

PRARANCANG UNIT PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK JEANS DENGAN TEKNOLOGI IRADIASI GAMMA

Okto Nugroho¹, Sugili Putra², Noor Anis Kundari³

- 1) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, oktonugroho100@gmail.com
- 2) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, sugiliputra@gmail.com
- 3) Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Indonesia, nooranis@batan.go.id

ABSTRAK

PRARANCANG UNIT PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK JEANS DENGAN TEKNOLOGI IRADIASI GAMMA. Prarancang Unit Pengolahan Limbah Cair Pabrik Jeans dengan Teknologi Iradiasi Gamma. Penggunaan zat warna untuk pewarna tekstil menimbulkan masalah pencemaran lingkungan khususnya air tanah. Masalah pencemaran ini muncul karena zat warna menghambat sinar matahari untuk menembus permukaan air sehingga mengganggu proses fotosintesis. Teknologi radiasi gamma hadir sebagai solusi permasalahan tersebut. Radiasi gamma ketika bereaksi dengan air akan menghasilkan spesi-spesi radikal yang sangat reaktif seperti radikal hidroksil, elektron terhidratasi, dan radikal hidrogen. Spesi-spesi radikal ini akan menyerang senyawa zat warna sehingga akan terjadi degradasi senyawa zat warna. Degradasi senyawa zat warna ini ditandai dengan semakin beningnya air dan merupakan fokus dari penelitian ini. Tingkat absorbansi sampel untuk penelitian ini dikarakterisasi dengan UV-Vis. Nilai konstanta kecepatan reaksi didapatkan sebesar 0,8568/jam dan merupakan reaksi orde satu. Unit pengolahan beroperasi selama 330 hari dalam 1 tahun dengan jumlah tenaga kerja 97 orang. Unit pengolahan limbah cair zat warna ini beroperasi secara kontinu. Limbah cair zat warna akan didegradasi di reaktor iradiasi dengan aktivitas sumber radioaktif yang digunakan sebesar 38778,44 Ci dengan massa 34,37 gram. Analisis ekonomi diperlukan untuk menentukan kelayakan proyek ini. Untuk memulai proyek ini dibutuhkan biaya investasi total sebesar Rp. 302.214.868.272 dan total biaya produksi sebesar Rp. 60.192.080.967 dengan harga pegolahan limbah cair zat warna Rp. 1000 per kg. Dari analisis ekonomi didapatkan nilai BEP 29,97% atau Rp. 39.515.210.597, ROI 17,60 %, Payback Time 5,68 tahun, dan DCFROR 17,79 %. Proyek ini layak dan menarik untuk dibangun.

Kata kunci: analisis ekonomi, degradasi limbah zat warna, teknologi iradiasi gamma

ABSTRACT

PRE-DESIGN OF JEANS FACTORY LIQUID WASTE TREATMENT UNIT WITH GAMMA IRRADIATION TECHNOLOGY. The use of dyes for textile dyes raises environmental pollution problems, especially groundwater. This pollution problem arises because dyes inhibit sunlight to penetrate the surface of the water which disrupts photosynthesis. Gamma radiation technology is present as a solution to these problems. Gamma radiation when reacting with water will produce highly reactive radical species such as hydroxyl radicals, hydrated electrons, and hydrogen radicals. These radical species will attack the dyestuff compound so that the dye substance degradation will occur. The degradation of the dyestuff compound is characterized by increasingly clear water and is the focus of this research. The absorbance level of the sample for this study was characterized by UV-Vis. The reaction rate constant value is 0.8568 1 hour and is a first-order reaction. The processing unit operates for 330 days in 1 year with a manpower of 97 people. This dye wastewater treatment unit operates continuously. The liquid waste of the dyestuff will be degraded in the irradiation reactor with the activity of the radioactive source used at 38778.44 Ci with a mass of 34.37 grams. Economic analysis is needed to determine the feasibility of this project. To start this project a total capital investment of Rp. 302,214,868,272 and total production costs of Rp. 60,19,080,967 with the price of processing of dyestuff wastewater Rp. 1000 per kg. From the economic analysis, the BEP value is 29.97% or Rp. 39,515,210,597, ROI 17.60 %, Payback Time 5.68 years, and DCFROR 17.79%. This project is feasible and interesting to build.

Key words: economic analysis, dyestuff waste degradation, gamma irradiation technology

PENDAHULUAN

Pewarna adalah zat warna-warni yang dirancang untuk memberi bahan seperti kain, kertas, atau warna apa pun untuk warna. Ini dimungkinkan karena pewarna dapat menempel pada bahan yang bisa diterima. Pewarna telah digunakan oleh manusia selama lebih dari seribu tahun untuk berbagai aplikasi. Pewarna sintetis baru-baru ini ditemukan dan produksinya dalam skala besar dimulai karena kenaikan permintaan pewarna. Saat ini, pewarna sintetis telah menjadi bahan penting yang banyak digunakan untuk memberi warna pada tekstil, kosmetik, plastik dan pencetakan. Banyak limbah berwarna yang mengandung pewarna dilepaskan dari industri makanan, kulit, tekstil, dan pewarna. Industri tekstil sebagian besar memproduksi limbah yang terkontaminasi dengan pewarna. Industri tekstil (54%) melepaskan jumlah limbah zat warna paling besar, industri pewarna (21%), industri kertas dan pulp (10%), industri cat dan penyamakan (8%), dan industri manufaktur pewarna (7%) [1].

