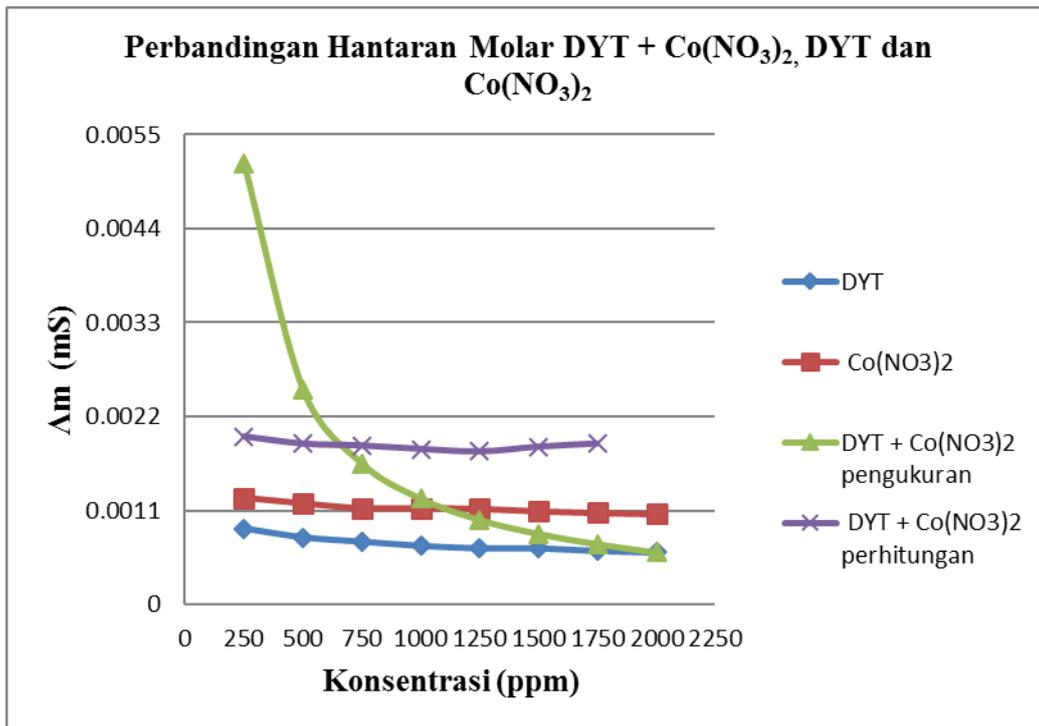


Gambar 6. Perbandingan Hantaran Molar DYT + Ni(NO₃)₂, DYT dan Ni(NO₃)₂
(Sumber: Hasil Analisis Data)

Gambar 6 memperlihatkan ada perbedaan nilai hantaran molar antara hasil pengukuran dengan yang didapat secara perhitungan. Perbedaan terjadi pada konsentrasi penambahan larutan Bioflokulan-DYT sebesar 250 ppm, 500 ppm dan 750 ppm. Dimana nilai hantaran molar campuran pengukuran lebih besar dibandingkan dengan nilai hantaran molar campuran perhitungan. Sedangkan untuk konsentrasi penambahan larutan Bioflokulan-DYT 1000 ppm, 1250 ppm, 1500 ppm dan 1750 ppm, nilai hantaran molar campuran pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan nilai hantaran molar campuran perhitungan.

Konduktivitas Campuran antara Larutan Bioflokulan-DYT dengan Larutan Ion Logam Co(NO₃)₂.

Pengukuran hantaran molar campuran antara larutan Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam Co(NO₃)₂ dalam berbagai variasi konsentersasi, memperlihatkan trend penurunan nilai konduktivitas. Hasil pengukuran pada variasi konsentersasi dengan rentang 250 ppm, menunjukkan nilai konduktivitas campuran mengalami penurunan rata-rata sebesar 26,93%. Pola perbandingan nilai konduktivitas dalam berbagai kondisi, secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 7.

