



## PENGARUH KONFIGURASI OZON TUNGGAL, $UV_{254}$ DAN GAC TERHADAP PRODUKSI OH RADIKAL PADA SISTEM PENGOLAH LIMBAH PHX

### *Effect Of Single Ozone, $Uv_{254}$ Dan GAC Configuration On Radical OH Production In PHX Effluent Of Treatment System*

**Zakki Rosmi Mubarok**

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang 45363 Pamulang  
Jalan Surya Kencana No. 1 Pamulang Kota Tangerang Selatan, Banten 15417

Email: [zakkirosmimubarok@gmail.com](mailto:zakkirosmimubarok@gmail.com)

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi alat pengolah limbah yang telah dirancang untuk mengurangi polutan organik seperti fenol dengan serangan OH radikal. OH radikal diproduksi dari ozon dan telah dimodifikasi dan disusun seri. Selain itu, perubahan konfigurasi pada alat akan mempengaruhi produksi OH radikal dimana ozon tunggal menghasilkan rata-rata OH radikal selama 2 jam sebesar 4,04 mg/L, kombinasi Ozon dan  $UV_{254}$  sebesar 3,19 mg/l, sedangkan kombinasi ozon,  $UV_{254}$  dan GAC coconut 50 gram, sebesar 3,41 mg/L, 100 gram 4,26 mg/L, 150 gram 4,04 mg/L dan kombinasi ozon,  $UV_{254}$  dan GAC batu bara 50 gram sebesar 4,89 mg/L, 75 gram sebesar 4,05 mg/L, dan 100 gram 3,8 mg/L. Produksi OH radikal tertinggi diaplikasikan pada fenol sintesis 30 ppm dimana hasil terbaik ada pada Ozon, UV dan GAC coconut 100 gram yang mampu menyisihkan fenol sebesar 85% sedangkan ozon, UV GAC batu bara 50 gram setara dengan ozon, GAC coconut 100 gram sebesar 70%.

**Kata kunci:** Konfigurasi, Fenol, GAC, Ozonasi, UV.

#### ABSTRACT

Research's goal is searching designed system characterization for reducing organic effluent such as phenol by attacked radical OH. Radical OH is generated from ozone and modified two plasmatron into one line. Therefore, configurations can affect generated radical OH for 2 hour running especially single ozon can produce about 4.04 mg/L, Ozon dan  $UV_{254}$  combination is 3.19 mg/l, and ozone,  $UV_{254}$  and GAC coconut 50 gram is 3.41 mg/L, 100 gram 4.26 mg/L, 150 gram 4.04 mg/L. Moreover, ozone,  $UV_{254}$  and GAC charcoal 50 gram about 4,89 mg/L, 75 gram is 4.05 mg/L, and 100 gram 3.8 mg/L. Highest of generated radical OH: Ozone, UV dan GAC coconut 100 gram directly was used for synthetic phenol 30 ppm which can took degradation 85% and ozon, UV GAC charcoal 50 gram equal with combination of ozone, GAC coconut 100 gram about 70%.

**Keywords:** Configuration, Phenol, GAC, Ozonation, UV.

## PENDAHULUAN

Pengolahan limbah B3 membutuhkan biaya yang tidak sedikit sehingga ada sebagian industri yang langsung membuang limbahnya ke lingkungan sebelum mengolahnya [1]. Hal ini sangat berbahaya karena salah satu kandungan yang beracun dalam limbah tersebut kemungkinan adalah fenol.

Degradasi fenolik secara biologis masih tetap disukai oleh sebagian besar industri seperti metode lumpur aktif karena biaya instalasi yang murah, pengontrolan yang lebih mudah serta dapat diterapkan pada volume limbah cair yang besar. Hasil pengolahan limbah cair industri seperti metode lumpur aktif umumnya memiliki kandungan senyawa fenolik yang masih melebihi batas baku mutu ( $> 1$  ppm) sehingga dibutuhkan teknik lain yang lebih efisien dan lebih cepat. Salah satu teknik pengolahan limbah cair industri adalah teknik ozonasi dimana hasil ozonasi dengan reaktor aerasi berganda selama 6 jam menghasilkan penyisihan senyawa fenol sebesar 87,8% jika dibandingkan hasil degradasi biologis sebesar 55,1% [2] sehingga dibutuhkan metode lain yang lebih efisien dalam mendegradasi senyawa fenolik seperti teknik ozonasi.