Polutan organik yang berbeda dalam sumber air dan tanah ditemukan mengandung pewarna residu. Pewarna azo adalah pewarna yang paling disukai digunakan di sektor industri, mengandung satu atau lebih gugus azo yang dapat menahan pemecahan zat warna dan menumpuk di lingkungan pada konsentrasi tinggi. Ketika pewarna hadir dalam sistem air, penetrasi sinar matahari berkurang yang mengganggu aktivitas fotosintesis yang mengakibatkan penurunan kualitas air, kelarutan gas dan menyebabkan efek toksik akut pada flora dan fauna air. Sebagian besar pewarna dan produk penguraiannya yang dilepaskan dari air limbah beracun, karsinogenik, dan mutagenik bagi manusia dan bentuk kehidupan lainnya [2]. Dengan demikian, menghilangkan warna dari industri tekstil dan limbah industri manufaktur zat warna adalah masalah lingkungan yang tinggi. Banyak metode pengolahan air limbah seperti oksidasi kimia, koagulasi, filtrasi, adsorpsi, dan elektrolisis telah digunakan untuk menghilangkan pewarna dari limbah air limbah sebelum dibuang [2, 3].

Industri pembuatan pewarna mewakili bagian yang relatif kecil dari keseluruhan industri kimia. Di seluruh dunia produksi pewarna hampir 800.000 ton per tahun. Sekitar

10-15 % pewarna sintetis hilang selama proses industri tekstil yang berbeda [4]. Jumlah produksi tekstil di Indonesia pada tahun 2011 sampai 2015 disajikan pada Tabel 1.

Tabel. 1. Jumlah Produksi Tekstil di Indonesia [5]

Tahun	Jumlah Perusahaan	Kapasitas (ton)	Jumlah Produksi (ton)
2011	4811	8859165	6419196
2012	4937	9148167	6893647
2013	5178	10214396	7463198
2014	5285	10252121	7021991
2015	5273	10854594	6278203

Teknologi iradiasi, sebagai proses oksidasi lanjut, telah menjadi sebuah proses yang menjanjikan untuk pengolahan limbah air buangan berbahaya. Warna pada umumnya akan berubah ketika terpapar radiasi ionisasi [3]. Metode iradiasi gamma menghasilkan *OH radikal, elektron terhidratasi, dan radikal hidrogen yang akan menyerang senyawa organik dengan cepat dan kuat [4].

Secara umum terdapat empat kategori berdasarkan desain fasilitas dan desain akses serta proteksi radiasi material radioaktif. Irradiator kategori IV merupakan irradiator dengan akses manusia yang terkontrol. Sumber yang tersegel disimpan dalam kolam penyimpanan yang diisi dengan air. Sumber terlindungi saat tidak digunakan dan pada saat digunakan sumber terbuka dalam sebuah volume radiasi yang dijaga tidak dapat diakses oleh manusia melalui sistem kendali masuk [5]. Pada penelitian ini merancang pabrik pengolahan limbah zat warna dengan memodifikasi irradiator kategori IV.

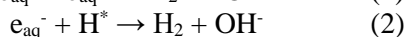
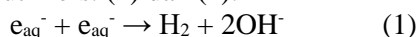
Iradiasi Gamma

Radiolisis air oleh ionisasi radiasi (contoh : Sinar- γ dari Co-60) menimbulkan pembentukan elektron terhidratasi (e_{aq}^-), H^+ , OH^- , H^* , *OH , H_2 , H_2O_2 , O_2^* [6] konsentrasi spesi-spesi tersebut tergantung pada energi iradiasi gamma, laju absorpsi, pH larutan, dan suhu [7]. Ketika air berinteraksi dengan radiasi gamma, maka terdekomposisi membentuk campuran radikal pereduksi primer dan radikal pengoksidasi primer (OH^* , e_{aq}^- , H^*) serta produk molekuler (H_2 dan H_2O_2) [8].

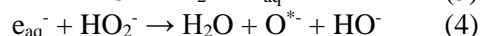
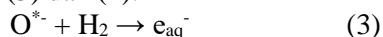
Metode iradiasi gamma menghasilkan *OH , elektron terhidratasi, dan radikal hidrogen yang akan menyerang senyawa organik dengan

cepat dan kuat [4]. Tanpa adanya O₂, umur radikal pereduksi (H* dan e_{aq}⁻) meningkat. Radikal tersebut kemudian dapat [9]:

1. Bereaksi dengan diri sendiri dan berkontribusi dalam pembentukan H₂ sekunder, reaksi terjadi pada pH 13 mengikuti Pers. (1) dan (2).



2. Terlibat dalam versi dasar reaksi berantai Allen, yang mengarah pada rekombinasi H₂ dan membatasi konsentrasinya seperti pada Pers. (3) dan (4).



