

**SINTESIS SILIKA GEL DARI ABU JERAMI PADI  
(*Oryza sativa*) UNTUK MEREDUKSI ION LOGAM  
KROM HEKSAVALEN ( $\text{Cr}^{6+}$ )**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Ninit Ray Neksa Rahmadhani**

**145100900111019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG**

**2018**

**SINTESIS SILIKA GEL DARI ABU JERAMI PADI  
(*Oryza sativa*) UNTUK MEREDUKSI ION LOGAM  
KROM HEKSAVALEN ( $Cr^{6+}$ )**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Ninit Ray Neksa Rahmadhani  
145100900111019**

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**MALANG  
2018**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : Sintesis Silika Gel Dari Abu Jerami Padi (*Oryza sativa*) Untuk Mereduksi Ion Logam Krom Heksavalen ( $Cr^{6+}$ )

Nama Mahasiswa : Ninit Ray Neksa Rahmadhani

N I M : 145100900111019

Jurusan : Keteknikan Pertanian

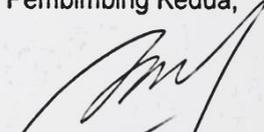
Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,



Dr Eng. Evi Kurniati, STP., MT  
NIP 19760415 199903 2 001

Pembimbing Kedua,



Prof. Dr. Ir. Ruslan Wiroseodarmo, MS.  
NIP 19530112 198003 1 003

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Sintesis Silika Gel Dari Abu Jerami Padi (*Oryza sativa*) Untuk Mereduksi Ion Logam Krom Heksavalen (Cr<sup>6+</sup>)  
Nama Mahasiswa : Ninit Ray Neksa Rahmadhani  
N I M : 145100900111019  
Jurusan : Keteknikan Pertanian  
Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I,

Dr Eng. Evi Kurniati, STP., MT  
NIP 19760415 199903 2 001

Dosen Penguji II,

Prof. Dr. Ir. Ruslan Wiroseodarmo, MS.  
NIP 19530112 198003 1 003

Dosen Pengji III,

Fajri Anugroho, STP., M.Agr, PhD  
NIK 2012017303281001



La Chovlya Hawa, STP, MP, Ph.D  
NIP 19780307 200012 2 001

**Tanggal Lulus Skripsi:**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dengan nama lengkap Ninit Ray Neksa Rahmadhani dilahirkan di Batu-Malang pada tanggal 19 Januari 1998 dari orang tua yang bernama Samsul Hadi dan Sri Sundari. Penulis merupakan anak keempat dari 4 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN Sidomulyo 02 Batu pada tahun 2009, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Batu dengan tahun kelulusan 2012, dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Batu pada tahun 2014. Saat SMA penulis mengikuti komunitas Forum Anak Desa Sidomulyo. Setelah lulus dari SMA, penulis aktif di Lingkup Pemuda Pemudi RW 2 Desa Sidomulyo.

Tahun 2014, penulis melanjutkan studi di Perguruan Tinggi Universitas Brawijaya dan telah berhasil menyelesaikan Strata 1 Program Studi Teknik Lingkungan. Pada masa studinya, penulis aktif sebagai anggota di Unit Karawitan dan Tari (Unitantri) Universitas Brawijaya, menjadi staf muda divisi Riset dan Teknologi CARE (Creative Action For Environment) periode 2014-2015 dan staf ahli divisi Kaderisasi CARE periode 2015-2016, asisten praktikum Laboratorium Lingkungan tahun 2016, serta aktif sebagai Sekretaris dan Bendahara Asisten Laboratorium Teknik Sumber Daya Alam dan Lingkungan periode kepengurusan 2016/2017, asisten praktikum Perencanaan dan Manajemen DAS tahun 2016, asisten praktikum Teknologi Pengolahan Limbah tahun 2017, asisten praktikum Mekanisasi Pertanian 2017. Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan seperti Pentas Mandiri 2015, Diklat Unitantri 2016, Gebyar Festival Tari XXIII 2016, Big Event Care 2015, Kongres IMTLI 2016.





"Arriving At One Goal Is The Starting Point To Another"

-John Dewey-

Karya ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan jalan berbunga dan kasih sayang sepanjang hidup saya, serta kakak dan saudara saya yang mendukung dan memberikan semangat kepada saya.

Terima kasih kepada Yessy Yuliza, Fajratul Faizah, Eka Putri, dan Nanda Shabrina yang telah mewarnai kehidupan kampus saya ketika suka maupun duka, serta mendorong saya untuk menjadi pribadi yang lebih baik lagi.

Terima kasih kepada Ita, Oddy, Yufli, dan teman-teman TL 2014 lainnya yang telah menjadi bagian kehidupan kampus saya dan membantu terselesainya karya ini.

With love,

Ninit Ray Neksa R.

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

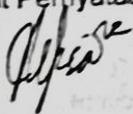
Judul Skripsi : Sintesis Silika Gel Dari Abu Jerami Padi (*Oryza sativa*) Untuk Mereduksi Ion Logam Krom Heksavalen ( $Cr^{6+}$ )  
Nama Mahasiswa : Ninit Ray Neksa Rahmadhani  
NIM : 145100900111019  
Jurusan : Keteknikan Pertanian  
Fakultas : Teknologi Pertanian

Menyatakan bahwa,

Tugas Akhir dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut di atas. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar saya bersedia dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Malang, 4 Januari 2019

Pembuat Pernyataan,



Ninit Ray Neksa Rahmadhani

NIM 145100900111019

**Ninit Ray Neksa Rahmadhani. 145100900111019. Sintesis Silika Gel Dari Abu Jerami Padi (*Oryza sativa*) Untuk Mereduksi Ion Logam Krom Heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ). Pembimbing: Dr.Eng. Evi Kurniati, STP, MT dan Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosoedarmo, MS.**

---

## RINGKASAN

Limbah tanaman padi (*Oryza sativa*) terdiri dari jerami, dedak dan sekam padi. Menurut Badan Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Barat (2011), perbandingan massa jerami padi dan gabahnya dapat sekitar 80:20. Selama ini, jerami padi masih dimanfaatkan secara komersial sebagai pakan ternak dan media tanam jamur. Kadar silika dalam jerami padi diketahui sekitar 60-80% (Nandiyanto *et al.*, 2016). Sehingga jerami padi menjadi salah satu alternatif sumber silika yang potensial dalam pembuatan silika gel. Silika gel merupakan suatu adsorben atau bahan yang dapat menyerap suatu substansi dengan membentuk lapisan zat yang diserap atau adsorbat pada permukaannya. Silika gel sudah dimanfaatkan sebagai adsorben suatu bahan polutan dalam limbah cair seperti kromium. Limbah penyamakan kulit di Indonesia mengandung kromium sekitar 0,77-11,62 mg/L. Konsentrasi tersebut melewati ambang batas baku mutu kromium yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu 0,6 mg/L dan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air untuk air permukaan pada kelas 2 yaitu 0,5 mg/L.