Teknik ozonasi merupakan reaksi pembentukan ozon. Ozon yang mudah terurai menjadi OH radikal akan cepat mendegradasi senyawa seperti fenol [3]. Selain itu, alat pada penelitian ini memiliki volume limbah cair yang lebih besar (skala semi pilot) dan dilengkapi dengan katalis UV dan granular activated carbon (GAC). UV dipilih sebagai katalis karena dapat mengubah ozon menjadi spesi-spesi yang lebih reaktif seperti radikal OH dalam mendegradasi limbah cair industri

sedangkan GAC dipilih karena mudah diperoleh dan daya adsorpsi yang baik serta mampu mengkatalisi lebih baik dibandingkan dengan zeolit dalam mendegradasi senyawa fenol dan turunannya [4]. Pengolahan dengan teknik ozonasi katalitik diharapkan dapat menghasilkan limbah yang aman sebelum dibuang ke lingkungan sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-51/MENLH/10/1995 sehingga dapat mengurangi pencemaran air yang dapat merusak lingkungan dan ekosistem.

## BAHAN DAN METODE

**Alat.** Spektrofotometer UV-Vis, Ozonator, hot plate, washing bottle (bubbler), buret.

**Bahan.** Fenol, KI 0,1 N, Feroaminosulfat (FAS) 0,05 M,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N.

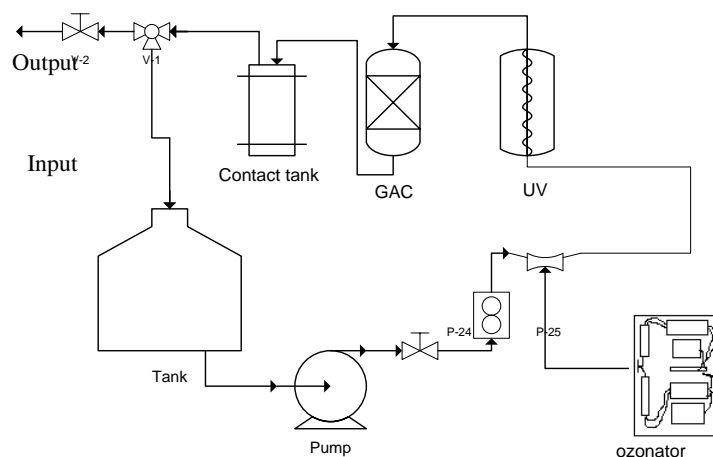
### Uji kadar dan konsistensi ozon yang diproduksi (Metode iodometri)

200 mL larutan KI yang telah dipersiapkan ke dalam erlenmeyer dan sambungkan ke *gas washing bottle* (bubbler). Kemudian pasang selang dari ozonator ke *gas washing bottle* yang dirangkai seri pada *gas washing bottle* lainnya yang kemudian dititrasi  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dalam suasana asam dengan indikator amilum yang akan berubah dari biru gelap menjadi bening.

Dilakukan hal yang sama untuk konsistensi ozon (ozonator dinyalakan selama 2 jam) dan diambil setiap 30 menit. Waktu kontak 6 menit.

### Aktivasi dan Karakterisasi GAC

Katalis GAC yang digunakan adalah GAC komersial batok kelapa dan batu bara dengan luas permukaan BET (Brunauer–Emmett–Teller) sekitar  $300\text{--}850\text{ m}^2/\text{g}$ .



**Gambar 1.** Alat Pengolah Limbah PHDilakukan *pre-treatment* dengan mencuci dengan air denim yang dipanaskan dan dikeringkan pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  setelah itu diamkan dalam desikator.

### Uji Kuantifikasi Radikal $\text{HO}^{\bullet}$

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui jumlah  $\text{HO}^{\bullet}$  yang terbentuk melalui konfigurasi degradasi yang digunakan dengan menggunakan  $\text{KMnO}_4$  0,001 M dalam suasana sedikit asam. Penentuan GAC optimum dilakukan berdasarkan kuantitas  $\text{HO}^{\bullet}$ .

### Uji Penyisihan Fenol Sintetik

Uji fenol dilakukan secara spektrofotometri pada panjang gelombang 500 nm dimana direaksikan 2,5 mL larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,5 N ke dalam 100 mL sampel (pH menjadi  $7,9 \pm 0,1$  dengan penambahan larutan penyangga fosfat) lalu tambahkan 1 mL larutan aminoantipirin dan kalium ferisianida sambil diaduk dan diamkan selama 15 menit absorbansinya.