Kinetika Degradasi Zat Warna

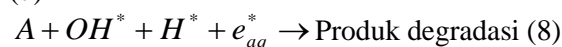
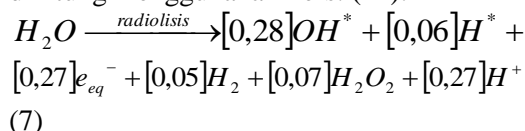
Pada degradasi terinduksi oleh radiasi, spesi radiolisis pengoksidasi primer yang terbentuk selama proses radiolisis air menginisiasi degradasi polutan organik. Spesi pereduksi sekunder yang terbentuk selama proses radiolisis air dapat terkonversi menjadi spesi pengoksidasi dengan penambahan oksigen atau hidrogen peroksida. Degradasi senyawa organik dapat didekati dengan model kinetika orde 1 semu [10] seperti pada Pers. (5) dan (6).

$$C = C_0 e^{-dD} \quad (3)$$

$$-\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = dD \quad (4)$$

Dengan C₀ adalah konsentrasi zat warna sebelum iradiasi; C adalah konsentrasi zat warna setelah iradiasi, d adalah konstanta dosis, dan D adalah dosis iradiasi yang diperlukan untuk mencapai konsentrasi yang diperlukan. Jika -ln(C/C₀) diplotkan versus D, konstanta dosis merupakan slope [11].

Untuk membuat perancangan pabrik pengolahan limbah zat warna dengan iradiasi gamma, maka diperlukan nilai konstanta kecepatan reaksi degradasi zat warna yang dihitung menggunakan Pers. (12).



$$-r_A = kC_A \quad (9)$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (10)$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = \int_0^t k dt = k \int_0^t dt \quad (11)$$

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = kt \quad (12)$$

Dengan memplotkan ln [C_{A0}/C_A] vs t memberikan garis lurus. Pers. (12) dapat dianalogikan dengan Pers. (6) sebagai kinetika reaksi orde 1 semu. Kinetika reaksi orde 1 semu merupakan model kinetika yang umumnya terjadi pada degradasi senyawa zat warna oleh radiasi gamma.

METODE

Waktu dan Tempat

Pertama pastikan bahwa Anda menggunakan template resmi yang diberikan oleh redaksi JFN baik melalui email atau download di website. Penelitian dilakukan mulai bulan April-Juli 2019. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis, Laboratorium Instrumentasi Kimia, dan Laboratorium Kimia Radiasi STTN BATAN Yogyakarta.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair zat warna jeans naptol dari naptol jeans Jogja, larutan HCl 0,01% dan larutan H₂O₂ 1%. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Iradiator gamma STTN-BATAN Yogyakarta, neraca analitik (Mettler Toledo), alat-alat gelas laboratorium, serta karakterisasi dengan instrumen UV-Vis STTN-BATAN.

Prosedur Penelitian

Penyiapan Bahan

Limbah cair zat warna dikondisikan dengan menambahkan larutan HCl 0,01% dan larutan H₂O₂ 1% dengan perbandingan volume limbah:HCl: H₂O₂ = 1:2:1.

Proses Iradiasi

Sampel dimasukkan ke dalam ruang iradiasi iradiator gamma sumber Co-60 dan

diiradiasi dengan dosis 4 kGy, 8 kGy, 12 kGy, 16 kGy, 20 kGy, dan 24 kGy.

Karakterisasi UV-Vis

Limbah cair zat warna yang telah diiradiasi dikarakterisasi dengan UV-Vis STTN-BATAN, sebelumnya sudah dibuat kurva larutan standar sehingga konsentrasi limbah cair zat warna dapat teramati.