Silika gel telah diteliti dapat dihasilkan dari bahan baku jerami padi, tetapi penelitian tersebut masih sebatas karakterisasi dari silika gel belum sampai pemanfaatannya untuk reduksi limbah tertentu. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan jerami padi sebagai bahan baku pembuatan silika gel untuk menurunkan krom heksavalen dalam limbah artifisial. Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode studi literatur dan eksperimental. Jerami padi



diabukan terlebih dahulu dengan *furnace* pada suhu 700°C selama 2 jam. Kemudian abu jerami padi diekstraksi menggunakan KOH 3M dan dipresipitasi dengan HCl 6M. Silika gel yang dihasilkan dikarakterisasi gugus fungsinya dan dianalisa kemampuan adsorpsinya terhadap ion logam krom heksavalen dalam limbah artifisial dengan variabel konsentrasi 5; 10; 15; 20; 30 ppm. Limbah artifisial dibuat dari  $K_2Cr_2O_7$  sesuai dengan SNI 6989.71:2009. Kondisi saat pengujian adsorpsi silika gel jerami padi terhadap limbah artifisial dengan dosis adsorben 1 gram silika gel per 200 mL limbah artifisial, pH limbah antara 5-6, kecepatan pengadukan sebesar 150 rpm, dan waktu kontak selama 60 menit. Sampel limbah yang telah diadsorpsi diuji konsentrasi krom heksavalennya menggunakan AAS. Kemudian ditentukan adsorpsi maksimum adsorben dengan persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich.

Hasil analisis FTIR silika gel jerami padi menunjukkan adanya gugus fungsi silanol dan siloksan pada permukaannya yang mampu mengadsorpsi ion logam krom heksavalen dalam limbah. Konsentrasi krom heksavalen limbah artiifisial setelah diadsorpsi tidak dapat memenuhi baku mutu limbah industri penyamakan kulit parameter krom heksavalen yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu 0,6 mg/L, akan tetapi silika gel jerami padi mampu meningkatkan pH limbah artifisial hingga memenuhi baku mutu yaitu sekitar 6-8. Efisiensi adsorpsi terbesar terjadi pada limbah dengan konsentrasi awal 20 ppm yaitu sebesar 42,67%. Persamaan isoterm Freundlich lebih sesuai dalam menentukan adsorpsi maksimum silika gel jerami padi terhadap ion logam  $Cr^{6+}$  dalam limbah artifisial dibandingkan persamaan isoterm Langmuir dengan korelasi linear ( $R^2$ ) sebesar 0,888, dengan nilai konstanta  $n = 0,0514$  dan  $K = 0,5326$  L/mg.

**Kata Kunci :** Adsorpsi, Jerami Padi, Krom Heksavalen, Silika Gel.



**Ninit Ray Neksa Rahmadhani. 145100900111019. Synthesis of Silica Gel From Rice Straw Ash (*Oryza sativa*) to Reduce Hexavalent Chrome Metal Ion ( $\text{Cr}^{6+}$ ). Adviser: Dr.Eng. Evi Kurniati, STP, MT and Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosodarmo, MS.**

---

### SUMMARY

Rice crop waste (*Oryza sativa*) consists of straw, bran, and rice husk. According to The Agency of Agricultural Technology of West Nusa Tenggara (2011), the mass ratio of rice straw and grain can be around 80:20. So far, rice straw is still used commercially as animal feed and mushroom growing media. The level of silica in rice straw is known to be around 60-80% (Nandiyanto *et al.*, 2016). So that rice straw is one of the potential alternative sources of silica in the manufacture of silica gel. Silica gel is an adsorbent or material that can absorb a substance by forming a layer of absorbed substance or adsorbate on its surface. Silica gel has been used as an adsorbent for a pollutant in liquid waste such as chromium. Skin tanning waste in Indonesia contains chromium around 0.77-11.62 mg/L. This concentration exceeded the threshold of chromium quality standards stipulated in the Republic of Indonesia Minister of Environment Regulation Number 5 of 2014 concerning Waste Water Quality Standards, namely 0.6 mg/L. While the standard quality of hexavalent chrome is determined by Government Regulation Number 81 of 2001 concerning management of water quality and control of water pollution for surface water in class 2 which is 0.5 mg/L.

Silica gel from rice straw that has been studied can be produced. However, the research is still limited to the characterization of silica gel until its utilization for the reduction of certain wastes. Therefore, a study was conducted on the utilization of rice straw as a raw material for making silica gel to reduce hexavalent chrome in artificial waste. The research method that will be used is the literature study and experimental



methods. Rice straw is ignored first with a furnace at 700°C for 2 hours. Then the rice straw ash was extracted using KOH 3M and precipitated with 6M HCl. The resulting silica gel was characterized by its functional group and analyzed for its adsorption ability of hexavalent chrome metal ions in artificial waste with concentration variables 5; 10; 15; 20; 30 ppm and the adsorbent dose is 5 g/L. Artificial waste is made from  $K_2Cr_2O_7$  in accordance with SNI 6989.71: 2009. The conditions for the adsorption of rice straw silica gel against artificial waste include mass of adsorbent 1 gram per 200 mL artificial waste, waste pH between 5-6, stirring speed of 150 rpm, and contact time for 60 minutes. The adsorbed waste samples were tested for the concentration of hexavalent chrome using AAS. Then the maximum adsorption of the adsorbent was determined by the equation Langmuir and Freundlich isotherm.

The results of FTIR analysis of rice straw silica gel showed the presence of silanol and siloxane functional groups on their surfaces which were able to adsorb hexavalent chrome metal ions in waste. The concentration of waste after adsorption cannot be obtained conditions that meet the quality standard parameters of hexavalent chrome applied. Rice straw silica gel is able to increase the pH of artificial waste to meet the quality standards of around 6-8. The biggest adsorption efficiency occurs in wastes with an initial concentration of 20 ppm which is equal to 42.67%. The Freundlich isotherm equation is more suitable in determining the maximum adsorption of silica rice straw gel against metal ions  $Cr^{6+}$  in artificial waste compared to the Langmuir isotherm equation with linear correlation ( $R^2$ ) of 0.888, with a constant value of  $n = 0.0514$  and  $K = 0.5326$  L/mg.

**Keyword :** Adsorption, Hexavalent Chrome, Rice Straw, Silica Gel.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian Skripsi “Sintesis Silika Gel Dari Abu Jerami Padi (*Oryza sativa*) Untuk Mereduksi Ion Logam Krom Heksavalen ( $Cr^{6+}$ )” dengan baik. Dalam penulisan laporan skripsi ini penulis sadar telah banyak pihak yang membantu dalam penyusunan laporan skripsi, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr.Eng. Evi Kurniati, STP, MT dan Bapak Prof. Dr. Ir. Ruslan Wirosoedarmo, MS selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan, kritik dan saran saat penyusunan proposal, penelitian, hingga penyusunan laporan skripsi.
2. Bapak Fajri Anugroho, STP, M.Agr, PhD selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, kritik dan saran saat penyusunan laporan skripsi.
3. Orang tua, kakak, dan keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan penuh dan doa kepada penulis setiap saat hingga penulis mampu menyelesaikan amanah yang telah dipercayakan.

