

Peningkatan Efektivitas Hydrogen Peroksida pada Proses Auto-Oksidasi Senyawa 2-Ethylhydroquinone (EAQ) Melalui Penambahan Tetra Butyl Urea (TBU) dalam *Working Solution*

Johannes Chanra, Mohammad Haifan, Ali Ahmudi, Andi Zukifli Sugma

Program Studi Profesi Insinyur, Institut Teknologi Indonesia, Jln. Puspitek, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia

* Email untuk Korespondensi: Johannes.Tjong@gmail.com

ABSTRAK

Sintesis Hidrogen Peroksida melalui Proses Auto-oksidasi (AO) e-ethyl anthraquinon (EAQ) dilakukan melalui pembuatan working solution sebagai pelarut dan 2-Ethyl anthraquinon (EAQ) sebagai career. Working solution yang mengandung senyawa EAQ dan turunannya yang digunakan cenderung membentuk senyawa sampingan (by product). Senyawa-senyawa sampingan ini memiliki campuran yang cukup kompleks yang dapat menyebabkan degradasi terhadap produk yang dihasilkan dan mengganggu proses pembuatan Hidrogen Peroksida. Produk sampingan ini dapat dicegah dan dihilangkan dengan penambahan senyawa Tetra Butyl Urea ke dalam working solution, senyawa TBU juga mampu menaikkan kelarutan EAQ dan ethylhydroanthraquinon (HEAQ) dalam working solution sehingga mampu meningkatkan nilai Hidrogen Efisiensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan TBU sebesar 10-15 wt% ke dalam working solution atau 2.0-3.5% melalui steam treatment reaktor hidrogenasi dapat meningkatkan efisiensi hidrogenasi dan mencegah terbentuknya produk sampingan. Penurunan tegangan permukaan dari working solutin akan mendorong pembentukan emulsi selama proses ekstraksi sehingga pada proses regenerasi akan mengembalikan working solution ke kondisi semula.

Kata kunci:

hydrogen peroksida,
auto-oksidasi,
2-Ethylhydroquinone
(EAQ),
tetra butyl urea (TBU).

Keywords:

hydrogen peroxide,
auto-oxide,
2-Ethylhydroquinone
(EAQ),
tetra butyl urea (TBU).

Hydrogen Peroxide Synthesis through the Auto-oxidation Process (AO) of e-ethyl anthraquinone (EAQ) is carried out through the manufacture of working solution as a solvent and 2-Ethyl anthraquinone (EAQ) as a career. Working solutions that contain EAQ compounds and their derivatives used tend to form by-product compounds. These by-compounds have a fairly complex mixture that can cause degradation to the resulting product and interfere with the process of making Hydrogen Peroxide. This by-product can be prevented and eliminated by adding Tetra Butyl Urea compound to the working solution, TBU compounds are also able to increase the solubility of EAQ and ethylhydroanthraquinone (HEAQ) in the working solution so that it can increase the value of Hydrogen Efficiency. The results show that the addition of TBU of 10-15 wt% into the working solution or 2.0-3.5% through steam treatment of hydrogenation reactors can increase hydrogenation efficiency and prevent the formation of by-products. The decrease in surface tension of working solutin will encourage the formation of the emulsion during the extraction process so that in the regeneration process it will return the working solution to its original condition.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).
This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

PENDAHULUAN

Hidrogen Peroksida adalah senyawa kimia “hijau” yang merupakan kombinasi antara dua atom hidrogen dan 2 atom Oksigen dengan rumus kimia H_2O_2 dan berat molekul 34 (Azhar, 2020; Estiasih et al., 2022). Hidrogen Peroksida memiliki kestabilan yang cukup baik pada konsentrasi rendah (15%) dan pada konsentrasi tinggi menjadi tidak stabil dan mudah terdekomposisi menjadi H_2O dan O_2 (Adira, 2015; Febryanto, 2017). Hidrogen Peroksida dalam konsentrasi rendah banyak dijumpai dipasaran yang digunakan