### Desain Alat

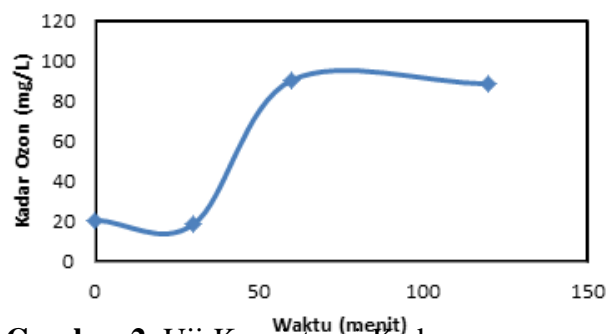
Desain alat yang digunakan seperti terlihat pada gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Kadar dan Konsistensi Ozon yang diproduksi

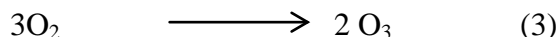
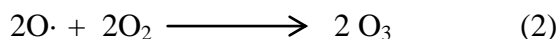
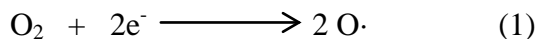
Berdasarkan perhitungan, kadar ozon yang diproduksi oleh ozonator *Electric Sterillizer* yang disusun paralel dari dua buah ozonator adalah 23,96 mg/jam. Selain itu dilakukan uji konsistensi ozon yang diproduksi seperti terlihat pada gambar 2:

Elektron yang dihasilkan di dalam *corona discharge* di sepanjang waktu akan mempengaruhi pembentukan radikal  $\text{O}^{\bullet}$  sehingga apabila suhu *corona discharge* belum mencapai suhu optimum maka akan



**Gambar 2.** Uji Konsistensi Kadar ozon yang diproduksi. Laju alir udara 6 LPM,  $T_{\text{ruang}} = 27^{\circ}\text{C}$ , Tekanan 1 atm

menghasilkan jumlah elektron yang lebih sedikit sehingga konversi  $O_2$  menjadi  $O_3$  akan berkurang yang ditunjukkan pada reaksi berikut:



Dengan kata lain, pada menit ke-60 hingga ke-120 adalah kondisi yang optimum dimana kadar ozon yang dihasilkan tinggi dan konsisten. Selain itu, tidak dilakukan variasi waktu lebih dari 120 menit karena dikhawatirkan suhu yang tinggi dalam jangka waktu lama yang akan merusak ozonator.

### Penentuan Jumlah GAC Batok Kelapa (Coconut)

Pada penentuan jumlah GAC batok kelapa digunakan variasi jumlah *granular activated carbon* yang diozonasi dengan air keran. Air keran digunakan sebagai pengganti aquadest untuk mengurangi biaya operasional mengingat penelitian ini adalah skala *semi-pilot* (kapasitas tampung tanki sebesar 50 L) yang membutuhkan volume air cukup banyak.

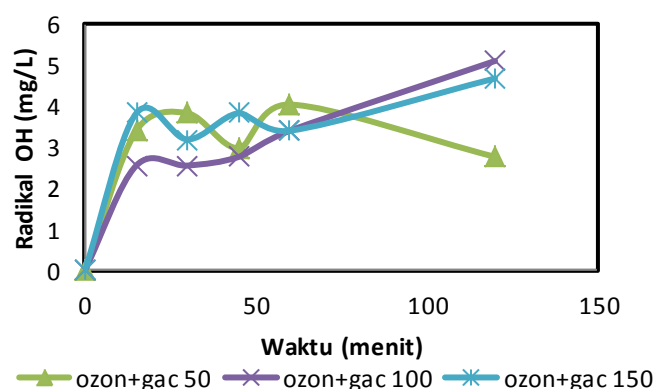
Penambahan GAC pada reaktor (*catridge*) akan memicu perubahan laju alir fluida. Perubahan laju alir ini disebabkan adanya perbedaan tekanan yang terjadi

**Tabel 1.** Variasi jumlah dan Perubahan laju alir awal GAC *Batok kelapa*

Jumlah GAC (gram)	Notasi	Perubahan laju alir awal (LPM)
50	Ozon+GAC 50	6 → 6,0
100	Ozon+GAC 100	6 → 5,0
150	Ozon+GAC 150	6 → 4,5
200	Ozon+GAC 200	6 → 0,0

sebelum dan setelah melewati *catridge*. Variasi jumlah GAC *batok kelapa* di mulai dari 50 gram hingga 200 gram yang kemudian diberi notasi yang tersaji pada tabel 1.