Akhir kata, penulis menyadari dalam penulisan laporan ini tidaklah sempurna, apabila terdapat kesalahan dalam penulisan laporan ini penulis mengharapkan kritik dan saran agar laporan ini menjadi lebih baik dan dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Malang, Januari 2019

Penulis,

Ninit Ray Neksa Rahmadhani

**DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TA</b> .....	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Padi ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	5
2.2 Limbah Padi .....	6
2.3 Unsur Silika (Si) .....	8
2.4 Silika Gel .....	10
2.5 Proses Sol Gel .....	12
2.6 Adsorpsi .....	14
2.7 Limbah Penyamakan Kulit .....	18
2.8 Krom (Cr) .....	21
2.9 Spektroskopi Inframerah (FTIR) .....	24
2.10 Spektrofotometri Serapan Atom (AAS) .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
3.2 Alat dan Bahan .....	27

3.3 Metode Penelitian .....	29
3.3.1 Preparasi Abu Jerami Padi .....	29
3.3.2 Pembuatan Silika Gel Jerami Padi .....	31
3.3.3 Penambahan Silika Gel Jerami Padi Untuk Mereduksi Krom Heksavalen .....	33
3.4 Metode Analisis .....	36
3.4.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Pada Silika Gel .....	36
3.4.2 Pengujian Kadar Krom Heksavalen .....	36
3.4.3 Penentuan Adsorpsi Maksimum .....	37
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Sintesis Silika Gel Jerami Padi .....	39
4.2 Karakterisasi Silika Gel Jerami Padi dengan FTIR .....	43
4.3 Pengaruh Silika Gel Jerami Padi Terhadap Limbah Artifisial .....	46
4.4 Analisa Adsorpsi Isotermal Silika Gel Jerami dengan Persamaan Langmuir dan Freundlich .....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>60</b>



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang menghasilkan berbagai macam komoditas pertanian, mulai dari biji-bijian, sayuran, dan buah-buahan. Masyarakat di Indonesia kebanyakan mengonsumsi nasi sebagai sumber pangan utama. Menurut data yang dirilis oleh Kementerian Pertanian Republik Indonesia dari Badan Pusat Statistik, produksi beras di Indonesia pada tahun 2017 sebanyak 81.382.451 ton. Hasil panen utama tanaman padi adalah bagian bulir beras yang berfungsi sebagai sumber karbohidrat utama untuk konsumsi manusia. Sehingga produksi beras di Indonesia akan selalu dibutuhkan dan bahkan meningkat tingkat kebutuhannya seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Namun, kebutuhan produksi beras yang terus menerus meningkat tersebut turut meningkatkan jumlah limbah padi. Limbah padi merupakan bagian selain beras dari tanaman padi seperti dedak, jerami dan sekam padi.

Menurut Badan Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Barat (2011), produksi jerami padi bervariasi mencapai 12-15 ton per hektar dalam sekali panen atau 4-5 ton bahan kering tergantung pada lokasi dan varietas tanaman yang digunakan. Perbandingan massa jerami padi dan gabahnya dapat sekitar 80:20. Jerami padi sudah dimanfaatkan dalam bidang peternakan sebagai pakan ternak. Jerami juga dapat dimanfaatkan sebagai media tanam jamur merang yang berfungsi dengan baik. Di bidang industri kertas, jerami dimanfaatkan sebagai salah satu bahan baku pembuatan pulp kertas. Tanaman padi mengandung silika yang berfungsi sebagai penguat bagian-bagian tanamannya. Kadar silika dalam jerami padi diketahui sekitar 60-80% (Nandiyanto *et al.*, 2016).



Sehingga jerami padi menjadi salah satu alternatif sumber silika yang potensial dalam pembuatan silika gel.

Silika gel merupakan suatu adsorben atau bahan yang dapat menyerap suatu substansi dengan membentuk lapisan zat yang diserap atau adsorbat pada permukaannya. Sehingga silika gel harus memiliki luas permukaan, porositas dan kestabilan mekanik yang besar. Silika gel terbuat dari larutan silikat yang kemudian disintesis dengan asam kuat dengan konsentrasi tertentu untuk membentuk gel. Proses tersebut disebut juga dengan sol gel. Silika gel sudah dimanfaatkan sebagai adsorben suatu bahan polutan dalam limbah cair industri.

Limbah cair menurut PP RI No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Air merupakan sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Usaha yang dimaksud salah satunya adalah kegiatan industri penyamakan kulit. Secara umum karakteristik limbah cair industri pengolahan kulit antara lain TSS tinggi, penggaraman, sulfida, kromium, pH, endapan kapur, dan BOD. Kromium dalam limbah tersebut berasal dari adanya penggunaan kromium sulfat basa pada proses penyamakan krom (Syaf, 2005). Diketahui bahwa kadar kromium pada limbah penyamakan kulit di Indonesia sekitar 0,77-11,62 mg/L. Konsentrasi tersebut tentu melebihi ambang batas dari baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu untuk kadar maksimal kromium dalam limbah industri penyamakan kulit menggunakan krom yang diperbolehkan untuk dibuang ke badan air adalah 0,6 mg/L.

Logam berat tidak dapat didegradasi ataupun dihancurkan. Meningkatnya penggunaan logam berat dalam industri mengakibatkan meningkatnya keberadaan senyawa logam dalam sumber air alami (Karnib, 2014). Dikarenakan produksi kulit samak masih terus dibutuhkan maka industri tersebut akan



terpapar kromium tetap beroperasi dan menghasilkan limbah. Limbah yang langsung dibuang ke badan air jelas mempengaruhi karakteristik air sungai dan ekosistemnya. Krom termasuk dalam logam berat yang bersifat toksik atau beracun apabila jumlahnya dalam tubuh berlebihan. Krom dalam tubuh biasanya berada dalam keadaan sebagai ion  $\text{Cr}^{3+}$ . Berbagai macam penyakit yang diakibatkan oleh krom antara lain kanker paru-paru, kerusakan hati (*liver*) dan ginjal, iritasi kulit, dan jika tertelan dapat menyebabkan sakit perut dan muntah. Mengingat bahaya logam krom, perlu dilakukan upaya pengolahan limbah cair industri penyamakan kulit sebelum dibuang ke badan air.

Teknologi pengolahan limbah industri penyamakan kulit kebanyakan melalui equalisasi, sedimentasi, dan perlakuan biologi. Logam krom dalam limbah cair juga dapat direduksi dengan cara adsorpsi menggunakan silika gel yang terbuat dari limbah pertanian seperti sekam padi. Penelitian Nurhasni (2010), tentang adsorpsi menunjukkan bahwa silika gel dari sekam padi mampu mereduksi krom dalam larutan krom berkonsentrasi 20 ppm dengan efisiensi penyerapan hingga 70,78%. Silika gel yang terbuat dari jerami padi juga telah dapat dihasilkan. Namun, penelitian tersebut masih sebatas karakterisasi dari silika gel belum sampai pemanfaatannya untuk reduksi limbah tertentu. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan jerami padi sebagai bahan baku pembuatan silika gel dengan cara ekstraksi basa. Silika gel yang dihasilkan, diteliti kemampuan adsorpsinya terhadap ion logam krom heksavalen dalam limbah artifisial dengan konsentrasi yang sama dalam limbah industri penyamakan kulit.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang melatarbelakangi penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik silika gel dari jerami padi?



2. Bagaimana efektivitas silika gel dari jerami padi terhadap penurunan konsentrasi krom heksavalen dalam limbah artifisial?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik silika gel dari jerami padi.
2. Mengetahui efektivitas silika gel dari jerami padi terhadap penurunan konsentrasi krom heksavalen dalam limbah artifisial.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pembaca mengenai pengolahan jerami padi sebagai adsorben dalam bentuk silika gel untuk menurunkan konsentrasi krom heksavalen dalam suatu limbah industri, sehingga dapat mengurangi pencemaran air sungai, dan dapat meningkatkan nilai ekonomis limbah jerami padi sebagai bahan alternatif dalam produksi silika gel.