sebagai desinfektan dan antiseptik. Penggunaan untuk klinik dan antiseptik memiliki konsentrasi H_2O_2 sekitar 5%, dan larutan ini memiliki sifat membunuh bakteri atau jamur. Untuk luka ringan, daerah yang terkena luka dapat dioleskan dengan kapas yang dicelupkan ke dalam larutan H_2O_2 (5%) dan larutan ini akan “mendidih” atau bergelembung selama beberapa detik sampai gelembung berhenti secara alami, menunjukkan bahwa telah aman. Penelitian terakhir menunjukkan bahwa menggunakan Hidrogen Peroksida pada luka bukanlah suatu hal yang baik karena dapat memperlebar luka atau merusak kulit hidup. Dalam banyak kasus penggunaan larutan alkohol atau larutan Yodium (*Betadine*) jauh lebih aman dibandingkan dengan penggunaan larutan Hidrogen Peroksida.

Hidrogen Peroksida, disamping digunakan sebagai antiseptik, senyawa ini banyak digunakan pada banyak industri, khususnya pada industri kimia dan proteksi lingkungan. Senyawa ini digunakan pada pengolahan air dan air limbah karena dapat terdegradasi menjadi Air dan Oksigen yang merupakan senyawa yang ramah terhadap lingkungan (Rofik & Mokhtar, 2021; Sahabuddin, 2017).

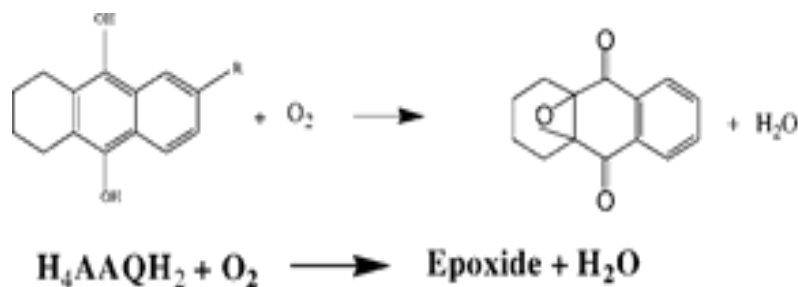
Hidrogen Peroksida secara skala industri dihasilkan melalui proses auto-oksidasi senyawa anthraquinon (*AO Process*). Proses ini sulit dikatakan sebagai proses “hijau” (*green process*) karena proses ini menggunakan proses hidrogenasi dan oksidasi senyawa anthraquinon yang melibatkan campuran senyawa organik (*working solution*) yang diikuti dengan proses ekstraksi liquid-liquid untuk mendapatkan senyawa Hidrogen Peroksida (H_2O_2) yang membutuhkan energi yang besar (*input energy*) dan menghasilkan limbah yang memiliki pengaruh negatif terhadap sustainabilitas dan biaya produksi.

Proses AO Anthraquinon pertama sekali ditemukan oleh Riedl-Pfleiderer, dimana senyawa Aktif Anthraquinon atau Ethyl Anthraquinon (AQ atau EAQ) dilarutkan dalam pelarut organik (*working solution*) dan dengan bantuan katalis senyawa Anthraquinon atau Ethyl-Anthraquinon (AQ atau EAQ) akan di konversi menjadi senyawa Anthrahidroquinon (HEAQ) yang kemudian mengalami proses oksidasi dengan menggunakan Oksigen sehingga akan kembali ke senyawa Anthraquinon (AQ) dan menghasilkan reaksi sampingan berupa H_2O_2 .

HEAQ, EAQ dan H_2O_2 terdapat dalam *working solution* dan akan dipisahkan melalui proses ekstraksi dengan menggunakan air. Senyawa H_2O_2 yang diperoleh akan dimurnikan melalui proses destilasi dan evaporasi untuk menghasilkan produk akhir. Sedangkan *working solution* yang terdapat pada menara ekstraksi akan kembali dimurnikan dengan senyawa alkali dan melalui langkah proses post-treatment dan *working solution* yang mengandung senyawa aktif Anthraquinon (EAQ), pelarut organik dan produk sampingan yang terbentuk sewaktu proses Hidrogenasi dan Oksidasi akan disirkulasi kembali ke menara Hidrogenasi.[5]. Selama proses sirkulasi berlangsung, senyawa aktif Anthraquinon (EAQs) dalam hal ini termasuk Alkylanthraquinon (EAQ) dan senyawa Alkyltetrahydroanthraquinon (H_4AAQH_2), dapat digunakan untuk menghasilkan H_2O_2 , bahan-bahan ini juga dapat didegradasi melalui proses hidrogenasi mendalam (*deep hydrogenation*) melalui cincin aromatik yang aktif; hidrolisis dari gugus karbonil dalam senyawa aktif EAQs akan di proses melalui proses oksidasi mendalam (*deep oxydation*) untuk menghasilkan produk sampingan yang telah kehilangan kemampuan untuk menghasilkan senyawa H_2O_2 .