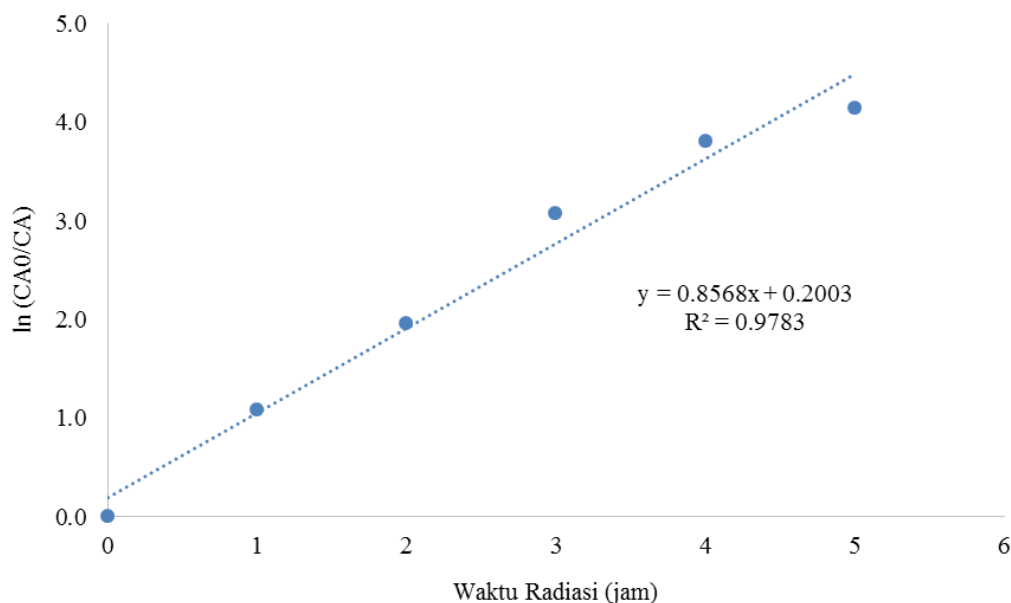
HASIL DAN PEMBAHASAN

Konstanta Kecepatan Reaksi

Konsentrasi limbah cair zat warna dikarakterisasi menggunakan spectrometer UV-Vis dengan metode kurva standar kalibrasi. Tabel 2. menunjukkan hasil penghitungan konsentrasi limbah cair zat warna.

Tabel 2. Konsentrasi Limbah Cair Zat Warna setelah Iradiasi

Waktu (Jam)	ABS	Konsentrasi (mg/mL)
0	0,628	0,1171
1	0,213	0,0397



Gambar 1. Diagram Blok Proses Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna

Neraca Massa

Proses pengolahan limbah cair zat warna menggunakan teknologi iradiasi gamma diawali oleh pengumpulan limbah cair zat warna. Tangki penampungan awal untuk menampung limbah cair zat warna memiliki ukuran 7 kali

Waktu (Jam)	ABS	Konsentrasi (mg/mL)
2	0,089	0,0166
3	0,029	0,0054
4	0,014	0,0026
5	0,010	0,0019

Dari hasil plot pada program microsoft excel didapatkan orde reaksi yang paling mendekati linear ($R^2=1$) adalah orde reaksi 1 maka hubungannya adalah waktu iradiasi (jam) vs $\ln(C_{A0}/C_A)$ yang ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1. Diperoleh persamaan $y = 0,8568x + 0,2003$ dengan $R^2 = 0,9783$. Nilai konstanta kecepatan reaksi degradasi limbah cair zat warna adalah $0,8568 \text{ jam}^{-1}$.

Tabel 3. Penentuan Orde Reaksi Degradasi Limbah Cair Zat Warna

Waktu (Jam)	$\ln(C_{A0}/C_A)$
0	0,00000
1	1,08125
2	1,95390
3	3,07524
4	3,80348
5	4,13996
6	3,87759

kapasitas maksimum unit. Dasar pertimbangan pemilihan ukuran ini adalah agar proses pengolahan bisa terus berjalan tanpa harus menunggu pelanggan datang, maka tangki disediakan ukuran 7 kali lebih besar dari kapasitas unit.

Limbah cair zat warna di-treatment terlebih dahulu dengan menambahkan larutan H_2O_2 1% dan HCl 1 0,01%. Dasar pertimbangan untuk penambahan kedua larutan tersebut adalah dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk menyiapkan larutan H_2O_2 1% dan HCl 0,01% dari larutan pekatnya (H_2O_2 35 % dan HCl 37%) adalah dengan menambahkan tangki pelarutan. Proses pealrutan H_2O_2 dan HCl

berlangsung secara batch selama 1 hari sekali pembuatan larutannya. Limbah cair zat warna setelah diolah kemudian diiradiasi pada reaktor iradiasi. Reaktor iradiasi merupakan reaktor jenis kontinu. Air limbah hasil iradiasi ditampung pada tangki penampungan akhir yang kemudian akan di buang ke sungai. Gambar 1. menunjukkan uraian proses pada unit ini dan Gambar 2. menunjukkan neraca massa pada unit ini.



Gambar. 2. Diagram Blok Proses Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna



Gambar. 3. Neraca Massa Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna

Neraca Energi

Proses pengolahan limbah cair zat warna dalam perancangan ini adalah menggunakan radiasi gamma yang berasal dari sumber radioaktif Co-60. Limbah cair zat warna setelah di treatment terlebih dahulu tidak mengalami perubahan suhu pada saat proses radiasi berlangsung. Limbah cair zat warna

yang akan diolah dengan menggunakan radiasi gamma, sebelumnya di treatment terlebih dahulu menggunakan larutan HCl 0,01% dan larutan H_2O_2 1%. Larutan tersebut disiapkan terlebih dahulu dengan cara mengencerkan larutan HCl 37% dan larutan H_2O_2 35% dengan air, pada proses pengeneran ini tidak terjadi perubahan suhu larutan. Proses treatment menggunakan kedua larutan tersebut tidak

merubah suhu limbah ataupun suhu larutan HCl dan H₂O₂. Seluruh proses pengolahan limbah cair zat warna ini tidak menggunakan heat exchanger, boiler, pendingin, steam, dan sejenisnya. Oleh karena itu neraca energi tidak dihitung pada perancangan ini, karena tidak diperlukan.