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan skala laboratorium.
2. Limbah yang digunakan merupakan limbah artifisial yang dibuat dari  $K_2Cr_2O_7$  (Kalium dikromat).
3. Varietas padi yang digunakan sama yaitu IR64 yang diambil dari Karangploso, Kabupaten Malang.
4. Tidak membahas mengenai analisis biaya dalam proses pembuatan silika gel.
5. Tidak melakukan dan membahas modifikasi pada permukaan silika gel.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Padi (*Oryza sativa* L.)

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) adalah tanaman pangan yang merupakan makanan pokok mayoritas masyarakat Indonesia. Padi merupakan tanaman semusim (*perennial*) (Sekarnurani, 2017). Klasifikasi tanaman padi adalah sebagai berikut (Tjitrosoepomo, 2004):

Kingdom : Plantae  
Divisi : Spermatophyta  
Sub-divisio : Angiospermae  
Kelas : Monocotyledoneae  
Bangsa : Poales  
Suku : Gramineae  
Marga : *Oryza*  
Jenis : *Oryza sativa* L.



Sumber: Kusmaningtyas (2017)

**Gambar 2.1** Tanaman Padi

Tanaman padi terdiri atas gabah, akar, daun, tajuk, batang, bunga, dan malai. Akarnya serabut mencapai kedalaman 20-30 cm, tinggi batang beragam (0,5 -2 m), berbatang bulat dan berongga yang disebut jerami. Helai daun bangun garis, dengan tepi kasar dan panjangnya 15-80 cm. Bunga padi terdiri dari tangkai bunga, kelopak bunga *lemma* (gabah padi yang besar), *palea* (gabah padi yang kecil), putik, kepala putik, tangkai sari, kepala sari, dan bulu (*awu*) pada ujung *lemma* (Prabowo, 2016).



Gabah merupakan bagian padi yang terdiri atas biji (beras) yang terbungkus oleh sekam. Bobot gabah beragam dari 12-44 mg pada kadar air 0%, sedangkan bobot sekam rata-rata adalah 20% dari bobot gabah (Makarim, 2009).

Tanaman padi tumbuh melalui 3 fase antara lain fase vegetatif, fase reproduktif dan fase pematangan. Fase vegetatif merupakan fase awal pertumbuhan organ-organ vegetatif sampai pembentukan bakal malai/primordial, seperti penambahan jumlah anakan, tinggi tanaman, bobot, dan luas daun. Fase reproduktif ditandai dengan fase primordia sampai pembungaan yang ditandai dengan memanjangnya beberapa ruas teratas batang tanaman, berkurangnya jumlah anakan, munculnya daun bendera, bunting, dan pembungaan, dimana inisiasi primordial malai biasanya dimulai 30 hari sebelum *heading* dan waktunya hampir bersamaan dengan pemanjangan ruas-ruas batang, yang terus berlanjut sampai berbunga. Oleh karena itu, fase reproduktif disebut juga pemanjangan ruas. Fase pematangan merupakan fase pembungaan sampai gabah matang. Kebanyakan varietas padi di daerah tropis lama fase reproduktif umumnya 35 hari dan fase pematangan 30 hari. Perbedaan masa pertumbuhan padi hanya disebabkan oleh lamanya fase vegetatifnya (Makarim, 2009).

## 2.2 Limbah Padi

Limbah padi yang dihasilkan pada proses penggilingan gabah adalah dedak dan sekam padi. Menurut data yang dirilis oleh Kementerian Pertanian Republik Indonesia dari Badan Pusat Statistik produksi padi di Indonesia pada tahun 2017 sebanyak 81.382.451 ton. Padi yang sudah siap dipanen menunjukkan tanda 95% malai tampak kuning dan kadar air gabah berkisar 21-26%. Padi dipanen dengan cara pemotongan pada batangnya. Pemotongan tersebut dapat dilakukan pada bagian tengah maupun bawah batang. Kemudian dilakukan proses perontokan yang bertujuan untuk merontokkan bulir gabah dari



malai. Proses perontokan ini menghasilkan limbah padi berupa jerami padi. Gabah tersebut dikeringkan untuk menurunkan kadar air dalam gabah melalui proses penguapan air gabah dengan cara melewati udara panas dan kering ke dalam tumpukan gabah maupun proses penjemuran. Gabah yang sudah kering digiling untuk mengupas sekam dan memisahkan gabah (Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, 2015).

Dedak adalah serbuk halus yang dihasilkan dari kulit padi saat proses penggilingan padi. Di Indonesia, dedak padi kebanyakan dipakai untuk makanan ternak atau komoditas ekspor. Dedak padi juga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber vitamin B di bidang Farmasi, bahan campuran makanan seperti roti, dan diekstrak menjadi minyak goreng. Sekam padi merupakan kulit dari beras yang dihasilkan dari proses penggilingan padi. Pemanfaatan sekam padi dapat diterapkan pada berbagai keperluan, tetapi di Indonesia pemanfaatannya masih terbatas di bidang pertanian saja yaitu sebagai media tanam dan pada proses pembakaran batu bata (Sulardjo, 2013).

Abu dari sekam padi telah dipakai untuk menyerap minyak dan mencegah antiselip pada permukaan. Apabila dibakar tanpa udara, sekam padi dapat menghasilkan karbon aktif. Akan tetapi, pembuatan karbon aktif dari bahan lain yang lebih baik dengan hasil yang lebih seragam, seperti tempurung kelapa, mengakibatkan karbon aktif dari sekam tidak mampu bersaing. Silikon di dalam abu sekam dapat dipakai untuk menghasilkan kalsium silisida yang dipakai dalam industri baja sebagai bahan pereduksi. Silikon dalam abu sekam padi dimanfaatkan juga sebagai adsorben dalam bentuk silika gel (Sulardjo, 2013).

Jerami adalah batang padi yang memiliki karakteristik kering, berbentuk panjang dan berongga pada bagian tengahnya. Jerami padi mengandung selulosa sebesar 32-47%, hemiselulosa sebesar 19-32%, lignin sebesar 5-24%, dan 13-20% merupakan komponen lainnya. Komponen lain pada jerami



mengandung silika sekitar 60-80%. Komposisi kimia dalam jerami tergantung pada jenis beras, waktu tanam, iklim, dan kondisi geografi yang terkait. Silika yang terdapat dalam abu jerami padi tinggi konsentrasinya, sehingga jerami dapat diklasifikasikan sebagai salah satu bahan baku silika yang memungkinkan (Nandiyanto *et al.*, 2016). Menurut Badan Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Barat (2011), produksi jerami padi bervariasi mencapai 12-15 ton per hektar dalam sekali panen atau 4-5 ton bahan kering tergantung pada lokasi dan varietas tanaman yang digunakan. Perbandingan massa jerami padi dan gabahnya dapat sekitar 80:20.