Pada saat pelaksanaan, ozon+GAC 200 menyebabkan *pressure drop* yang tinggi (dari 6 LPM menjadi 0 LPM) sehingga sirkulasi air keran yang terozonasi tidak dapat mengalir yang dapat dilihat dari *flowrate* meter yang tidak berfungsi, dan tidak adanya gelembung pada *contact tank*. GAC yang terpilih yaitu, ozon+GAC 50, 100, dan 150 kemudian diatur kembali *flowrate* hingga 6 LPM. Dipilih *flowrate* 6 LPM (Liter per menit) karena pada kondisi tersebut merupakan laju alir optimum yang dapat membawa ozon terlarut yang belum bereaksi untuk berinteraksi dengan senyawa fenol dalam tanki. Adapun variasi jumlah *granular activated carbon* batok kelapa dan spesi radikal  $HO\cdot$  yang dihasilkan selama proses disajikan pada gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa semua perlakuan menghasilkan radikal  $HO\cdot$  yang signifikan pada menit ke-15 yang selanjutnya turun pada menit ke-30 sehingga terlihat membentuk *peak* (puncak). Ozon+GAC 100 memiliki laju pembentukan radikal  $HO\cdot$



**Gambar 3.** Variasi jumlah GAC batok kelapa berdasarkan radikal  $HO\cdot$  yang terbentuk selama proses ozonasi

yang cenderung lambat pada menit ke-15 hingga menit-45, namun peningkatan radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang terbentuk sangat signifikan dan terbesar (5,11 mg/L) jika dibandingkan dengan ozon+GAC 150 dan ozon+GAC 50. Hal ini berbanding terbalik jika dibandingkan dengan GAC 150 yang mengalami fluktuasi pada menit ke-15 hingga ke-45, dan radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang terbentuk adalah terbesar kedua (4,68 mg/L) setelah ozon+GAC 100. Sedangkan ozon+GAC 50, radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang terbentuk paling kecil (4,04 mg/L) jika dibandingkan dengan ozon+GAC 150 dan 100, serta terjadi penurunan dari menit ke-60 hingga ke-120. Dari data tersebut dipilih ozon+GAC 100 sebagai jumlah katalis optimum untuk digunakan dalam pengolahan limbah cair industri tekstil karena radikal HO yang terbentuk sangat besar dan peningkatan radikal  $\text{HO}^\cdot$  cukup signifikan dari menit ke-15 hingga ke-120.

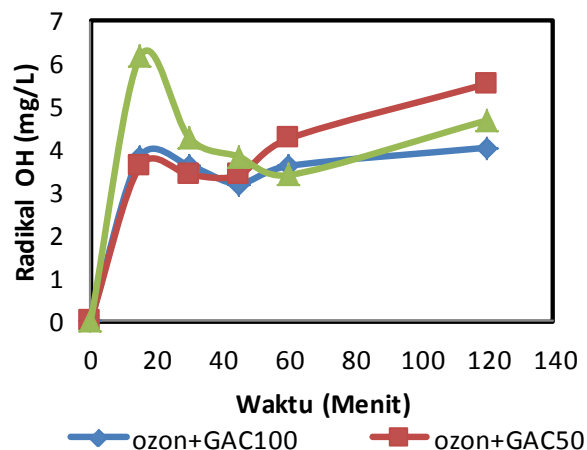
### Penentuan Jumlah GAC Batu bara (Charcoal)

Variasi jumlah GAC batu bara dimulai dari 50 gram-150 gram yang kemudian diberi notasi yang tersaji pada tabel 2.

Pada saat pelaksanaan, ozon+GACC 150 menyebabkan *pressure drop* yang tinggi (dari 6 LPM menjadi 0 LPM) sehingga sirkulasi air keran yang terozonasi tidak dapat mengalir. GAC yang terpilih

**Tabel 2.** Variasi dan Perubahan Laju alir awal

Jumlah GAC (gram)	Notasi	Perubahan laju alir awal (LPM)
50	Ozon+GACC50	6 → 6,0
75	Ozon+GACC75	6 → 6,0
100	Ozon+GACC100	6 → 5,0
150	Ozon+GACC150	6 → 0,0



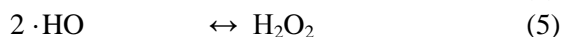
**Gambar 4.** Variasi jumlah GAC batu bara berdasarkan radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang terbentuk.

yaitu, ozon+ GACC 50, 75, dan 100 kemudian diatur kembali *flowrate* hingga 6 LPM. Adapun variasi jumlah *granular activated carbon* batu bara dan spesi radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang dihasilkan disajikan pada gambar 4.