Spesifikasi Peralatan

Reaktor Iradiasi (R - 01)

Fungsi : untuk mendegradasi limbah cair zat warna
 Bahan konstruksi : beton
 Bentuk tangki : bak berlapis-lapis dengan alas dan tutup datar

Bahan konstruksi beton dipilih karena beton memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan perisai lainnya (contoh Pb dan Al), selain itu beton juga bisa berfungsi sekaligus sebagai dinding reaktor (dalam hal ini reaktor berbentuk seperti bak yang berlapis-lapis). Perancangan bak yang berlapis bertujuan untuk memperlama waktu iradiasi limbah selain itu juga berfungsi sebagai perisai agar perisai terluar tidak terlalu tebal. Ketika reaktor iradiasi tidak beroperasi maka sumber akan turun kebawah yang berisi air dan dilapisi dinding beton.

Kondisi operasi : Suhu 27°C, Tekanan 1 atm

Jumlah : 1 unit
 Kapasitas : 153,4456 m³
 Panjang : 5,5398 m
 Lebar : 5,5398 m
 Tinggi : 5,0000 m
 Jumlah dinding : 3 lapis
 Waktu iradiasi : 0,9241 jam
 Aktivitas sumber : 38,7784 kCi

Pompa Reaktor Iradiasi (P - 09)

Fungsi : memompa larutan limbah cair zat warna setelah di radiasi ke Tangki Penampungan - 02

Bahan konstruksi : Cast iron
 Jenis Pompa : Pompa Sentrifugal
 Kondisi operasi : Suhu 27 °C, Tekanan 1 atm
 Jumlah : 1 unit
 Kapasitas : 1,4 m³/s
 Daya motor : 1389,0783 W

Utilitas

Utilitas merupakan unit penunjang utama dalam memperlancar jalannya suatu proses produksi. Dalam suatu pabrik, utilitas memegang peranan yang penting. Karena suatu proses produksi dalam suatu pabrik tidak akan berjalan dengan baik jika utilitas tidak ada. Oleh sebab itu, segala sarana dan prasarananya harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kelangsungan operasi suatu pabrik. Berdasarkan kebutuhannya, utilitas pada Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna menggunakan Teknologi Iradiasi Gamma adalah sebagai berikut :

1. Kebutuhan air
2. Kebutuhan tenaga listrik

Dalam proses produksi, air memegang peranan penting, baik untuk kebutuhan proses maupun kebutuhan domestik. Adapun kebutuhan air pada Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna adalah sebagai berikut :

1. Air Proses
2. Air Domestik

Tabel. 4. Kebutuhan Air Proses dan Air Domestik

Nama Alat	Jumlah Air (kg/jam)
Dilution Tank - 01	8302,0223
Dilution Tank - 02	4033,5010
Air Domestik	124,0000
Total	12335,5232

Tabel. 5. Kebutuhan Tenaga Listrik

No.	Nama Alat	Daya (Watt)
1	Pompa Tank 01	398,61
2	Pompa Dillution Tank 01 Input Air	556,41
3	Pompa Dillution Tank 01 Input HCl	3,14
4	Pompa Dillution Tank 01 Output	521,66
5	Pompa Dillution Tank 02 Input Air	322,70
6	Pompa Dillution Tank 02 Input H ₂ O ₂	163,62
7	Pompa Dillution Tank 02 Output	306,45
8	Pompa Mixer 01 Output	817,48
9	Pompa Tank 02 Input	1389,07
10	Pompa Tank 02 Output	1172,42
11	Pengaduk Tank 01	790,60
12	Pengaduk Dillution Tank 01	97,98
13	Pengaduk Dillution Tank 02	38,58

No.	Nama Alat	Daya (Watt)
14	Pengaduk Mixer 01	309,15
15	Reaktor Iradiator	800,00
	Total	7687,94

No.	Nama Alat	Jenis Instrumentasi
		Visible Indicator (VI)

Instrumentasi

Instrumen digunakan dalam industri kimia untuk mengukur variabel proses, seperti suhu, tekanan, kepadatan, viskositas, panas spesifik, konduktivitas, pH, kelembaban, titik embun, tingkat cairan, laju aliran, komposisi kimia, dan kadar air. Dengan menggunakan instrumen yang memiliki tingkat kompleksitas yang bervariasi, nilai-nilai variabel-variabel ini dapat direkam secara terus-menerus dan dikendalikan dalam batas yang sempit.

Kontrol otomatis adalah norma di seluruh industri kimia, dan penghematan tenaga kerja yang dihasilkan dikombinasikan dengan peningkatan kemudahan dan efisiensi operasi memiliki lebih dari mengimbangi biaya tambahan untuk instrumentasi. Dalam kebanyakan kasus, kontrol dicapai melalui penggunaan komputer berkecepatan tinggi. Dalam kapasitas ini, komputer berfungsi sebagai alat vital dalam pengoperasian pabrik. Pemanfaatan efektif dari banyak instrumen yang digunakan dalam proses kimia dapat dicapai melalui kontrol terpusat, di mana satu ruang kontrol yang terletak di pusat digunakan untuk indikasi, pencatatan, dan pengaturan variabel proses. Papan panel telah dikembangkan yang menghadirkan representasi grafis dari proses dan memiliki kontrol instrumen dan indikator yang dipasang di lokasi yang sesuai dalam keseluruhan proses. Ini membantu operator baru untuk dengan cepat mengenal pentingnya pembacaan instrumen, dan lokasi yang cepat dari setiap varian operasional dimungkinkan [15]. Tabel 6. menunjukkan berbagai jenis instrumentasi yang digunakan.