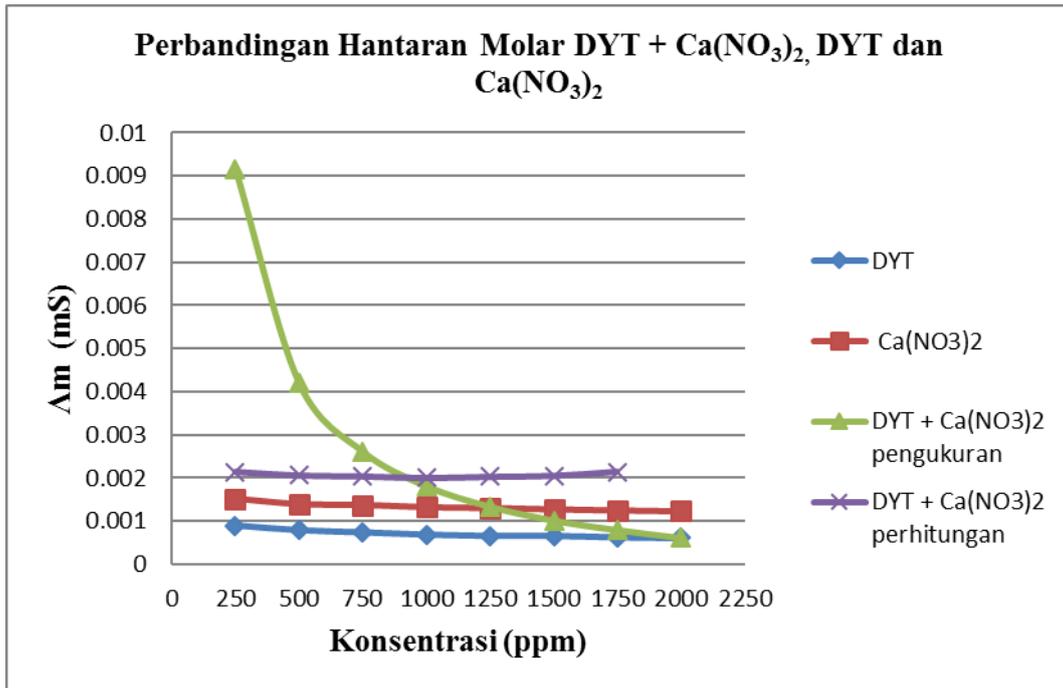


Gambar 7. Perbandingan Hantaran Molar DYT + Co(NO₃)₂, DYT dan Co(NO₃)₂
 (Sumber: Hasil Analisis Data)

Gambar 7 memperlihatkan ada perbedaan nilai hantaran molar antara hasil pengukuran dengan yang didapat secara perhitungan. Perbedaan terjadi pada konsentrasi penambahan Bioflokulan-DYT 250 ppm dan 500 ppm. Dimana nilai hantaran molar campuran pengukuran lebih besar dibandingkan dengan nilai hantaran molar campuran perhitungan. Untuk konsentrasi penambahan larutan Bioflokulan-DYT 750 ppm, 1000 ppm, 1250 ppm, 1500 ppm dan 1750 ppm, nilai hantaran molar campuran pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan nilai hantaran molar campuran perhitungan.

Konduktivitas Campuran antara Larutan Bioflokulan-DYT dengan Larutan Ion Logam Ca(NO₃)₂.

Pengukuran hantaran molar campuran antara larutan Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam Ca(NO₃)₂ dalam berbagai variasi konsentersasi, memperlihatkan trend penurunan nilai konduktivitas. Hasil pengukuran pada variasi konsentersasi dengan rentang 250 ppm, menunjukkan nilai konduktivitas campuran mengalami penurunan rata-rata sebesar 31,12%. Pola perbandingan nilai konduktivitas dalam berbagai kondisi, secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Hantaran Molar DYT + Ca(NO₃)₂, DYT dan Ca(NO₃)₂
 (Sumber: Hasil Analisis Data)

Gambar 8 memperlihatkan ada perbedaan nilai hantaran molar antara hasil pengukuran dengan yang didapat secara perhitungan. Perbedaan terjadi pada konsentrasi penambahan Bioflokulan-DYT 250 ppm, 500 ppm dan 750 ppm. Dimana nilai hantaran molar campuran pengukuran lebih besar dibandingkan dengan nilai hantaran molar campuran perhitungan. Untuk konsentrasi penambahan larutan Bioflokulan-DYT 1000 ppm, 1250 ppm, 1500 ppm dan 1750 ppm, nilai hantaran molar campuran pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan nilai hantaran molar campuran perhitungan.

