



Efektivitas dan Pengembangan Teknologi Elektrokoagulasi (EC) untuk Pengolahan Limbah Drilling Mud di CMTF Duri: Studi Lapangan dan Skala Pengembangan

Oleh:

Dimas Satya Lesmana S.T., M.B.A., Ir. Hari Rachmat, Ir. Muhammad Fachrein
Rachman, S.T.

Abstrak

Industri minyak dan gas menghasilkan limbah drilling mud yang mengandung polutan kompleks seperti padatan tersuspensi (TSS), senyawa organik, dan logam berat. Teknologi elektrokoagulasi (EC) diterapkan di Central Mud Treatment Facility (CMTF) Duri sebagai solusi inovatif untuk mencapai standar lingkungan dengan efisiensi tinggi. EC menggunakan arus listrik untuk menghasilkan koagulan in-situ, yang efektif dalam mengendapkan polutan. Hasil uji lapangan menunjukkan efisiensi TSS yang tinggi, mencapai hingga 87.07% pada container #2, mengindikasikan potensi EC sebagai solusi berkelanjutan dan hemat biaya untuk pengolahan limbah. Pengembangan skala unit dilakukan untuk memenuhi peningkatan kebutuhan operasional yang sejalan dengan bertambahnya volume limbah. Studi ini memberikan panduan implementasi teknologi EC dalam industri pengeboran minyak dan gas, sekaligus menguraikan aspek-aspek lingkungan dan ekonomi.

Kata Kunci

Elektrokoagulasi, drilling mud, pengolahan limbah, Total Suspended Solids, teknologi lingkungan, skala pengembangan, CMTF Duri

1. Pendahuluan

Limbah drilling mud yang dihasilkan oleh industri minyak dan gas mengandung berbagai kontaminan yang dapat merusak ekosistem jika tidak diolah dengan baik. Dengan semakin ketatnya regulasi lingkungan, PT Pertamina Hulu Rokan menerapkan teknologi elektrokoagulasi (EC) di CMTF Duri untuk mengurangi polutan dalam limbah drilling mud. Teknologi EC memanfaatkan arus listrik untuk menghasilkan koagulan langsung di dalam sistem pengolahan. Koagulan ini berperan penting dalam mengendapkan polutan melalui proses elektrokimia, sehingga mampu menurunkan kadar TSS secara signifikan (Chen, 2004). Keunggulan teknologi ini dibandingkan metode konvensional meliputi efisiensi biaya, pengurangan penggunaan bahan kimia, dan minimalisasi sludge, yang berkontribusi pada keberlanjutan proses pengolahan limbah (Holt et al., 2002).

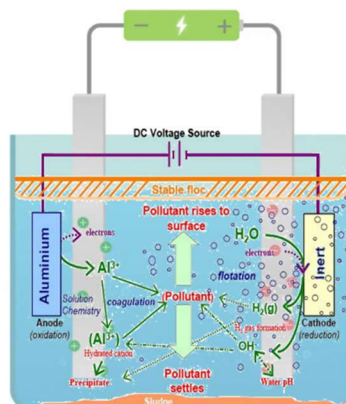


2. Latar Belakang

CMTF Duri berfungsi sebagai pusat pengolahan limbah drilling mud yang kompleks. Limbah ini mengandung senyawa organik, logam berat, dan padatan tersuspensi yang memerlukan penanganan khusus. Teknologi EC dipilih karena kemampuan koagulasinya yang efisien, dan dapat menangani beberapa jenis polutan dalam satu siklus proses (Drouiche et al., 2012). Dalam EC, elektroda aluminium atau besi dimanfaatkan untuk melepaskan ion-ion yang membentuk flok dengan polutan dalam air limbah, sehingga memudahkan pengendapan partikulat dan penghilangan logam berat (Nouri et al., 2010). Teknologi ini cocok untuk skala besar, sesuai dengan kebutuhan operasional di CMTF Duri yang terus meningkat.