Senyawa produk sampingan dari proses AO, umumnya adalah senyawa epoxidated alkyltetrahydroquinone (*epoxide*), *octahydro-alkylanthraquinone*, *alkylanthrone*, dan senyawa *alkylanthracene*.

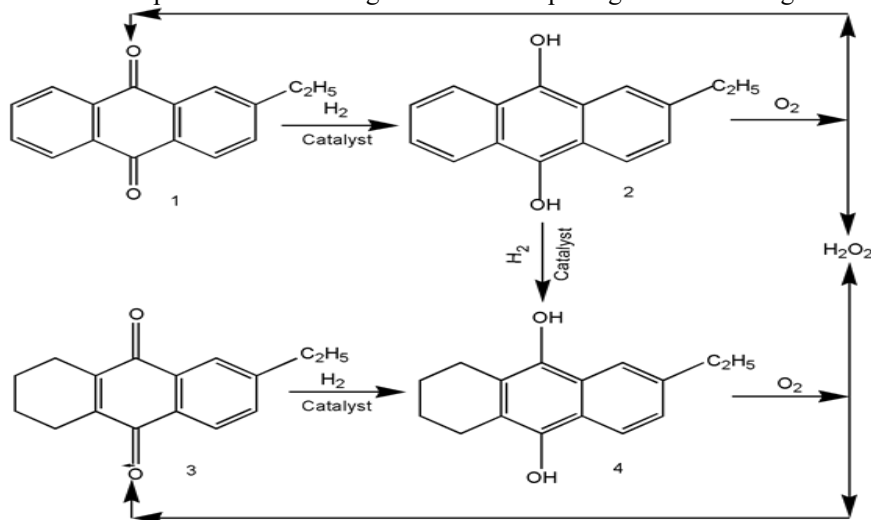
Diantara produk sampingan yang disebutkan diatas, senyawa epoxide dan senyawa AAQ yang terhidrogenasi dapat di konversi balik ke EAQs dalam kondisi basa. *Epoxide* yang terbentuk sewaktu proses oksidasi dan juga EAAQ yang terbentuk sewaktu tahap proses hidrogenasi, formasi reaksi yang terjadi merupakan suatu reaksi yang paralel dengan reaksi pembentukan H_2O_2 . Dalam hal ini dapat diperlihatkan suatu contoh pembentukan Alkyltetrahydroanthraquinone (H_4AAQH_2) yang bereaksi dengan senyawa Oksigen membentuk senyawa Epoxide dan air, dengan reaksi dibawah ini:



Gambar 1. Reaksi Pembentukan senyawa Epoxide [11]

Untuk menghilangkan akumulasi dari hasil reaksi sampingan (*by product*), dibutuhkan proses regenerasi. Proses regenerasi membutuhkan berbagai senyawa kimia seperti Activated Alumina, senyawa asam, senyawa basa, peroksida dan ozon. Proses regenerasi *by product* menggunakan alkali alumina telah dilakukan, tetapi proses ini sangat sulit dan mahal (Aufa, 2017; Tamas, 2017). Walaupun kemampuan regenerasi dengan senyawa alumina lebih lemah bila dibandingkan dengan senyawa-senyawa yang lainnya, tetapi alkali alumina lebih mudah beradaptasi dengan proses AO. Proses dengan menggunakan Alkali Alumina membutuhkan jumlah Alkali Alumina (*Activated Alumina*) yang besar sekali dan senyawa Alkali Alumina ini mudah ter-deaktivasi oleh air dan *by product* yang terbentuk sewaktu proses polimerisasi pelarut senyawa aromatik. Teknik regenerasi ini membutuhkan biaya yang tinggi dan dalam hal lain juga terbatas pada banyak parameter yang harus dikendalikan sewaktu proses berlangsung (Andina, 2017). Parameter-parameter ini sangat berpengaruh terhadap keberhasilan proses regenerasi dan perlu dilakukan investigasi yang lebih lanjut melalui proses penelitian ini (Hari et al., 2017; Prayitno et al., 2022).