Tabel 6. Daftar Instrumentasi

No.	Nama Alat	Jenis Instrumentasi
1	Reaktor Iradiasi	Flow Controller (FC) Level Controller (LC) Earthquake Detector
2	Mixer tank	Flow Controller (FC) Level Controller (LC)
3	Pompa	Flow Controller (FC)
4	Dilution tank	Flow Controller (FC) Level Controller (LC)
5	Tangki penyimpanan	Level Controller (LC)

Jenis-jenis instrumentasi yang digunakan pada Prarancang Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna menggunakan Teknologi Iradiasi Gamma :

1. Pompa

Variabel yang dikontrol pada pompa adalah laju aliran (*flow rate*). Untuk mengetahui laju aliran pada pompa dipasang *flow control* (FC). Jika laju aliran pompa lebih besar dari yang diinginkan maka secara otomatis katup pengendali (*control valve*) akan menutup atau memperkecil pembukaan katup.

2. Tangki Penyimpanan Limbah Awal

Pada tangki ini dilengkapi dengan *flow control* (FC) yang berfungsi untuk mengontrol aliran limbah cair zat warna ke dalam tangki *pretreatment* dengan menggunakan pompa yang dilengkapi dengan *valve* yang berfungsi sebagai *flow control* (FC).

3. Tangki Penampungan Akhir

Pada tangki penampungan dilengkapi dengan *level indicator* (LI) yang berfungsi untuk menunjukkan ketinggian cairan hasil iradiasi yang masuk ke dalam tangki penampungan akhir. Selain *level indicator* (LI), tangki penampungan akhir juga dilengkapi dengan *visible indicator* (VI) untuk mengetahui tingkat warna cairan dan kejernihan cairan, ketika warna cairan sudah relatif tidak berwarna maka cairan akan dilepas ke lingkungan dan sebagian ke kolam ikan.

4. Reaktor Iradiasi Gamma

Reaktor adalah alat tempat berlangsungnya proses degradasi limbah cair zat warna setelah *pretreatment* yang akan menghasilkan cairan yang relatif tidak berwarna. Pada reaktor dilengkapi sensing elemen yang berfungsi untuk mendeteksi gempa bumi dan bias dilihat pada *earthquake detector*. Untuk mengendalikan ketinggian cairan dalam reaktor digunakan *level control* (LC) dengan tujuan agar tidak terjadi kelebihan muatan yang mengakibatkan terjadinya ketidakmerataan dosis.

5. Mixer Tank (Tangki Pretreatment)

Tangki Pencampur ini dilengkapi dengan pengendali ketinggian atau *Level Controller* (LC) yang berfungsi untuk mengontrol ketinggian cairan di dalam Tangki. Prinsip kerja dari *Level Controller* (LC) ini

adalah dengan menggunakan pelampung (*float*) sehingga isi tangki dapat terlihat dari posisi jarum penunjuk di luar Tangki yang digerakkan oleh pelampung.

6. Dilution Tank

Pada tangki ini dilengkapi dengan *level control* (LC) yang berfungsi untuk mengontrol ketinggian cairan di dalam tangki. Prinsip kerja dari *level control* (LC) ini adalah dengan menggunakan pelampung (*float*) sehingga isi tangki dapat terlihat dari posisi jarum penunjuk di luar tangki yang digerakkan oleh pelampung. Jika isi tangki tinggal sedikit, maka diisi dengan menggunakan pompa yang dilengkapi dengan valve yang berfungsi sebagai *flow control* (FC).

Lokasi dan Tata Letak

Penentuan lokasi unit sangat menentukan kemajuan dan kelangsungan dari industri, baik pada masa sekarang maupun pada masa yang akan datang. Pemilihan yang tepat mengenai lokasi unit harus memberikan suatu perhitungan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta pertimbangan sosiologi, yaitu pertimbangan dalam mempelajari sikap dan sifat masyarakat di sekitar lokasi unit.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna menggunakan Teknologi Iradiasi Gamma ini direncanakan berlokasi di daerah Sungai Citarum. Dasar pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik adalah:

1. Keadaan Lingkungan/Kestabilan kondisi alam
2. Letak dari pasar dan kondisi pemasaran
3. Fasilitas transportasi
4. Kebutuhan tenaga listrik dan bahan bakar
5. Kebutuhan air
6. Tenaga kerja
7. Harga tanah dan bangunan
8. Kemungkinan perluasan dan ekspansi
9. Kondisi Iklim dan Cuaca
10. Masyarakat di sekitar pabrik
11. Perumahan

Tabel. 7. Rincian Luas Tanah

No.	Nama Bangunan	Luas (m ²)
1	Pos Keamanan	150
2	Tempat Parkir	200
3	Unit Pembangkit Listrik	150
4	Perkantoran	200