Pengolahan limbah drilling mud di CMTF Duri bertujuan untuk menghilangkan Total Suspended Solids (TSS) serta senyawa organik dan logam berat yang terdapat dalam limbah. Limbah ini terbukti dapat mencemari air tanah dan sumber air permukaan jika tidak diolah dengan benar, dan teknologi EC menjadi pilihan utama karena dapat mengurangi berbagai jenis polutan dalam satu proses (Drouiche et al., 2012; Daneshvar et al., 2006).

Elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium atau besi yang dilepaskan ke dalam limbah melalui arus listrik, membentuk ion koagulan yang mengikat partikel polutan. Flokulasi elektrokimia yang terjadi memfasilitasi pengendapan padatan terlarut dan tersuspensi, serta mendorong penghilangan logam berat dan minyak (Nouri et al., 2010). Dengan menggunakan kontrol tegangan dan arus yang tepat, proses ini dapat ditingkatkan skalanya sesuai kebutuhan.



Gambar 1. Ilustrasi Reaksi Yang Terjadi di Reaktor Elektrokoagulasi

Seiring dengan meningkatnya aktivitas pengeboran di CMTF Duri, PT Pertamina Hulu Rokan menghadapi tantangan dalam pengelolaan limbah drilling mud dengan volume yang terus meningkat. Hal ini menuntut solusi teknologi pengolahan limbah yang tidak hanya memenuhi standar kualitas air tetapi juga scalable untuk mendukung pengembangan fasilitas. Laporan-laporan sebelumnya menunjukkan bahwa EC mampu



mengurangi polutan dalam air limbah secara signifikan, menjadikannya kandidat utama untuk diterapkan dalam skala lebih besar di CMTF Duri.

Teknologi EC menggunakan elektroda aluminium atau besi yang melepaskan ion-ion koagulan saat dialiri listrik. Ion-ion ini bereaksi dengan polutan, membentuk flok yang memudahkan pengendapan partikel tersuspensi. Proses ini memungkinkan EC untuk menargetkan berbagai jenis polutan dalam satu langkah, mencakup logam berat, senyawa organik, dan partikulat.

3. Metodologi

Studi ini melibatkan pengujian lapangan di dua unit EC yang ditempatkan di container #1 dan #2 di CMTF Duri. Pengujian dilakukan dengan mengukur parameter kualitas air seperti pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan Total Suspended Solids (TSS) secara berkala pada berbagai tahap pengolahan. Berikut tahapan metodologi secara detail:

3.1. Pengambilan Sampel

Sampel diambil di tiga titik utama (input, output setelah EC, dan setelah filtrasi) dengan laju alir 2-4 m³/jam, mengikuti metode standar pengambilan sampel untuk limbah cair (APHA, 2012). Sampel diambil setiap jam selama 6 jam operasi untuk memperoleh data yang konsisten.

3.2. Persiapan Sistem EC

Reaktor EC berkapasitas 1000 liter yang dilengkapi dengan elektroda aluminium disiapkan di kedua container. Sistem dilengkapi dengan pompa sentrifugal 4 m³/jam dan filtrasi multi-media (pasir, antrasit, karbon aktif). Tegangan diatur pada 3-4 V dengan arus 10-15 A untuk menjaga efisiensi proses.

3.3. Pengaturan Parameter Operasional

Tegangan dan arus listrik diatur pada rentang 3-4 V dan 10-15 A, dan waktu tinggal hidraulik disesuaikan antara 10-12 menit untuk mencapai efisiensi maksimal. Parameter ini dipantau secara terus-menerus menggunakan kontrol otomatis berbasis PLC (Programmable Logic Controller).