Jerami padi dapat diterapkan dengan baik sebagai media pertumbuhan jamur merang (*Volvariella volvacea*). Di Indonesia jerami padi sudah mulai dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi kertas cetak dan tulis atau untuk pembuatan kardus. Jerami membutuhkan tenaga yang lebih sedikit dalam pembuatan pulp dibanding kayu. Kandungan lignin jerami yang lebih rendah daripada kayu, mengakibatkan kebutuhan bahan kimia dalam pembuatan pulp lebih rendah pula. Akan tetapi jerami mempunyai kelemahan, yakni kandungan silika yang tinggi yang menyebabkan pembentukan kerak dalam evaporator. Hal ini mengakibatkan kesulitan pemerolehan kembali bahan kimia yang digunakan (Sulardjo, 2013).

### 2.3 Unsur Silika (Si)

Silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) atau yang lebih dikenal dengan silika adalah padatan tak berwarna yang muncul dalam berbagai bentuk ikatan kristal, yang paling sering adalah kuarsa. Oksigen dan silikon merupakan dua komponen elemen yang paling banyak dalam kerak bumi, dan silikon dioksida adalah komponen utama pasir. Secara biologi, silika sering ditemukan di cangkang hewan fitoplankton diatom dan zooplankton radiolaris. Kata silika dan silikon berasal dari bahasa Latin *silex* yang artinya batu keras atau batu api. Silikat terdiri dari ikatan



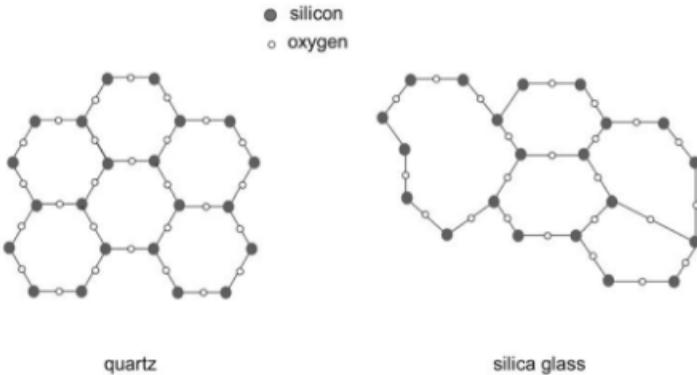
dasar tetrahedral sebagai  $\text{SiO}_4$  yang dapat berikatan dengan ion logam seperti aluminium, besi, natrium, magnesium, kalsium, dan potassium menjadi berbagai silikat mineral. Silikon merupakan sintesis polimer yang terbuat dari beberapa monomer dengan sedikitnya dua atom silikon yang dikombinasikan dengan sebuah kelompok organik dan umumnya mengandung oksigen. Berikut adalah sifat dari silika (Myers, 2007).

Nama kimia	: Silikon dioksida
Rumus molekul	: $\text{SiO}_2$
Massa molar	: 60,1 g/mol
Komposisi	: Si (46,7%) O (53,5%)
Titik lebur	: $1713^\circ\text{C}$
Titik didih	: $2230^\circ\text{C}$
Massa jenis	: $2,6 \text{ g/cm}^3$

Silika ditemui dalam bentuk kristal maupun non kristal. Ikatan dari suatu silika kristal teratur dan panjang, sebaliknya untuk ikatan dari silika non kristal tidak beraturan seperti pada **Gambar 2.2**. Silika dalam kuarsa muncul dalam bentuk kristal alami dan memiliki ikatan rantai yang panjang secara kovalen terhadap atom oksigen dalam sebuah susunan tetrahedral secara berulang. Silika non kristal dapat ditemui pada kaca. Meskipun terdapat kaca alami, silika kaca terbuat dari silika yang dipanaskan pada suhu tinggi dan didinginkan secara berulang. Pendinginan secara berulang tersebut tidak membentuk  $\text{SiO}_2$  menjadi sebuah struktur kristal dengan rantai yang panjang (Myers, 2007).

Silika dengan struktur tridimit dapat diperoleh dengan memanaskan pasir kuarsa pada suhu  $870^\circ\text{C}$  dan bila pemanasan dilakukan pada suhu  $1470^\circ\text{C}$  dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit. Silika juga dapat diperoleh dengan mereaksikan silikon dengan udara pada suhu tinggi. Salah satu karakteristik silika adalah amorf (Yunus, 2017).





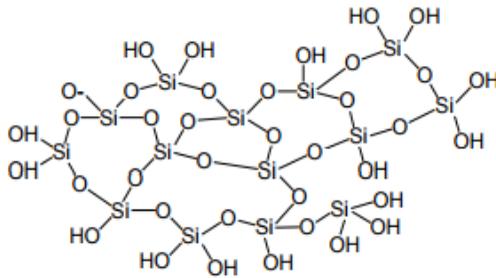
Sumber: Myers (2007)

**Gambar 2.2** Bentuk Silikon Dioksida Kristal dan Non Kristal

## 2.4 Silika Gel

Silika gel merupakan silika amorf yang terdiri atas globula – globula  $\text{SiO}_4$  tetrahedral yang tersusun secara tidak teratur dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar. Rumus kimia silika gel secara umum adalah  $\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ . Struktur satuan mineral silika pada dasarnya mengandung kation  $\text{Si}^{4+}$  yang terkoordinasi secara tetrahedral dengan anion  $\text{O}^{2-}$ , namun demikian, susunan tetrahedral  $\text{SiO}_4$  pada silika gel tidak beraturan seperti **Gambar 2.3**. Ketidakteraturan susunan permukaannya menyebabkan ukuran kemampuan adsorpsi silika gel tidak ditentukan oleh jumlah distribusinya. Kemampuan adsorpsi juga tidak sebanding dengan jumlah gugus silanol dan gugus siloksan yang ada pada permukaan silika gel, tetapi tergantung pada distribusi gugus OH per unit area adsorben (Oscik, 1982).





Sumber: Sulastri (2010)

**Gambar 2.3** Susunan tetrahedral silika gel

Permukaan silika gel terdapat dua jenis gugus, yaitu gugus silanol dan gugus siloksan. Menurut Morrow dan Gay (2000), gugus siloksan ada dua macam, yaitu Si-O-Si rantai lurus dan gugus siloksan yang membentuk struktur lingkaran dengan empat anggota. Jenis yang pertama tidak reaktif dengan pereaksi pada umumnya, tetapi sangat reaktif terhadap senyawa logam alkali. Jenis gugus siloksan yang membentuk lingkaran dengan empat anggota mempunyai reaktivitas yang tinggi, dapat mengadakan kemisorpsi dengan air, amoniak dan metanol. Reaksi dengan air akan menghasilkan dua gugus Si-OH, reaksi dengan amoniak akan menghasilkan gugus Si-NH<sub>2</sub> dan silanol, sedangkan reaksi dengan metanol akan menghasilkan gugus silanol dan Si-O-CH<sub>3</sub>.

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO<sub>2</sub>). Sol mirip agar-agar ini dapat didehidrasi sehingga berubah menjadi padatan atau butiran mirip kaca yang bersifat tidak elastis. Sifat ini menjadikan silika gel dimanfaatkan sebagai zat penyerap, pengering, dan penopang katalis. Silika gel merupakan produk yang aman digunakan untuk menjaga kelembaban makanan, obat-obatan, bahan sensitif, elektronik, dan film sekalipun. Kelebihan dari silika gel adalah menyerap lembab tanpa mengubah kondisi zatnya (Handayani, 2015).