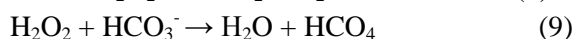
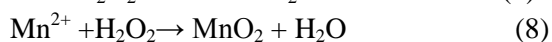
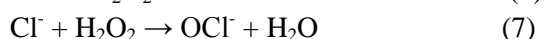
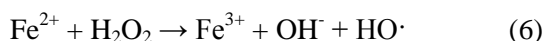
Data di atas menunjukkan bahwa pada ozon+GACC 50, radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang terbentuk terbesar kedua setelah ozon+GACC 75, yaitu sebesar 5,53 mg/L, walaupun radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang terbentuk pada menit ke-15 hingga ke-45 cenderung lambat. Begitu pula dengan ozon+GACC 100 yang memiliki pola yang hampir sama dengan ozon+GACC 50 dengan laju pembentukan radikal  $\text{HO}^\cdot$  yang lambat dari menit ke-15 hingga menit ke-120. Sedangkan ozon+GACC 75 memiliki *peak* yang paling tinggi sebesar 6,17 mg/L (pada menit ke-15) diantara GAC batok kelapa maupun GAC batu bara yang lain. Namun ozon+GACC 75 mengalami penurunan radikal HO yang signifikan pada menit ke-30 hingga ke-60. Dari data tersebut dipilih ozon+GACC 50 karena radikal  $\text{HO}^\cdot$  masih tergolong besar dan tidak terjadi penurunan radikal HO yang signifikan selama proses ozonasi berlangsung.

Hal ini disebabkan oleh penambahan arang aktif (*Activated carbon/ AC*) dapat

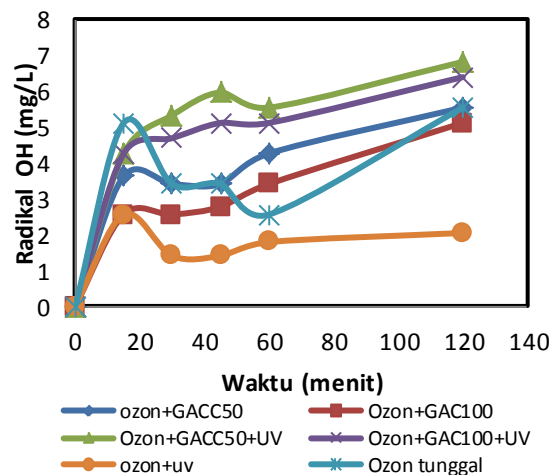
memicu pembentukan senyawa ozon menjadi senyawa radikal HO $\cdot$  yang lebih reaktif dari ozon [5] yang dapat dilihat pada reaksi berikut:



Penambahan arang aktif akan memicu pembentukan 2 molekul radikal HO untuk 1 molekul ozon selama proses ozonasi baik dalam pH asam maupun basa. Komposisi GAC optimum perlu dilakukan karena jika GAC berlebih maka ada GAC yang tak berfluidisasi secara maksimal yang dapat menurunkan transfer massa antara ozon, larutan, dan karbon aktif sehingga radikal HO $\cdot$  yang dihasilkan juga akan menurun. Sedangkan jika GAC terlalu sedikit maka radikal HO $\cdot$  yang dihasilkanpun lebih sedikit serta daya adsorpsi senyawa organik pun tidak maksimal. Selain itu dalam penelitian, terlihat terjadinya fluktuasi sepanjang waktu proses disebabkan oleh air yang digunakan adalah air keran yang merupakan air tanah dalam yang umumnya mengandung >5 mg/L HCO $_3^-$ , CO $_3^{2-}$ , SO $_4^{2-}$ , Cl $^-$ , senyawa organik terlarut berupa asam asetat dan asam propionat (berasal dari pelarutan alamiah yang konsentrasinya bervariasi) [6], 0,01-10 mg/L Fe $^{2+}$ , Fe $^{3+}$ , Mn $^{2+}$ , NO $_2^-$ , NO $_3^-$  yang dapat berinteraksi dengan H $_2$ O $_2$  [7] Adapun mekanismenya adalah sebagai berikut:



OH radikal yang dihasilkan maupun H $_2$ O $_2$  juga dapat menyerang senyawa organik yang terkandung dalam air keran sehingga dapat menurunkan kuantitas radikal HO $\cdot$  dalam sistem. Selain itu, dalam pH asam (2-6), ozon+GAC cenderung menghasilkan radikal



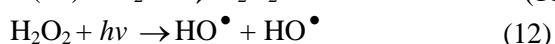
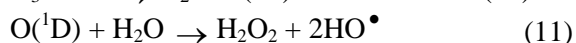
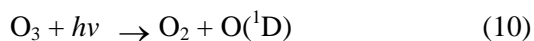
**Gambar 5.** Pengaruh penambahan konfigurasi UV dalam meningkatkan radikal HO yang terbentuk selama proses ozonasi.

O $\cdot$  yang lebih banyak dibandingkan radikal HO $\cdot$  yang akan memicu pembentukan O $_3$  baru [8].