No.	Nama Bangunan	Luas (m ²)
5	Laboratorium	150
6	Ruang Kontrol	288
7	Daerah Proses	3750
8	Unit Pengolahan Air	125
9	Area Perluasan	375
10	Kolam Ikan	17
11	Kantin	125
12	Poliklinik	125
13	Perpustakaan	125
14	Tempat Ibadah	300
15	Taman	200
16	Jalan	500
17	Aula	500
18	Pemadam Kebakaran	125
Total		7405

Tabel. 8. Rincian Luas Tanah

No.	Nama Bangunan	Luas (m ²)
1	Dewan Komisaris	2
2	Direktur	1
3	Manajer Proses	1
4	Manajer Pengembangan dan Pengadaan	1
5	Manajer Keuangan	1
6	Manajer HRD & Marketing	1
7	Kepala Bagian Marketing	1
8	Kepala Bagian HRD	1
9	Kepala Bagian HSE	1
10	Kepala Bagian Mesin dan Utilitas	1
11	Kepala Bagian R&D	1
12	Kepala Bagian Maintenance	1
13	Kepala Bagian Keamanan	1
14	Karyawan Proses	35
15	Karyawan Keuangan dan Personalia	8
16	Karyawan Pemasaran	3
17	Dokter	3
18	PKSR	3
19	PPR	3
20	Operator Iradiator	6
21	Satpam	12
22	Perawat	4
23	Petugas Kebersihan	6
Total		97

Analisis Ekonomi

Untuk mengevaluasi kelayakan berdirinya suatu unit dan tingkat pendapatannya, maka dilakukan analisa perhitungan secara teknik. Selanjutnya perlu juga dilakukan analisa terhadap aspek ekonomi dan pembiayaannya. Dari hasil analisa tersebut diharapkan berbagai kebijaksanaan dapat diambil untuk pengarahan secara tepat. Suatu

rancangan pabrik dianggap layak didirikan bila dapat beroperasi dalam kondisi yang memberikan keuntungan. Berbagai parameter ekonomi digunakan sebagai pedoman untuk menentukan layak tidaknya suatu pabrik didirikan dan besarnya tingkat pendapatan yang dapat diterima dari segi ekonomi.

Sebelum pabrik industri dapat dioperasikan, sejumlah besar uang harus tersedia untuk membeli dan memasang mesin dan peralatan yang diperlukan. Tanah harus diperoleh, fasilitas layanan harus tersedia, dan pabrik harus dibangun lengkap dengan semua perpipaan, kontrol, dan layanan. Selain itu, dana diperlukan untuk membayar biaya yang terlibat dalam operasi pabrik sebelum pendapatan penjualan tersedia.

Modal yang diperlukan untuk memasok pabrik yang diperlukan dan fasilitas pabrik disebut investasi modal tetap (FCI), sedangkan yang diperlukan untuk pengoperasian pabrik disebut modal kerja (WC). Jumlah dari investasi modal tetap dan modal kerja dikenal sebagai total investasi modal (TCI). Porsi modal tetap dapat dibagi lagi menjadi investasi modal tetap manufaktur, juga dikenal sebagai biaya langsung, dan investasi kapitalisasi-tetap non-manufaktur, juga dikenal sebagai biaya tidak langsung [12].

Hasil analisis ekonomi adalah sebagai berikut:

Total modal investasi	: Rp. 302.214.868.272
Total biaya produksi	: Rp. 60.192.080.967
Total pemasukan	: Rp. 131.839.411.708
Keuntungan bersih	: Rp. 47.645.474.943
Profit Margin	: 51,63%
Break even point (BEP)	: Rp. 39.515.210.597
Return of Investment	: 17,60%
Pay Back Time	: 5,68 tahun
DCFROR	: 17,7998%

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui laju pengembalian modal investasi total dalam pendirian pabrik. Kategori resiko pengembalian modal tersebut adalah :

ROI \leq 15 % resiko pengembalian modal rendah
15 \leq ROI \leq 45 % resiko pengembalian modal rata-rata

ROI \geq 45 % resiko pengembalian modal tinggi

Dari hasil perhitungan diperoleh ROI sebesar 17,60% sehingga unit pengolahan limbah cair zat warna yang akan didirikan ini

termasuk risiko laju pengembalian modal rata-rata. Nilai *annual variable production* (biaya produksi langsung) sebesar Rp. 28.015.364.385 dan total pemasukan Rp. 131.839.411.708, maka nilai biaya produksi langsung didapatkan Rp. 212 per kg. Nilai BEP didapatkan 39.515.211 kg/tahun atau Rp. 39.515.210.597. atau BEP = 29,97 %.