Kelemahan silika gel yaitu bagian situs aktif hanya berupa gugus silanol (-SiOH) dan siloksan (Si-O-Si). Gugus silanol ini



mempunyai sifat keasaman yang rendah, disamping mempunyai oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah. Namun demikian adanya gugus silanol ( $\equiv\text{Si-OH}$ ) dan siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ) ini juga menguntungkan, karena memungkinkan terjadinya modifikasi. Pada modifikasi ini mungkin tidak terjadi perubahan jenis gugus fungsi pada situs aktif, walaupun perbandingan jumlahnya berbeda dengan sebelumnya. Kemungkinan lain adalah modifikasi dengan merubah gugus fungsi pada situs aktifnya, dilakukan dengan menambahkan pereaksi dan memberi suatu perlakuan fisis. Oleh karena itu, secara sintesis juga dapat diperoleh berbagai macam senyawa silika (Sulastris, 2010).

## 2.5 Proses Sol Gel

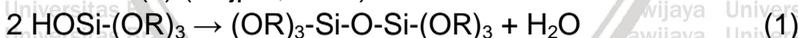
Proses sol gel didasarkan pada molekul prekursor yang dapat mengalami hidrolisis yang pada umumnya merupakan alkoksida logam atau semi logam. Molekul prekursor yang biasa digunakan dalam proses sol gel untuk pembuatan silika gel adalah senyawa silikon alkoksida seperti tetrametilortosilikat (TMOS) atau tetraetilortosilikat (TEOS). Alkooksida tidak dapat menyatu dengan air. Zat logam organik prekursor untuk silika, aluminium, titanium, zirkonium dan lain-lainnya. Proses sol gel awalnya melibatkan sebuah larutan homogen dengan satu atau lebih alkoksida terpilih. Larutan tersebut merupakan prekursor organik terhadap silika, aluminium, titanium, zirkonium, dan lain-lain. Zat katalis digunakan untuk memulai reaksi dan mengatur pH (Rajput, 2015).

Proses sol gel terjadi dalam 4 tahap, yaitu hidrolisis, kondensasi, pertumbuhan dan aglomerasi. Penambahan air pada tahap hidrolisis bertujuan untuk mengganti ikatan (OR) dengan ikatan (OH). Hidrolisis terjadi dengan mengikat oksigen pada atom silikon dalam silika gel. Hidrolisis dapat dipercepat dengan penambahan katalis seperti HCl dan  $\text{NH}_3$ . Reaksi



hidrolisis berlanjut hingga seluruh gugus alkoksi terganti oleh gugus hidroksil. Baik TMOS atau TEOS akan terhidrolisis dengan penambahan jumlah tertentu air atau pelarut organik seperti metanol atau etanol dan mengalami hidrolisis membentuk gugus silanol (Si-OH) sebagai intermediet. Gugus silanol ini kemudian terkondensasi membentuk siloksan (Si-O-Si), air dan alkohol. Reaksi hidrolisis dan kondensasi ini terus berlanjut sehingga viskositas larutan meningkat dan terbentuk gel (Rajput, 2015).

Reaksi kondensasi merupakan polimerisasi untuk membentuk gugus siloksan yang juga menghasilkan air atau alkohol. Hasil akhir dari kondensasi adalah ikatan monomer, dimer, tetramer siklis, dan ikatan gugus tinggi lainnya. Hidrolisis dipengaruhi tingkat pH, konsentrasi reagen, rasio molar H<sub>2</sub>O : Si (dalam silika gel), waktu dan pengeringan. Pengendalian faktor tersebut dapat meragamkan struktur dan karakteristik sol pada ikatan anorganik. Meningkatnya jumlah gugus siloksan, molekul-molekulnya mengumpul dalam larutan membentuk suatu ikatan, gel terbentuk ketika kering. Kemudian air dan alcohol terlepas dan ikatan tersebut menyusut. Pada pH>7, dan nilai H<sub>2</sub>O / Si berkisar antara 7 hingga 5. nanopartikel berbentuk bola terbentuk. Polimerisasi untuk membentuk gugus siloksan, alkohol atau air dapat dirumuskan seperti persamaan (1) dan persamaan (2) (Rajput, 2015).



Silika lebih mudah larut dan partikel silika berkembang ukurannya pada pH di atas 7. Perkembangan tersebut terhenti ketika perbedaan kelarutan dari partikel terkecil dan terbesar tak dapat dibedakan. Partikel yang lebih besar terbentuk pada suhu yang lebih tinggi. Dengan cara yang sama gel zirkonium dan itrium dapat terbuat. Meskipun terdapat peningkatan metode sintesis secara kimia maupun fisika, masih terdapat beberapa masalah dan keterbatasan (Rajput, 2015).



## 2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan pemisahan suatu unsur zat dalam cairan dengan cara memindahkan unsur tersebut ke permukaan padatan yang merupakan adsorben. Adsorpsi terjadi ketika transfer molekul dari larutan berkonsentrasi besar ke permukaan zat padat. Molekul tersebut diakumulasi atau dipadatkan pada permukaan adsorben. Bahan yang dijadikan adsorben harus memiliki porositas tinggi, karena adsorpsi kebanyakan terjadi pada dinding pori atau pada bagian tertentu pada partikel. Perbedaan bentuk, berat molekul, atau polaritas memperkuat molekul untuk berada pada permukaan adsorben dan mempermudah proses pemisahan. Kecepatan difusi larutan dalam kapiler adsorben menentukan tingkat adsorpsi. Kecepatan adsorpsi sama dengan akar dari waktu kontak dengan adsorben (Mathew *et al.*, 2016).

Menyesuaikan aplikasinya yang secara komersial, sorben yang digunakan harus memiliki selektifitas yang tinggi terhadap pemisahan, kapasitas yang besar untuk meminimalkan jumlah sorben dibutuhkan, kinetik dan kemampuan transpor yang baik untuk mempercepat proses sorpsi, stabilitas kimia dan termal. Sorben harus memiliki kelarutan yang sangat rendah terhadap fluida yang akan dikontakkan supaya dapat terjaga jumlah dan keadaan dari adsorben, juga dapat diregenerasi saat diaplikasikan secara komersial. Sorben tidak boleh memiliki kecenderungan untuk mendorong terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan. Adsorben konvensional yang sering digunakan dalam proses adsorpsi adalah karbon aktif, alumina aktif, besi asetat yang dilapisi dengan alumina aktif, silika gel, dan zeolit (Singh, 2016).

Secara umum adsorben dapat diasumsikan menjadi adsorben yang murah jika hanya memerlukan pemrosesan yang sedikit, jumlahnya berlimpah ruah di alam baik itu berupa produk sampingan maupun limbah dari suatu industri. Bahan alam atau



limbah tertentu dari bidang industri atau pun pertanian merupakan salah satu sumber adsorben yang murah. Umumnya, bahan tersebut terdapat di suatu tempat dengan keberadaan yang mudah dicari dalam jumlah yang besar, sehingga harganya murah dan memiliki nilai ekonomis yang rendah (Singh, 2016).