3.4. Analisis Data

Parameter kualitas air diukur sebelum dan sesudah perlakuan EC untuk menilai perubahan konsentrasi TSS, TDS, dan pH. Efisiensi pengurangan TSS dihitung sebagai indikator utama keberhasilan proses, dengan formula berikut:



$$\text{Efisiensi Reduksi TSS} = [\text{TSS sebelum EC} - \text{TSS setelah EC}] / \text{TSS sebelum EC} \times 100\%$$

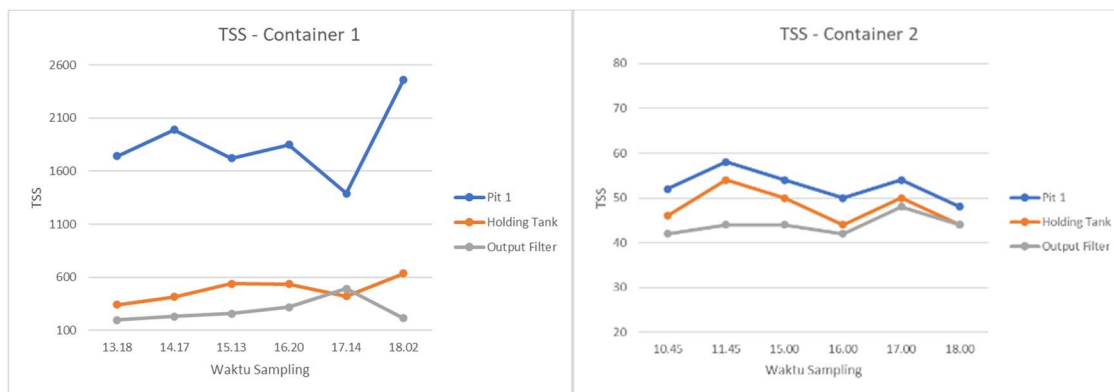
PARAMETER	UNIT	CONTAINER #1	CONTAINER #2
Kapasitas	liter	1000	1000
Tegangan	V	3-4	3-4
Arus	A	10-15	10-15
TDS Input	mg/L	2500	2500
TSS Awal	mg/L	1200	1200
TSS Setelah EC	mg/L	350	150
Efisiensi TSS	%	71.5	87.07

Tabel 1. Variabel Operasional dan Parameter Pengukuran

4. Hasil

4.1. Efektivitas Pengurangan TSS

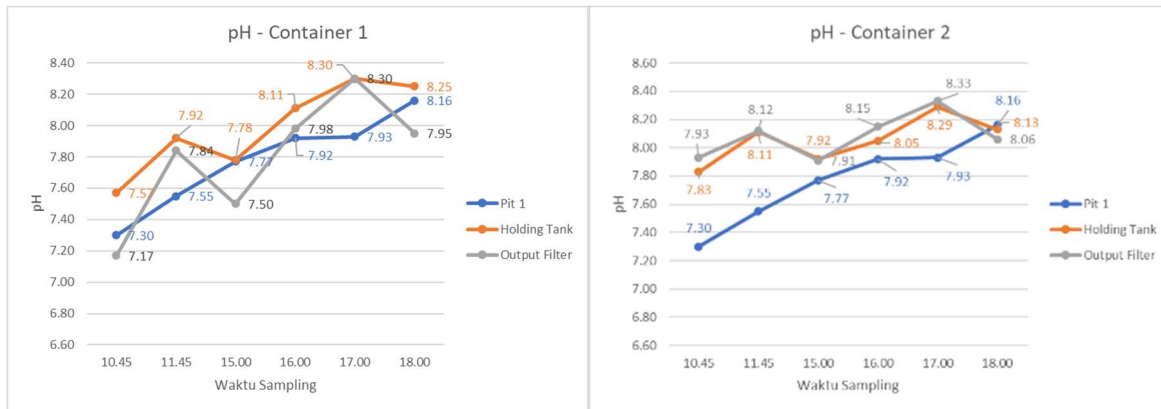
Container #2 menunjukkan efisiensi pengurangan TSS tertinggi dengan angka 87.07%, diikuti oleh 84.22% dan 85.61% pada uji berikutnya. Container #1, meskipun tetap efektif, menghasilkan efisiensi yang lebih rendah antara 74.11% hingga 80.23%, yang mengindikasikan adanya perbedaan konfigurasi atau stabilitas arus.