Dari data feasibilities [15]

1. BEP \leq 50 %, pabrik layak (feasible)
2. BEP \geq 70 %, pabrik kurang layak (infeasible)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai BEP sebesar 29,97 %, maka prarancangan unit pengolahan limbah cair zat warna ini layak. Nilai *Total Capital Investment* sebesar Rp. 302.214.868.272 dan keuntungan kotor sebesar Rp. 68.064.964.204 maka didapatkan nilai PBT sederhana sebesar 4,44 tahun kemudian setelah pajak 30 % didapatkan nilai PBT sebesar 5,68 tahun. Seluruh modal investasi akan kembali selama 5,68 tahun unit beroperasi dengan kapasitas penuh. Nilai NPV setiap tahunnya selama umur proyek (20 tahun), untuk menentukan nilai DCFROR maka menggunakan cara *trial* dan *error* sehingga nilai NPV pada tahun terakhir proyek bernilai Rp. 0. Dari perhitungan *trial* dan *error* didapatkan nilai DCFROR untuk proyek ini sebesar 17,7998 %.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan pada Prarancang Unit Pengolahan Limbah Cair Zat Warna menggunakan Teknologi Iradiasi Gamma dengan kapasitas 100 m³ per hari ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pabrik direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam setahun.
2. Lokasi pabrik yang direncanakan adalah di daerah dekat Sungai Citarum, Kabupaten Bandung, Jawa Barat dengan luas tanah yang dibutuhkan sebesar 7405 m².
3. Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk mengoperasikan unit pengolahan limbah cair zat warna sebanyak 97 orang. Bentuk badan usaha yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas (PT) dan bentuk organisasinya adalah organisasi garis.

SARAN

Analisis tingkat toksisitas hasil pengolahan dengan radiasi gamma untuk penelitian lebih lanjut dan dapat ditambahkan reaktor mikroorganisme untuk proses degradasi lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

1. V. Katheresan, K. Jibrail, dan Y. L. Sie, "Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: a review", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, pp. 4676-4697, 2018
2. A. Joshi, dan S. Nidhi, "Bacterial decolorization of reactive red: strategic bioremediation of textile dye", *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, vol. 7, pp. 147-156, 2018
3. I. I. Fasfous dan A. F. Nedal, "Removal of Cibacron brilliant yellow 3G-P dye from aqueous solutions using coffee husks as non-conventional low-cost sorbent", *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, vol. 6, pp. 908-914, 2012
4. M. A. Hassan dan A.E. Nemr, "Health and environmental impacts of dyes: mini review", *American Journal of Environmental Science and Engineering*, vol. 1, pp. 64-67, 2017
5. Asosiasi Pertekstilan Indonesia, *Highlight of Indonesia Textile Product Industry*, API, 2018
6. L. A. W. Abdou, O. A. Hakeim, M.S. Mahmoud, dan A. M. El-Naggar, "Comparative study between the efficiency of electron beam and gamma irradiation for treatment of the dye solution", *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, pp. 752-758, 2011
7. K. E. A. Ibrahim, A. E. Abdalla, M. O. A. Mustafa, dan D. Solpan, "Radiolytic degradation of carbonyl by using gamma and gamma/hydrogen peroxide process", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 153, pp. 251-257, 2018
8. A. Satmoko, S. Budihardjo, T. Harjanto, dan Sanda, "Perhitungan dan penentuan spesifikasi komponen-komponen utama sistem pengangkat sumber gamma pada iradiator gamma BATAN 2x250 kCi", *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Yogyakarta*, pp. 263-268, 2011
9. S. Sanguanmith, J. Meesungneon, dan J. P. Jay-Gerin, "Time-dependent yield of $\cdot\text{OH}$ radicals in the low linear energy transfer radiolysis of water between 25 and 350°C", *Chemical Physics Letters*, vol. 588, pp. 82-86, 2013
10. S. M. Ghoreishan, S. M. Kang, R. R. G. Seta, M. Norouzi, S. C. Jang, H. J. Yun, S. T. Lim, Y. K. Han, C. Rob, dan Y. S. Huh, "γ-Radiolysis as a highly efficient green approach to the synthesis of metal nano clusters : A review of mechanism and applications", *Chemical Engineering Journal*, vol. 360, pp. 1390-1406, 2018
11. R. Puspallata, S. Sumathi, P. Chandramohan, S. Bera, S. Rangarajan, R. Sudha, S. V. Narasimhan, dan S. Velmurugan, "Gamma radiation induced formation and characterization of the nano-oxides of manganese", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 85, pp. 153-160, 2013
12. P. Bouniol, W. Guillot, V. Dauvois, W. Dridi, dan S. Le Caer, "Original behavior of pore water radiolysis in cement-based materials containing sulfide : coupling between experiments and simulations", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 150, pp. 172-181, 2018
13. V. C. Padmanaban, N. Selvaraju, V. N. Vasudevan, dan A. Achary, "Augmented radiolytic (^{60}Co γ) degradation of direct red 80 (Polyazo dye): optimization, reaction kinetics & G-value interpretation", *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, vol. 125, pp. 433-447, 2018
14. L. Ning, T. Wang, M. Zheng, J. Lei, L. Tang, G. Hu, G. Xu, dan M. Wu, "Radiation induced degradation of antiepileptic drug primidone in aqueous solution", *Chemical Engineering Journal*, vol. 270, pp. 66-72, 2015
15. M. S. Peters, D. T. Klaus, dan E. W. Ronald, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*, New York: McGraw-Hill, 2002