### Pengaruh penambahan konfigurasi UV terhadap produksi OH radikal

GAC batok kelapa dan GAC batu bara optimum yang telah dipilih, yaitu ozon+GAC 100 dan ozon+GACC 50 kemudian ditambahkan konfigurasi UV yang tersaji pada gambar 5. Konfigurasi ozon tunggal memiliki *peak* radikal HO (pada menit ke-15) paling tinggi jika dibandingkan dengan konfigurasi ozon+UV yaitu sebesar 5,11 mg/L yang kemudian terjadi penurunan hingga menjadi 2,55 mg/L pada menit ke-60. Sedangkan pada konfigurasi ozon+UV terlihat seperti tidak ada pengaruh atau peningkatan terbentuknya jumlah spesi radikal HO yang tidak signifikan. Penambahan konfigurasi UV pada ozon+GAC 100 dan ozon+GACC 50 sangat berpengaruh terhadap pembentukan spesi radikal HO $\cdot$ . Hal ini dapat terlihat dari *peak* yang biasanya muncul pada menit ke-15

(Gambar 4.2 dan Gambar 4.3) terlihat berkurang. Hal ini membuktikan bahwa radikal HO $\cdot$  yang terbentuk semakin banyak bila dibandingkan dengan tanpa penambahan konfigurasi UV [9] pada reaksi berikut:



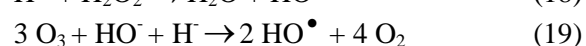
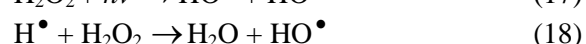
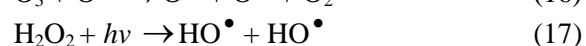
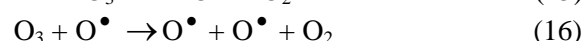
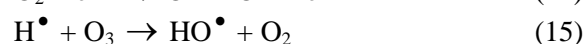
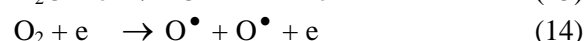
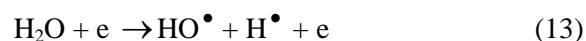
Reaksi di atas menunjukkan bahwa ozon yang terpapar oleh UV ( $h\nu$ ) akan menghasilkan oksigen dan atom oksigen O( ${}^1\text{D}$ ). O( ${}^1\text{D}$ ) adalah keadaan atom oksigen yang tereksitasi akibat energi yang dihasilkan oleh UV (elektron terluar berpindah dari orbital P mengisi orbital D dimana angka 1 menunjukkan 1 elektron yang berpindah ke orbital D). O( ${}^1\text{D}$ ) yang tidak stabil cenderung akan berinteraksi dengan larutan ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sehingga terbentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan radikal HO $\cdot$ . Jika penggunaan UV terus berlangsung dapat mendekomposisi  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang terbentuk menjadi radikal HO sehingga kuantitas radikal HO akan semakin bertambah.

Pada penelitian ini kuantitas radikal HO $\cdot$  pada konfigurasi ozon+GAC lebih tinggi jika dibandingkan dengan ozon tunggal dan ozon+UV disebabkan oleh ozon teradsorpsi lebih stabil pada GAC dibandingkan dengan yang dilarutkan dalam air [10]. Walaupun nilai ozon tunggal mendekati nilai dengan penggunaan konfigurasi UV, tetap ozon tunggal tidak dipilih karena terjadi penurunan yang signifikan dari menit ke-30 hingga menit ke-60. Peningkatan jumlah radikal HO $\cdot$  pada masing-masing konfigurasi pada menit ke-60 hingga ke-120 membuktikan bahwa uji konsistensi kadar ozon yang diproduksi pada menit ke-60 dan ke-120 memiliki hubungan yang linear dimana semakin tinggi kadar ozon yang diproduksi maka semakin tinggi pula radikal HO $\cdot$  yang terbentuk. Sedangkan penurunan radikal HO $\cdot$  yang terjadi pada

menit ke-15 hingga ke-30 pada masing-masing konfigurasi disebabkan oleh radikal HO $\cdot$  yang terbentuk bereaksi dengan senyawa-senyawa yang terkandung dalam air keran.