Gambar 1. Efisiensi TSS antara Container #1 dan #2

4.2. Pengaruh Parameter Lingkungan

Penyesuaian parameter lingkungan seperti pH dan suhu sangat mempengaruhi kinerja EC. Suhu operasional yang stabil antara 27-30°C dan pH optimal 7-8 mendukung pembentukan flok yang lebih stabil, sesuai dengan hasil penelitian **Koby et al. (2003)**.



Gambar 2. Variasi pH Berdasarkan Waktu Sampling

4.3. Karakteristik Sludge yang Dihasilkan

EC menghasilkan sludge dalam jumlah minimal, namun komposisinya memerlukan perhatian khusus. **Tabel 2** menampilkan komposisi sludge yang dihasilkan berdasarkan kandungan logam berat dan komponen lain.

PARAMETER	UNIT	NILAI CONTAINER #1	NILAI CONTAINER #2
Kandungan Logam Berat	mg/kg	0.35	0.28
Kandungan Organik	%	10.2	8.5
Volatilitas	%	15.7	12.8

Tabel 2. Karakteristik Sludge Hasil Proses EC

4. Diskusi dan Implikasi Pengembangan Skala

Kinerja EC yang tinggi pada container #2 mendukung potensi pengembangan skala besar. Dalam skala lebih besar, disarankan peningkatan kapasitas reaktor dan penambahan sistem filtrasi sekunder. Teknologi ini dapat dioptimalkan lebih lanjut dengan sistem pemantauan real-time berbasis IoT untuk pemantauan otomatis parameter operasional.

Selain itu, penting untuk mengembangkan analisis ekonomi yang mendalam, termasuk perbandingan biaya per unit reduksi polutan terhadap metode pengolahan konvensional. Dengan demikian, aspek ekonomi dan kelayakan jangka panjang dapat lebih jelas untuk mendukung keputusan manajemen.



5. Kesimpulan dan Rekomendasi

Teknologi EC terbukti efektif dan ramah lingkungan dalam pengolahan limbah drilling mud, dengan efisiensi reduksi TSS mencapai 87.07% pada container #2. Rekomendasi meliputi:

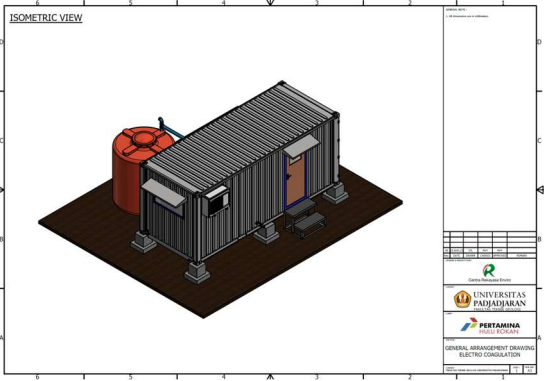

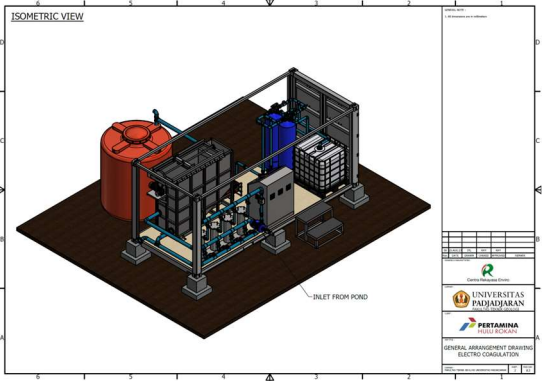
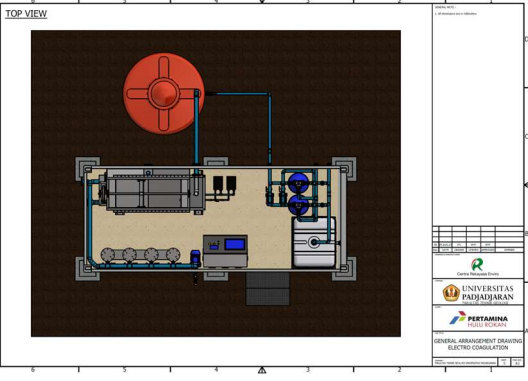