Menurut Singh (2016), adsorpsi dapat dikategorikan menjadi adsorpsi fisik dan kimia. Adsorpsi fisik merupakan hasil adanya tarik menarik antara permukaan adsorben dan adsorbat. Adsorpsi fisik terjadi ketika gaya tarik menarik antara molekul zat terlarut dengan adsorben lebih besar dari gaya tarik-menarik zat terlarut dengan pelarut, maka zat terlarut akan teradsorpsi diatas permukaan adsorben. Adsorpsi fisik juga terjadi pada suhu yang rendah atau mendekati titik kritis dari adsorbat. Sedangkan adsorpsi kimia (*chemisorption*) merupakan hasil dari interaksi secara kimia antara zat terlarut dengan permukaan adsorben. Tahap awal dalam *chemisorption* sering melibatkan energi aktivasi yang besar, dapat berupa eksotermis maupun endotermis. Berikut adalah faktor yang mempengaruhi adsorpsi (Mathew *et al.*, 2016).

a. Suhu

Suhu proses adsorpsi mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Semakin tinggi suhu, semakin menurun kapasitas adsorpsi dan sebaliknya.

b. pH

pH lingkungan mempengaruhi gugus aktif pada adsorben. Sehingga semakin meningkat pH dari 7,0-7,5, kapasitas retensi penyerapan pada permukaan meningkat secara signifikan, dan pada pH yang lebih rendah proses adsorpsi dapat terpengaruhi.

c. Tekanan

Semakin meningkat tekanan yang diberikan saat proses adsorpsi semakin meningkat pula adsorpsi yang terjadi hingga titik tertentu ketika tingkat kejenuhannya tercapai,



Univ  
tapi setelah itu tidak dapat terjadi adsorpsi seberapa tinggi pun tekanan yang diberikan.

d. Aktifasi adsorben

Aktifasi adsorben bertujuan untuk menambah jumlah tempat yang dapat dituju pada permukaan adsorben. Aktifasi dapat dilakukan dengan pemanasan arang pada suhu tinggi, menghancurkan gumpalan menjadi bubuk, atau metode lain yang sesuai untuk adsorben tertentu.

e. Luas permukaan adsorben

Adsorpsi merupakan suatu fenomena permukaan sehingga semakin luas permukaan adsorben akan semakin tinggi tingkat adsorpsi. Untuk molekul berukuran besar dengan luas permukaan yang lebih tinggi maka efisiensi adsorpsi juga meningkat.

Kemampuan adsorpsi suatu adsorben dapat dihitung dengan persamaan (3) dan (4) berikut (Mulida *et al.*, 2015).

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{C_o} \quad (3)$$

$$\% \text{adsorpsi} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (4)$$

dimana:

$q_e$  = Jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mg/L)

Persamaan adsorpsi isotermal merupakan gambaran tentang jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan konsentrasi zat yang belum teradsorpsi dalam fase cair. Adsorpsi isotermal dapat menjelaskan bagaimana interaksi antara adsorbat dengan adsorben dan situasi kritis untuk keperluan desain. Oleh karena itu, data hubungan kesetimbangan tersebut dapat dijadikan persamaan yang diperlukan untuk proses adsorpsi (Salam *et al.*, 2011).



Isoterm Langmuir merupakan metode isoterm yang paling sederhana. Langmuir menganggap permukaan suatu zat padat, sebagian terdiri dari ruang elementer yang masing-masing dapat mengadsorpsi satu molekul cair atau gas. Persamaan tersebut menunjukkan laju adsorpsi dan desorpsi untuk zat cair maupun gas pada permukaan padat. Metode langmuir ini, memberikan dasar yang sistematis untuk menyusun laju reaksi katalitik heterogen. Asumsi-asumsi yang digunakan pada isoterm adsorpsi Langmuir sebagai berikut (Purnama, 2016).

- a. Setiap situs aktif/daerah adsorpsi hanya dapat ditempati oleh satu molekul adsorbat
- b. Adsorbat yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan monomolekul dan terjadi dipermukaan adsorben
- c. Permukaannya homogen, artinya aktivitas dari setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama
- d. Energi aktifasi untuk semua tempat adalah sama.

Isoterm Freundlich sering digunakan dalam adsorpsi pada zat cair. Asumsi dari isoterm ini didasarkan bahwa ada permukaan heterogen dengan beberapa tipe pusat adsorpsi yang aktif. Model isoterm Freundlich menunjukkan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben adalah *multilayer*. Pola isoterm Langmuir diperoleh berdasarkan grafik hubungan  $C_e$  terhadap  $C_e/q_e$ , sedangkan isoterm Freundlich berdasarkan grafik hubungan antara  $\log C_e$  terhadap  $\log q_e$ . Persamaan garis yang diperoleh pada pola isoterm Langmuir dan Freundlich, kemudian diinterpretasikan pada persamaan (5) dan (6) berikut (Khadijah, 2017):

$$\text{Langmuir: } \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\text{maks}} \cdot K_L} + \frac{C_e}{q_{\text{maks}}} \quad (5)$$

$$\text{Freundlich: } \log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

dimana:

$q_{\text{maks}}$  = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

$C_e$  = konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mol/L)



$K_L$  = konstanta Langmuir

$K_f$  = konstanta Freundlich

$n$  = konstanta empiris

Parameter untuk penentuan model isoterm adsorpsi yang sesuai adalah yang dalam perhitungan memberikan harga koefisien relasi ( $R^2$ ) paling tinggi. Misalnya apabila harga  $R^2$  model isoterm Langmuir lebih besar dibandingkan model isoterm Freundlich, maka model isoterm Langmuir lebih sesuai dari model isoterm Freundlich, begitu pula sebaliknya (Khadijah, 2017).

## 2.7 Limbah Penyamakan Kulit

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah cair adalah limbah berupa cairan yang berasal dari hasil buangan bahan-bahan yang telah terpakai dari suatu proses produksi industri, domestik (rumah tangga), pertanian, serta laboratorium yang tersuspensi dan terlarut dalam air. Salah satu kegiatan industri yang menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi polutan yang tinggi yaitu industri penyamakan kulit. Industri kulit meliputi industri penyamakan kulit, industri sepatu/alas kaki, dan industri barang-barang yang terbuat dari bahan kulit. Industri penyamakan kulit adalah industri yang mengolah bahan mentah (*hides* dan atau *skins*) menjadi kulit jadi atau kulit tersamak (*leather*) dengan menggunakan bahan penyamak. Sedangkan industri barang-barang kulit adalah yang mengelola kulit jadi menjadi barang-barang untuk keperluan manusia meliputi tas, koper, ikat pinggang, sarung tangan, jaket kulit wayang kulit, serta hasil tatah dan ukir (Syaf, 2005).

Tahapan proses penyamakan kulit di Kecamatan Sukaregang Kabupaten Garut diawali dengan *washing*/pencucian kulit mentah yang bertujuan untuk



menghilangkan darah pengotor lainnya. Kulit mentah yang telah dicuci kemudian direndam (*soaking*) dalam waktu tertentu menggunakan air yang telah diberi obat pembasah dan antiseptik (tepol, molescal, cysmolan). Kulit rendaman yang telah bebas dari darah dan bakteri kemudian dimasukkan ke dalam air yang mengandung kapur tohor atau  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan Natrium sulfida ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), proses ini disebut dengan pengapuran (*liming*). Kulit kapuran dibersihkan dari sisa daging (*fleshing*) dan bulu yang masih menempel di kulit (*unhairing*). Kulit kapuran sebelumnya harus dibelah (*splitting*) terlebih dulu supaya mempermudah proses pembuangan sisa daging dan bulu. Perlu dilakukan pembuangan kapur (*deliming*) pada kulit kapuran dengan cara memasukkan kulit ke dalam air yang telah diberi senyawa asam seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , dan Dektal. Dikarenakan masih terdapat lemak dan protein pada kulit, perlu dilakukan pembuangan lemak (*degreasing*) dengan memasukkan kulit ke dalam air hangat yang telah diberi oropon atau enzyon, dilanjutkan dengan proses *pickling*/pengasaman untuk membuang protein, sisa garam dan sejumlah kecil mineral pada kulit, sehingga kulit siap untuk disamak.