Interaksi Bioflokulan-DYT dengan Ion Logam Ni(NO₃)₂, Co(NO₃)₂ dan Ca(NO₃)₂

Secara umum, data hasil analisis uji konduktivitas untuk campuran Bioflokulan-DYT dengan ion logam Ca(NO₃)₂, sama dengan campuran Bioflokulan-DYT dengan ion logam Ni(NO₃)₂. Namun pada campuran Bioflokulan-DYT dengan ion logam Ca(NO₃)₂ memiliki nilai hantaran molar yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran Bioflokulan-DYT dengan ion logam Ni(NO₃)₂. Nilai hantaran molar yang lebih tinggi ini disebabkan karena keelektronegatifan dari Ca²⁺ lebih kecil dibandingkan dengan Ni²⁺, akibatnya Ca²⁺ dalam bentuk ion bebas yang terdapat didalam larutan lebih banyak terdeteksi oleh konduktometer.

Dengan demikian berakibat nilai hantaran molarnya, jauh lebih besar dibandingkan dengan Ni^{2+} .

Penafsiran data hasil analisis uji konduktivitas untuk campuran Bioflokulan-DYT dengan ketiga bentuk ion logam tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Identifikasi Data Hantaran Molar Campuran DYT+Logam

Campuran	Hantaran Molar Campuran	Konsentrasi DYT
DYT + $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$\Lambda_{\text{m(pengukuran)}} > \Lambda_{\text{m(perhitungan)}}$	250 ppm – 750 ppm
	$\Lambda_{\text{m(pengukuran)}} < \Lambda_{\text{m(perhitungan)}}$	1000 ppm – 1750 ppm
DYT + $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	$\Lambda_{\text{m(pengukuran)}} > \Lambda_{\text{m(perhitungan)}}$	250 ppm – 500 ppm
	$\Lambda_{\text{m(pengukuran)}} < \Lambda_{\text{m(perhitungan)}}$	750 ppm - 1750 ppm
DYT + $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\Lambda_{\text{m(pengukuran)}} > \Lambda_{\text{m(perhitungan)}}$	250 ppm – 750 ppm
	$\Lambda_{\text{m(pengukuran)}} < \Lambda_{\text{m(perhitungan)}}$	1000 ppm – 1750 ppm

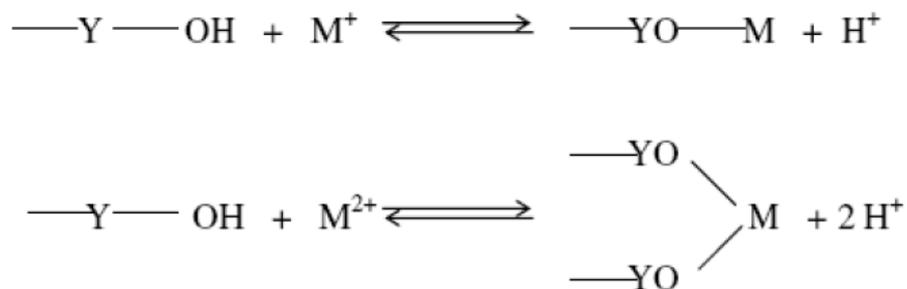
Berdasarkan tabel 2 adanya pengaruh konsentrasi Bioflokulan-DYT terhadap nilai hantaran molar campuran, menandakan pada campuran larutan Bioflokulan-DYT dengan larutan ion logam terjadi interaksi. Hal ini dibuktikan dengan adanya perbedaan antara nilai hantaran molar pengukuran dengan nilai hantaran molar perhitungan. Dimana pada penambahan larutan Bioflokulan-DYT dengan konsentrasi rendah, diperoleh nilai hantaran molar pengukuran lebih tinggi dibandingkan dengan nilai hantaran molar perhitungan. Begitupun pada penambahan larutan Bioflokulan-DYT dengan konsentrasi rendah terjadi sebaliknya.