Proses reaksi pembentukan Hidrogen Peroksida dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Route pembentukan senyawa hidrogen peroksida [11]

Dalam AO proses dengan *Ethyl Anthraquinon* (EAQ), terdapat 2 elemen kunci (*key element*) yang harus diperhatikan yakni senyawa *Ethyl Anthraquinon* yang berfungsi sebagai “*carrier*” dan “*working solution*” yang berfungsi sebagai pelarut. Dasar pembuatan *working solution* adalah untuk melarutkan senyawa *Ethyl Anthraquinon* (EAQ) juga membantu proses hidrogenasi dari Anthraquinon dan reaksi oksidasi agar dapat dilakukan dalam bentuk perpindahan massa gas dan cair. Dalam proses ekstraksi dalam hal ini dengan menggunakan air, senyawa hidrogen peroksida yang terlarut pada saat proses oksidasi akan diekstraksi untuk mendapatkan senyawa Hidrogen Peroksida sebagai produk akhir. Fasa ekstraksi untuk memperoleh cairan dalam proses ekstraksi melalui metode elektrolisis akan di-resirkulasi melalui proses hidrogenasi *Ethyl Anthraquinon*. Dalam hal ini *working solution* dapat dibayangkan sebagai darah dalam tubuh yang mengalami sirkulasi.

Pada proses AO dengan Anthraquinon, fungsi dari *working solution* adalah sangat penting sekali sehingga pemilihan pelarut yang sesuai sangat dibutuhkan dalam hal ini pelarut yang digunakan harus merupakan pelarut yang bersifat non-polar dan pelarut polar. Senyawa *Ethyl Anthraquinon* (EAQ) hanya bisa larut dalam pelarut non-polar sedangkan senyawa *Ethyl Anthrahydroquinon* (HEAQ) hanya bisa larut dalam pelarut polar. Oleh sebab itu *working solution* harus dibuat dari 2 jenis pelarut yakni pelarut non-polar dan pelarut polar dengan proporsi yang tepat.

Dalam metode ini, hidrogen peroksida dibuat dengan menggunakan EAQ sebagai pembawa (*career*) dan AR (*Aromatic*), *Tetra Butyl Urea* (TBU) dan *Tri Octyl Phosphate* (TOP) sebagai pelarut campuran, dan disiapkan sebagai *Working Solution*. Larutan bereaksi dengan hidrogen untuk mendapatkan larutan HEAQ, dan larutan HEAQ bereaksi dengan Oksigen. Hydroanthraquinone (HEAQ) dikembalikan ke anthraquinone asli (EAQ), dan hidrogen peroksida dihasilkan pada saat yang sama. Menggunakan perbedaan kelarutan hidrogen peroksida dalam air dan *working solution*, larutan hidrogen peroksida diekstraksi dengan air murni. Senyawa *Ethyl Anthraquinon* (EAQ) harus dilarutkan dalam pelarut yang sesuai untuk hidrogenasi, oksidasi,

dan ekstraksi yang disebut *working solution*. Campuran pelarut polar dan non-polar selalu digunakan karena kuinon dan hidrokuinon memiliki kelarutan yang berbeda. Kuinon mudah larut dalam pelarut aromatik nonpolar (pelarut *kuinon*). *Hidrokuinon* larut dengan baik dalam pelarut polar, terutama alkohol dan ester (pelarut *hidrokuinon*).