### Penyisihan Fenol Sintesis

Gambar 6 menunjukkan bahwa penyisihan fenol sintesis memiliki nilai lebih dari 50%. Berdasarkan stoikiometri mol ozon yang diproduksi (0,002 mol) sangat kurang untuk mendegradasi fenol awal sebesar 0,013 mol menjadi 0,0005 mol. Namun dalam pH asam potensial reduksi ozon lebih tinggi 2,07 volt dan kelarutan ozon dapat meningkat [11]. Diduga inisator dalam sistem tidak hanya ozon saja, tetapi juga air dan oksigen yang memicu degradasi kontaminan [12]. Degradasi fenol dengan penggunaan oksigen dalam air (konfigurasi UV) menghasilkan prosentase penyisihan degradasi fenol sebesar 15,45% (dengan ozon 45,43% dan ozon+UV 56,58%-99%) dimana interaksi  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$  adalah sebagai berikut:



Namun Laju reaksi fenol dengan radikal HO lebih cepat ( $k=6,3 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) jika dibandingkan dengan ozon ( $k=1,3 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) [4]. Dengan kata lain, ada kemungkinan perlakuan pada Ozon+GAC100+UV menghasilkan spesi-spesi aktif seperti HO $\cdot$ , H $\cdot$ , O $\cdot$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ , yang lebih banyak dibandingkan perlakuan lainnya yang dapat dibuktikan dari penurunan konsentrasi fenol yang lebih cepat selama 120 menit. Gambar



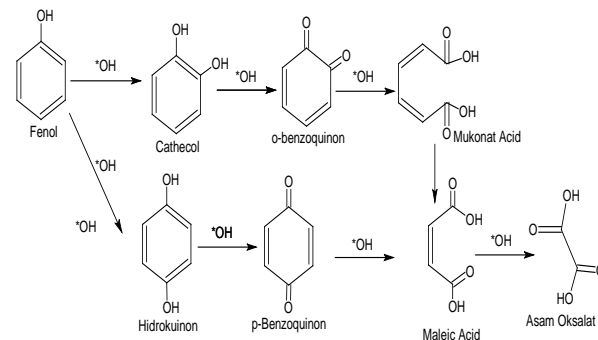
7 memperlihatkan reaksi ozonasi pada fenol [13].

**Luas Permukaan GAC (BET)**

GAC batok kelapa (NT) dan GAC batu bara (NT) yang telah diaktivasi dan GAC batok kelapa (TR) dan GAC batu bara (TR) yang telah digunakan kemudian diuji luas permukaannya yang ditunjukkan pada tabel 3.

Hasil uji BET untuk GAC yang telah digunakan dalam pengolahan limbah cair industri tekstil terlihat bahwa luas permukaan GAC batu bara (TR) menurun jika dibandingkan sebelum digunakan (NT) dari 1341,98 m<sup>2</sup>/g menjadi 1308,31 m<sup>2</sup>/g. Penurunan luas permukaan pada GAC batu bara kemungkinan disebabkan oleh senyawa organik yang terkandung dalam limbah ataupun senyawa antara terserap pada permukaan GAC [14] sehingga menyebabkan luas permukaan GAC batu bara menurun setelah digunakan dalam pengolahan. Berbeda dengan GAC batu bara, GAC batok kelapa mengalami peningkatan luas permukaan dari 646,52 m<sup>2</sup>/g (NT) menjadi 701,60 m<sup>2</sup>/g (TR). Hal ini disebabkan oleh senyawa-senyawa organik seperti fenol telah terdekomposisi (setelah

diozonasi selama 120 menit) menjadi senyawa-senyawa antara yang memiliki

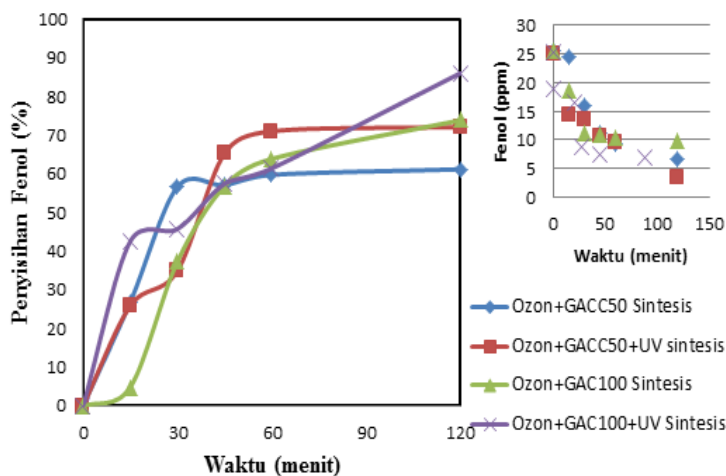


**Gambar 7.** Mekanisme serangan OH radikal pada senyawa fenol

**Tabel 3.** Luas Permukaan GAC

Perlakuan	Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g)
GAC batok kelapa NT	646,52
GAC batok kelapa TR	701,60
GAC batu bara NT	1341,98
GAC batu bara TR	1308,31