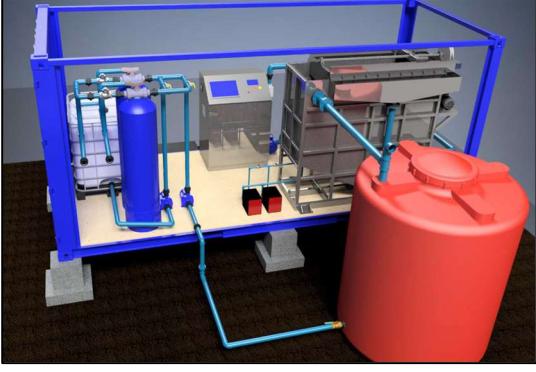
1. **Optimasi Container #1:** Penyesuaian parameter arus dan konfigurasi elektroda agar mencapai efisiensi serupa dengan container #2.
2. **Pengembangan Skala:** Peningkatan kapasitas reaktor dan integrasi sistem filtrasi tambahan untuk volume limbah yang lebih besar.
3. **Pemantauan Real-Time:** Implementasi sistem pemantauan berbasis IoT untuk pengawasan parameter operasional secara real-time.

Daftar Referensi

- **APHA.** (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition.
- **Chen, G.** (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41.
- **Daneshvar, N., Ashassi-Sorkhabi, H., & Tizpar, A.** (2006). Decolorization of orange II by electrocoagulation method. *Separation and Purification Technology*, 31(2), 153-162.
- **Drouiche, N., et al.** (2012). Experimental study of lead removal from water by electrocoagulation using stainless steel electrodes. *Desalination*, 312, 69-74.
- **Holt, P.K., Barton, G.W., & Mitchell, C.A.** (2002). Electrocoagulation as a wastewater treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 211(2-3), 233-248.
- **Koby, M., Demirbas, E., & Oncel, M.S.** (2003). Removal of heavy metals from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic modeling and isotherm studies. *Water Research*, 37(17), 4333-4343.
- **Mollah, M.Y.A., et al.** (2001). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41.
- **Nouri, J., et al.** (2010). Application of electrocoagulation process in removal of heavy metals from aqueous wastes. *Desalination and Water Treatment*, 20(1-3), 79-86.
- **Vik, E.A., et al.** (1984). Electrocoagulation of potable water. *Water Research*, 18(11), 1355-1360.



LAMPIRAN:

 <p>ISOMETRIC VIEW</p> <p>UNIVERSITAS PADJADJARAN PERTAMINA GENERAL ARRANGEMENT DRAWING ELECTRO COAGULATION</p>	
<p>Desain Container Elektrokoagulasi</p>	<p>Desain 3D Container Elektrokoagulasi</p>
 <p>ISOMETRIC VIEW</p> <p>INLET FROM POND</p> <p>UNIVERSITAS PADJADJARAN PERTAMINA GENERAL ARRANGEMENT DRAWING ELECTRO COAGULATION</p>	 <p>TOP VIEW</p> <p>UNIVERSITAS PADJADJARAN PERTAMINA GENERAL ARRANGEMENT DRAWING ELECTRO COAGULATION</p>
<p>Desain Tampak Isometrik Elektrokoagulasi</p>	<p>Desain Tampak Atas Elektrokoagulasi</p>
	
<p>Desain Sistem Piping Elektrokoagulasi</p>	<p>Desain Sistem Piping Elektrokoagulasi</p>