Fenomena interaksi diindikasikan sebagai kemampuan senyawa aktif Bioflokulan-DYT, yang dapat berperan sebagai polielektrolit ataupun ligan dalam pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam. Pengaruh penambahan larutan Bioflokulan-DYT pada konsentrasi rendah (250 ppm, 500 ppm dan 750 ppm), menyebabkan nilai hantaran molar pengukuran lebih tinggi dibandingkan dengan nilai hantaran molar perhitungan. Kondisi nilai hantaran molar ini merepresentasikan senyawa aktif Bioflokulan-DYT berperan sebagai polielektrolit yang dapat meningkatkan sifat kelarutan logam. Dimana senyawa aktif Bioflokulan-DYT cenderung tidak berinteraksi melalui pembentukan kompleks. Pada kisaran

konsentrasi ini, teramati dengan adanya Bioflokulan-DYT memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kelarutan ketiga logam tersebut terutama pada logam $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Indikasi adanya interaksi pembentukan kompleks antara senyawa Bioflokulan-DYT yang berperan sebagai ligan dengan ion logam, diperkuat dengan data FTIR penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa senyawa aktif Bioflokulan-DYT adalah makromolekul yang memiliki gugus fungsional seperti gugus $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}=\text{C}$, $-\text{CH}_2$ dan $-\text{CH}_3$. Pengaruh penambahan larutan Bioflokulan-DYT pada konsentrasi tinggi (1000 ppm, 1250 ppm, 1500 dan 1750 ppm), menyebabkan nilai hantaran molar pengukuran lebih rendah dibandingkan dengan nilai hantaran molar perhitungan. Kondisi ini merepresentasikan senyawa aktif Bioflokulan-DYT, berperan sebagai ligan yang dapat berinteraksi dalam pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam.

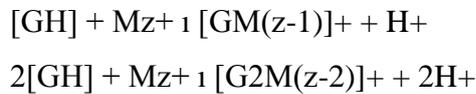
Adanya kandungan gugus $-\text{OH}$ pada senyawa aktif Bioflokulan-DYT menyebabkan sifat polar pada senyawa ini. Dengan demikian senyawa aktif Bioflokulan-DYT lebih mudah bereaksi dengan zat yang bersifat polar daripada zat yang kurang polar. Mekanisme reaksi yang terjadi antara gugus $-\text{OH}$ dengan ion logam disajikan pada gambar 9 berikut:



Gambar 9. Mekanisme Reaksi yang Terjadi Antara Gugus $-\text{OH}$ dengan Ion Logam
 (Sumber: Hasil Analisis Data)

M^+ dan M^{2+} adalah ion logam, $-\text{OH}$ adalah gugus hidroksil dan Y adalah matriks tempat gugus $-\text{OH}$ terikat. Interaksi antara gugus $-\text{OH}$ dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pembentukan kompleks koordinasi karena atom oksigen (O) pada gugus $-\text{OH}$ mempunyai pasangan elektron bebas, sedangkan ion logam mempunyai orbital d kosong. Pasangan elektron bebas tersebut akan menempati orbital kosong yang dimiliki oleh ion logam, sehingga terbentuk suatu senyawa atau ion kompleks. Hal ini sesuai dengan pernyataan menurut Terada *et al.* (1983), bahwa ikatan kimia yang terjadi antara gugus aktif pada zat organik dengan molekul dapat dijelaskan sebagai perilaku interaksi asam-basa Lewis

yang menghasilkan kompleks pada permukaan padatan. Pada sistem adsorpsi larutan ion logam, interaksi tersebut dalam bentuk umum ditulis:



dengan GH adalah gugus fungsional yang terdapat pada zat organik, dan M adalah ion bervalensi z.

Pengaruh signifikan penambahan Bioflokulan-DYT terhadap penurunan nilai hantaran molar terdapat pada campuran Bioflokulan-DYT dengan ion logam $Ca(NO_3)_2$. Hal ini disebabkan ion logam Ca^{2+} merupakan kation yang bersifat asam keras, sehingga akan berinteraksi secara kuat dengan anion-anion yang bersifat basa keras seperti $-OH$. Senyawa aktif Bioflokulan-DYT mempunyai banyak gugus $-OH$, sehingga Bioflokulan-DYT akan mengikat ion Ca^{2+} secara kuat. Ikatan antara ion Ca^{2+} dengan $-OH$ pada senyawa aktif Bioflokulan-DYT melalui pembentukan ikatan koordinasi. Dimana pasangan elektron bebas dari O pada $-OH$ akan menempati orbital kosong yang dimiliki oleh Ca^{2+} , sehingga terbentuk kompleks terkoordinasi. Kondisi ini memenuhi prinsip *Hard and Soft Acid Base* (HSAB), yaitu asam keras akan berinteraksi dengan basa keras untuk membentuk kompleks. Begitu pula asam lemah dengan basa lemah. Untuk interaksi asam keras dengan basa keras merupakan interaksi ionik, sedangkan interaksi asam lemah dengan basa lemah, interaksinya lebih bersifat kovalen.