Pemilihan pelarut untuk *working solution* harus memperhatikan kestabilan sewaktu proses produksi dan prinsip dasar dari pemilihan pelarut, yakni viskositas, titik didih (*boiling point*), tegangan permukaan dan kestabilan pelarut tersebut (Aprilia et al., 2023). Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dikenal beberapa pelarut yang umum digunakan yakni diisobutyl carbinol (DIBC), *2-methylcyclohexyl acetic ester*, *tri octyl phosphate* (TOP), *tetra butyl urea* (TBU), dan untuk pelarut non-polar dikenal sebagai pelarut aromatik yakni tri methyl benzene (TMB). Pada umumnya proses AO-EAQ menggunakan pelarut aromatik, TOP dan TBU dengan proporsi tertentu. Pemilihan pelarut dan proporsinya sangat besar pengaruhnya terhadap hasil akhir yang akan diperoleh terutama terhadap Efisiensi Hidrogenasi dan Efisiensi Oksidasidari senyawa EAQ. Pembentukan senyawa samping atau by product juga memiliki hubungan yang erat dengan pemilihan pelarut pada *working solution*. Pembentukan reaksi samping (*side reaction*) ini terjadi pada tahap proses hidrogenasi dan proses oksidasi, khususnya pada saat *catalytic hydrogenation step*, dimana *working solution* secara bertahap akan terkonversi menjadi produk yang terdegradasi yang dapat digolongkan sebagai *non-effective anthrakuinon*, produk ini tidak bisa berubah dari kuinon (EAQ) menjadi hidrokuinon (HEAQ) sehingga tidak menghasilkan hidrogen peroksida. Senyawa *by product* ini harus dihilangkan dari *working solution* karena dapat menyebabkan hidrogen peroksida yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang diinginkan yakni perubahan bau, warna. Senyawa organik yang tiak terlarut dalam *working solution* akan menyebabkan kenaikan viskositas dan densitas. Kenaikan viskositas pada *working solution* sangat berpengaruh pada proses reaksi di reaktor hidrogenasi (*mechanical problem*) dan kenaikan densitas berpengaruh pada tahap ekstraksi dan evaporasi terhadap senyawa hidrogen peroksida. Dalam hal densitas, harus dibuat berbeda dengan air, karena pemisahan *working solution* menggunakan media air dan dasarnya adalah perbedaan densitas. Hasil reaksi samping (*by product*) dapat menyebabkan kerusakan aktivitas katalis Palladium dan mengurangi umur katalis yang ada di reaktor hidrogenasi (Cahyaningrum & Adam, 2017; Mardwita et al., 2016).

Pada umumnya laju pembentukan produk yang terdegradasi ini akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu pada *working solution* sewaktu proses hidrogenasi dan oksidasi berlangsung. Lebih jauh, pembentukan senyawa *by product* ini akan naik tajam pada tahap hidrogenasi sebagai proporsi dari *working solution* yang meningkat melewati sistim (*Depth of Hydrogenation*).

Seperti yang disebutkan diatas *by product* yang terbentuk pada proses AO-EAQ dikenal sebagai senyawa *Oxanthron*, *Anthron*, *Dianthron*, *Octahydroethyl anthraquinone*, *Epoxide*. Semua *by product* ini adalah bersifat lembam (inert) untuk proses AO dan dapat mengakibatkan hilangnya keaktifan Anthrakuinon, beberapa *by product* ini dapat di regenerasi kembali menjadi senyawa Anthrakuinon yang aktif.

METODE

Eksperimen dilakukan pada pabrik Hidrogen Peroksida dengan Metode AO- Anthrakuinon dengan Reaktor Hidrogenasi Fixed-Bed di PT. Pindo Deli Pulp and Paper yang berlokasi di Karawang Barat. Analisis terhadap sampel yang di ambil dilakukan pengukuran sebagai berikut:

1. Pengukuran Densitas pada suhu 25^oC dengan *Densitometer*
2. Pengukuran Viskositas pada suhu 40^oC, dengan *Broekfield Viscometer*
3. Pengukuran Solubilitas
4. Pengamatan terhadap *Apperance* Sampel seccara visual
5. Penentuan HWS Effisiensi terhadap EAQ, H_4AAQH_2, TMB, TOP dan M.C

Semua pengukuran mengikuti Standard ASTM yang tersedia dan dilakukan di laboratorium Hidrogen peroksida PT. Pindo Deli 2 Pulp and paper di Karawang Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran terhadap sampel dimana TBU di tambahkan langsung dalam working solution, yakni sample A1, A2, A3 dan A4.