Waste Pond dan Pompa Intake



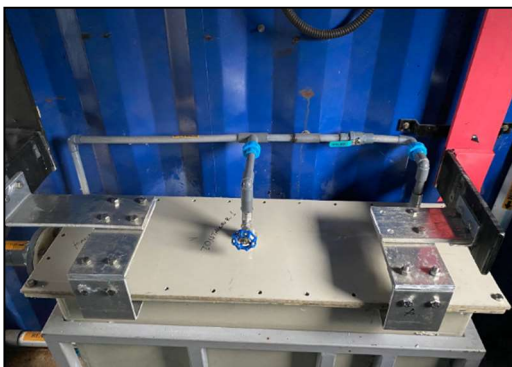
Sistem Perpipaan Pompa Intake



Reaktor Cubical Elektrokoagulasi



Sistem Perpipaan Reaktor



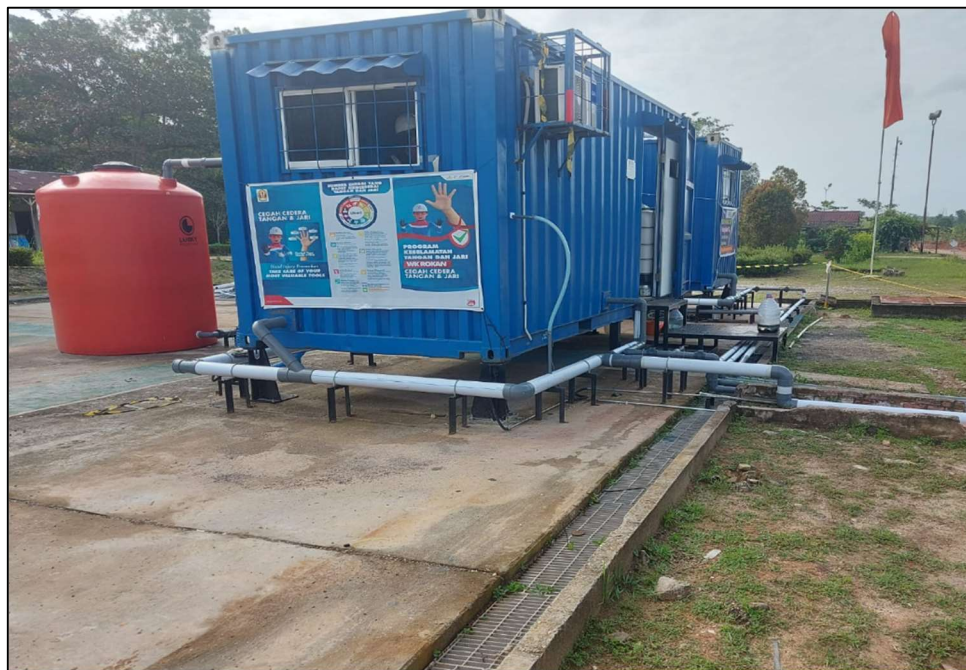
Koneksi Busbar Reaktor



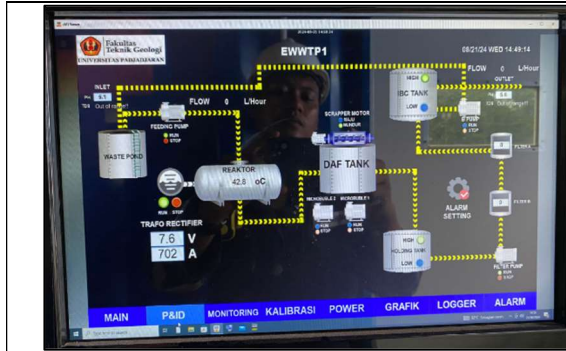
Piping Inlet Reaktor



Fasilitas WWTP Elektrokoagulasi Container 1 dan 2



Fasilitas WWTP Elektrokoagulasi Container 1 dan 2



Dashboard P&ID Keseluruhan Proses



Dashboard Untuk Setting Parameter Tegangan dan Arus



Pemisahan sludge dari limbah setelah reaksi elektrokoagulasi



Perbandingan sampel limbah awal, setelah DAF, dan setelah filter