Ket : NT=setelah diaktivasi dan sebelum digunakan dalam pengolahan, TR=setelah diaktivasi dan setelah digunakan dalam pengolahan (ozon+GAC+UV)



**Gambar 6.** Penyisihan senyawa fenol sintesis terhadap waktu (Laju alir 6 LPM, T<sub>ruang</sub> = 27 °C, 1 atm)



molekul 0,5-0,6 nm yang akan teradsorpsi dengan mudah pada permukaan mikropori GAC [14]. Selain itu, ada pula kemungkinan adanya interaksi GAC dan ozon yang dapat menyebabkan GAC jenuh mengalami regenerasi.

## KESIMPULAN

Dari beberapa data di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ozon yang diproduksi memiliki kadar tertinggi dan cenderung konsisten pada menit ke-60 hingga menit ke-120 sebesar 88-90,53 mg/L.
2. Perlakuan terbaik untuk penggunaan GAC batok kelapa adalah dengan jumlah 100 gram sebesar 4,26 mg/L dibandingkan dengan 50 gram 3,41 mg/L dan 150 gram 4,04 mg/L
3. Perlakuan terbaik untuk penggunaan GAC batu bara adalah dengan jumlah 50 gram sebesar 4,89 mg/L, dibandingkan dengan 75 gram 4,05 mg/L dan 100 gram 3,8 mg/L.
4. Perlakuan dengan penggunaan UV terbaik ada pada Ozon, UV dan GAC coconut 100 gram yang mampu menyisihkan fenol sebesar 85% sedangkan ozon, UV GAC batu bara 50 gram setara dengan ozon, GAC coconut 100 gram sebesar 70%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Junaidi & Hatmanto B.P. (2006). *Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair Tekstil (Studi Kasus PT Iskandar Indah Printing Textile Surakarta)*. Jurnal Presipitasi Vol.1 No.1 September 2006, ISSN 1907-187X.
- [2] Soesilo, Tri Edhi Budhi. (1998). *Penyisihan Senyawa Fenolik Air Limbah dengan Ozonasi (studi kasus*

*air limbah pabrik tekstil PT Texmaco Jaya, Karawang)*. Lingkungan. FTUI.

- [3] Mubarok. Zakki Rosmi, (2015). *Pengolahan Lanjut Limbah Cair Industri Tekstil Skala Semi-Pilot Dengan Teknik Ozonasi Katalitik* FT-UI. Depok.
- [4] Pandiangan, Korlina. (2006). *Studi Perbandingan Antara Katalis Zeolit dan Karbon Aktif pada Ozonasi Limbah Fenol*. Depok:FTUI.
- [5] Jans, U. & Hoigne, J. (1998). *Activated Carbon and Carbon Black Catalyzed Transformation of Aqueous Ozone into OH-Radicals*. *Ozone Science Engineering*, 20, 341–346.
- [6] Notodarmojo, Suprihanto. (2005). *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB
- [7] Rohmatun, Roosmini, D., Notodarmojo, S. (2007). *Studi Penurunan Kandungan Besi Organik dalam Air Tanah dengan Oksidasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-UV*. PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 39 A, No. 1&2, 2007, 58-69
- [8] Enjarlis. (2008). *Fenomena Penyisihan Campuran Insektisida (Karnofuran Endosulfan dengan Teknik Ozonasi*. Depok: FTUI.
- [9] Munter, Rein. (2001). *Advanced Oxidation Processes – Current Status and Prospects*.
- [10] Fujita, Hirotsuka, dkk. (2004). *Adsorption and Decomposition of Water-Dissolved Ozone On High Silica Zeolites*. *Water Research*, 38, 159–165.
- [11] Rositano, J., Nicholson, B-C., Pieronne, P. (1998). *Destruction of Cyanobacter Toxin by Ozone*. *Ozone Science and Engineering*, 20 (3), 223-238.
- [12] Roaeni, Dinan. (2006). *Degradasi Senyawa Fenol pada Reaktor Skala*

- Pilot menggunakan Kombinasi Proses fotokatalis dan Ozonasi. Depok:FTUI.
- [13] Lesko, Timothy. (2004). *Sonochemical Decomposition of Phenol: Evidence for a Synergistic Effect of Ozone and Ultrasound for The Elimination of*
- TOC from Water*. Environ. Sci. Tech. 40 6818-6823.
- [14] Lin, S.H., Wang C.H., (2003). *Ozonation of Phenolic Wastewater in a gas Induced Reactor with Fixed Gas Bed*. Ind Eng. Chem Res. Vol 42 PP 1648-1653