Tabel 1. Hasil Analisis Working Solution Dengan TBU Dalam Working Solution

No	Analisis (Test)	Hasil Analisis			
		A1	A2	A3	A4
	Nama Sampel				
1	Jumlah Sludge (%)	0	0.58	1.70	3.58
2	Jumlah TBU	0	5	10	15
3	Densitas, 25 C	0.9255	0.9328	0.9440	0.95120
4	Viskositas, 40 C	1.3892 cPs	1.4268 cPs	1.43128 cPs	1.4523 cPs
5	Solubilitas	Soluble	Soluble	Soluble	Haze
6	Appearance	Ligh	Ligh	Light	Hazy
		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
7	Efisiensi HWS	4.88 g/L	5.024 g/L	5.45 g/L	5.589 g/L
8	EAQ	71.82	72.80	72.98	73.28
9	H4EAQ	68.58	69.80	70.87	71.80
10	Total EAQ	140.4	142.6	143.8	145.0
11	TMB, %	75	75	75	75
12	TOP, %	25	20	15	10

Tabel 2. Hasil Analisis Terhadap Working Solution Dengan Penambahan TBU Setelah Steam Treatment Pada Reaktor Hidrogenasi

No	Analisis (Test)	Hasil Analisis			
		B1	B2	B3	B4
	Nama Sampel				
1	Jumlah Sludge (%)	0	0.58	1.70	3.58
2	Jumlah TBU	0	2.5	3.5	5.0
3	Densitas, 25 C	0.9255	0.9550	0.9688	0.9978
4	Viskositas, 40 C	1.3889 cPs	1.4988 cPs	1.5288 cPs	1.5588 cPs
5	Solubilitas	Soluble	Soluble	Soluble	Haze
6	Appearance	Ligh	Ligh	Light	Hazy
		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
7	Efisiensi HWS	4.88 g/L	5.54 g/L	5.88 g/L	5.98 g/L
8	EAQ	72.00	73.80	74.80	75.58
9	H4EAQ	69.00	70.20	72.80	73.90
10	Total EAQ	141	144	147.6	149.4
11	TMB, %	75	75	75	75
12	TOP, %	25	25	25	25

Dari hasil penelitian sebelumnya melalui **Patent CN1519193A**, dinyatakan bahwa TBU tidak membentuk komposisi senyawa organophosphorus dalam pelarut anthrahydroquinone yang terdapat dalam working solution dan pengaruhnya terhadap perubahan densitas tidaklah besar sehingga tidak mempengaruhi proses ekstraksi. Selanjutnya masalah pelarut aromatik dengan TOP yang pada mulanya memiliki permasalahan karena pembentukan senyawa "tetra" telah dapat diselesaikan dengan penambahan TBU pada kisaran 3.5 wt%. Pelarut lebih mudah melarutkan senyawa anthraquinone dan anthrahydroquinone dengan sempurna sehingga menghasilkan konsentrasi anthraquinone dan konsentrasi anthrahydroquinone dan hal ini mengurangi biaya produksi. Sistem pelarut dengan TBU memiliki keunggulan dalam mendorong proses hidrogenasi beerlangsung lebih cepat, kehilangan solvent yang lebih rendah dan memiliki sifat antioksidan yang lebih baik (Syahfitri, 2023).

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut: Metode penambahan TBU ke dalam working solution lebih baik dilakukan sebelum masuk ke reaktor hidrogenasi karena perubahan densitas dan viskositas lebih rendah dibandingkan dengan penambahan TBU setelah proses hidrogenasi berlangsung. Penambahan TBU setelah steam treatment melalui reaktor hidrogenasi mencapai nilai efektivitas pada kisaran 2.0-3.5 wt%, nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan penambahan sebelum treatment yang mencapai 10-15 wt% TBU. Penambahan TBU dapat meningkatkan kelarutan senyawa Anthrakuino

Peningkatan Efektivitas Hydrogen Peroksida pada Proses Auto-Oksidasi Senyawa 2-Ethylhydroquinone (EAQ) Melalui Penambahan Tetra Butyl Urea (TBU) dalam Working Solution

(EAQ) dan senyawa Anthrahidrokuinon (HEAQ) sehingga memberikan output Hidrogen Peroksida yang jauh lebih besar yang dapat dilihat dari peningkatan nilai Hidrogen Efisiensi. Penambahan TBU dalam working solution menyebabkan sludge yang dihasilkan menjadi bagian yang aktif dari working solution sehingga akan memberikan kontribusi pada reaksi utama dan mampu mencegah terjadinya produk samping berupa senyawa "tetra". Selain itu, penambahan TBU dalam jumlah yang berlebih dapat mencegah terjadinya pembentukan sludge yang kental atau produk samping (tetra), sehingga sludge yang dihasilkan dapat larut dengan sempurna pada temperatur kamar.