KESIMPULAN

Senyawa aktif Bioflokulan-DYT terbukti dapat berinteraksi dengan ion logam. Hal ini membuktikan potensinya untuk digunakan sebagai pengganti flokulan sintetis dalam proses pengolahan limbah cair. Interaksi larutan Bioflokulan-DYT dengan berbagai larutan ion logam ($Ni(NO_3)_2$, $Co(NO_3)_2$ dan $Ca(NO_3)_2$), merepresentasikan kemampuan senyawa aktif Bioflokulan-DYT sebagai polielektrolit ataupun ligan dalam pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam. Pengaruh penambahan larutan Bioflokulan-DYT pada konsentrasi rendah, menyebabkan senyawa aktif Bioflokulan-DYT berperan sebagai polielektrolit. Sedangkan penambahan larutan Bioflokulan-DYT pada konsentrasi tinggi, menyebabkan senyawa aktif Bioflokulan-DYT berperan sebagai ligan yang dapat berinteraksi dalam pembentukan senyawa kompleks dengan ion logam.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, S.M. 2007. Kristalisasi dan Karakterisasi Senyawa Aktif Bioflokulan-DYT Hasil Isolasi Melalui Metode Refluks. *Skripsi Universitas Pendidikan Indonesia; Bandung.*
- Allan S. Myerson. 2002, Handbook of Industrial Crystallization. Elsevier Inc. ISBN: 978-0-7506-7012-8
- Deng, S. B., R. B. Bai, X. M. Hu, and Q. Luo. 2003. Characteristics of a bioflocculant produced by *Bacillus mucilaginosus* and its use in starch wastewater treatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 60:588–593.
- Febriyanto, Ricky. 2019. Analisis Konduktivitas pada Produksi Bioflokulan-DYT Sebagai Pengganti Flokulan Sintetis. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 2019, Vol. 3, No. 2: 41-48
- Hendrawati. et. al. 2015. Penggunaan Kitosan sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Danau. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*, 1(1)
- Hu C., Liu H., Qu J., Wang D., and Ru J.. 2006. Coagulation behavior of aluminium salts in eutrophic water: significance of Al13 species and pH control. *Environ.Sci. Technol.* 40:325–331.
- Jain, Rajeev. 2007. Physical Chemistry Electrochemistry I. School of Studies in Chemistry Jiwaji University; Gwalior.
- Kerr, J.L.; Lumsden, J.S.; Russell, S.K.; Jasinska, J.; Goss, G.G. 2014. Effects of anionic polyacrylamide products on gill histopathology in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environ. Toxicol. Chem.* 33, 1555–1562. [CrossRef] [PubMed]
- Rebah B Faouzi, Mnif, Wissem and Siddeeg M. Saifeldin. 2018. Microbial Flocculants as an Alternative to Synthetic Polymers for Wastewater Treatment: A Review. *Symmetry*, 10, 556; doi:10.3390/sym10110556.
- Terada K., Matsumoto, K. & Kimura, H. 1983. Sorption of Copper (II) by some complexing agents loaded on various support. *Anal. Chim. Acta* 153: 273-247.
- Walyadi, D. 2008. Kristalisasi dan Karakterisasi Bioflokulan-DYT Bentuk Batang dan Bentuk Kotak.

Skripsi Universitas Pendidikan
Indonesia; Bandung.

Wauer, G.; Teien, H.C. 2010. Risk of
acute toxicity for fish during
aluminum application to hardwater
lakes. *Sci. Total Environ.* 408, 4020–
4025. [CrossRef] [PubMed]

Yosanti, R.S. 2005. Isolasi dan
Karakterisasi Senyawa Aktif
Bioflokulan-DYT dengan Sistem
Maserasi. *Skripsi* Universitas
Pendidikan Indonesia; Bandung.

Purwanto, Slamet. 2013. Sintesis Flokulan
dari Pati Sagu dan Akrilamida
Menggunakan Microwave Initiated
Technique untuk Aplikasi Penurunan
Kadar Padatan Tersuspensi dalam Air.
Tesis: Institut Pertanian Bogor.