REFERENSI

- Adira, D. L. (2015). *Pengaruh Konsentrasi Hidrogen Peroksida (H₂) Dan Penambahan Stabilisator H₂O₂ (Stabilisoko) Pada Proses Oksidasi Pencelupan Benang Kapas Dengan Zat Warna Belerang Larut (Sulphol Black) Terhadap Sifat Fisik Benang O₂*.
- Andina, K. (2017). Pemisahan Minyak/Air dengan Teknologi Membran dalam Pengolahan Air Limbah. *Bandung Institute of Technology, February*.
- Aprilia, A. P., Nugraha, A. R., Aziz, A. N., Fatma, R. A., Jelita, E. S. L., Husna, M. N., & Seftiyani, S. P. (2023). Kulit Telur Berbasis eco-Composite dan Kaolin sebagai Bahan Pelapis Kertas Superhidrofobik. *Jurnal Analis, 2*(2), 200–208.
- Aufa, R. (2017). Teknik Penyisihan Fenol dari Air Limbah. *Institut Teknologi Bandung, 7*(1).
- Azhar, M. (2020). *Mudah Memahami Stoikiometri: Perhitungan Zat pada Rumus Kimia dan Persamaan Reak*. Sukabina Press.
- Cahyaningrum, A., & Adam, F. F. (2017). Pembuatan 1, 2 Propandiol dari Gliserol Melalui Proses Hidrogenolisis Menggunakan Katalis Cu/ZnO dengan Metode Catalytic Transfer Hydrogenation. *Jurnal Kimia, 95*.
- Estiasih, T., Waziroh, E., & Fibrianto, K. (2022). *Kimia dan Fisik Pangan*. Bumi Aksara.
- Febryanto, M. A. (2017). Studi Ekstraksi dengan Metode Soxhletasi Pada Bahan Organik Umbi Sarang Semut (*Myrmecodia pendans*) Sebagai Inhibitor Organik. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1*–210.
- Hari, D., Puspita, N. F., Pudjiastuti, L., Setiawan, B., Triastuti, W. E., Ferdiansyah, A., Humaidah, N., & Anzip, A. (2017). Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi Menggunakan Biodigester di Desa Jumput Kabupaten Bojonegoro. *Sewagati, 1*(1), 17–25.
- Mardwita, M., Bustan, M. D., & Haryati, S. (2016). Studi pengaruh ukuran partikel ruthenium dalam katalis Ru/Al₂O₃ pada reaksi hidrogenasi karbon monoksida. *Jurnal Teknik Kimia, 22*(4), 61–68.
- Prayitno, G., Hasyim, A. W., Subagiyo, A., Dinanti, D., & Roziqin, F. (2022). *Ruang Berketahanan Pangan: Menjawab Tantangan Produksi Pangan Berkelanjutan dengan Optimasi Keruangan Menuju Indonesia Berdaulat*. Universitas Brawijaya Press.
- Rofik, M., & Mokhtar, A. (2021). Pencemaran Dalam Lingkungan Hidup. *Program Studi Persatuan Insinyur Indonesia, 1*(1).
- Sahabuddin, E. S. (2017). *Filosofi Cemaran Air*. PTK Press.
- Syahfitri, T. A. (2023). *Laporan Kerja Praktik-Evaluasi Kinerja Heat Exchanger 15-E-101 Pada Unit Rcc Di Pt. Pertamina (Persero) Refinery Unit Vi Balongan-Indramayu Jawa Barat*.
- Tamas, I. N. (2017). Proses Fenton Pada Pengolahan Lindi TPA Ngipik, Gresik. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.