Penyamakan kulit (*tunning*) merupakan pengawetan kulit menggunakan bahan kimia berupa Kromium sulfat basa. Kulit samak diperah (*samyng*) menggunakan mesin untuk menurunkan kadar airnya, lalu diserut (*shaving*). Kulit samak perlu dinetralisir untuk menormalkan pH pada kondisi netral sehingga aman saat digunakan sebagai produk olahan kulit. Dilakukan juga proses *finishing* diantaranya yaitu pencelupan kulit dalam pewarna tekstil (*dying*), peminyakan (*fatliquoring*), pengawetan (*preservation*), pengaturan (*setting out*), pengeringan (*stacking*), pelepasan (*stacking*), pengecatan dengan cara disemprot (*spraying*), penghalusan, pengguntingan bagian tepi kulit (*trimming*), pencetakan (*embossing*), dan pengukuran (*measuring*). Kulit samak yang sudah jadi siap



untuk dikemas dan dikirim ke industri produk olahan kulit (Syaf, 2005).



Sumber: Syaf, 2005

**Gambar 2.4** Sketsa Tahapan Proses Mengubah Kulit Mentah Menjadi Kulit Siap Samak

Syaf (2005) mengutip sketsa proses dalam mengubah kulit mentah menjadi kulit samak yang digambarkan oleh Judoamidjojo (1980). Sketsa tersebut (**Gambar 2.4**) dijelaskan bahwa dalam proses penyamakan kulit menghasilkan limbah dalam bentuk padat dan cair. Selain limbah padat dan cair, industri penyamakan kulit juga menghasilkan limbah gas. Limbah gas industri penyamakan kulit sebagian besar berasal dari mesin yang beroperasi dalam proses produksi dan pengolahan limbah cair dalam pabrik. Limbah padatan tersebut terdiri dari bagian yang harus dibuang dari kulit seperti rambut dan sisa daging, juga sisa kulit samak dari proses *trimming* dan *splitting*. Limbah cair industri penyamakan kulit merupakan limbah yang dihasilkan dari produksi dalam fase cair. Limbah cair ini memiliki jumlah yang sangat besar karena sebagian besar proses penyamakan dilakukan dalam keadaan basah. Secara umum karakteristik limbah cair industri pengolahan kulit antara lain TSS tinggi, penggaraman, sulfida, kromium, pH, endapan kapur, dan BOD.



Giacinta et al. (2013), meneliti karakteristik limbah cair pabrik penyamakan kulit CV. Lengtat Tangerang Leathers di daerah Batu Ceper, Tangerang. Hasil karakterisasinya yaitu pH 7,36; COD 1224 mg/L; BOD<sub>5</sub> 320 mg/L; TSS 238 mg/L; krom trivalen 15,2 mg/L; krom heksavalen 0,77 mg/L. Sugihartono (2016), melakukan penelitian dengan objek limbah cair industri penyamakan kulit di Yogyakarta. Limbah tersebut memiliki derajat keasaman netral ke arah basa yaitu pH antara 7,19 - 7,26, dan logam krom total sebanyak 8,12-11,62 ppm.

## 2.8 Krom (Cr)

Kromium merupakan sebuah logam yang keras dan berwarna biru perak (Miller, 2006). Keadaan murni krom berbentuk lunak dan merupakan salah satu logam berat dengan massa jenis 7,19 g/mL, nomor atom 24, dan massa atom 51,996. Krom dalam tabel periodik terletak pada golongan VIB periode keempat. Sumber utama kromium di alam yaitu senyawa kromat ( $\text{FeO-Cr}_2\text{O}_3$ ) dan kromat oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) (Sumami, 2009).

Secara alami, krom tersebar dalam tanah dan tumbuhan, meskipun konsentrasinya kebanyakan sangat rendah. Konsentrasi krom cukup tinggi pada beberapa jenis tanah yang merupakan bahan baku yang kaya akan krom. Sumber kromium di alam yang berasal dari industri besar antara lain operasi pabrik dengan besi, kimia organik dan petrokimia, produksi kertas dan pulp, penggilingan tekstil, penyamakan kulit, *electroplating*, kendaraan bermotor, semen, cat dan pewarna, dan lain-lain. Kromium tersebar ke lingkungan secara langsung dari berbagai industri dan proses pengolahan, atau ketika dibuangnya produk yang mengandung krom (Radojević dan Bashkin, 1999).

Krom di udara terbuka, permukaannya terbentuk sebuah lapisan transparan tipis yang membuat logam krom tahan terhadap korosi. Kualitas inilah yang membuat kromium sangat



diminati untuk membuat pelat atau pelapisan logam lain untuk melindungi dari korosi. Karena dapat mengkilapkan dengan baik, banyak benda yang dilapisi oleh kromium untuk alasan dekoratif. Penambahan kromium dalam besi tidak hanya untuk memperkeras saja, tetapi juga mencegahnya dari korosi atau *stainless*. Senyawa kromium sangat berwarna warni, dan banyak digunakan sebagai campuran komposisi cat. Contohnya antara lain kromium oksida berwarna hijau terang, timbal kromat berwarna kuning, kromium yang memberikan warna pada batu rubi dan juga batu jamrud (Miller, 2006).

Kromium juga merupakan senyawa esensial yang dibutuhkan oleh tubuh manusia untuk membantu proses gula darah. Kromium yang dibutuhkan oleh tubuh didapatkan dari makanan seperti biji-bijian, brokoli, ayam kalkun, jus anggur, dan kentang. Namun, jika tubuh kelebihan kromium akan menyebabkan sifat karsinogenik (penyebab kanker) dan kebanyakan senyawa kromium bersifat racun (Miller, 2006).

Kromium beracun bagi hewan dan manusia, tetapi tidak terlalu beracun bagi tumbuhan. Krom heksavalen merupakan sebuah zat karsinogenik bagi manusia. Pernafasan dan pencernaan merupakan rute utama tubuh manusia yang terbuka bagi krom. Dampak sifat beracun dari krom antara lain kerusakan paru-paru dan ginjal, tidak berfungsinya berbagai macam enzim dan kelainan pada kulit. Terhirupnya asap dan debu krom oksida maupun garam krom heksavalen dapat menyebabkan penyakit paru-paru seperti bronchitis dan paru-paru bengkok (Radojević dan Bashkin, 1999).

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah mengatur kadar maksimum dan beban pencemar suatu parameter air dalam limbah. Peraturan tersebut industri penyamakan kulit dibedakan menjadi dua yaitu industri penyamakan kulit yang memanfaatkan krom sebagai bahan samak dan industri penyamakan kulit yang memanfaatkan dedaunan sebagai



bahan samak. Industri penyamakan kulit yang menggunakan krom, batas kadar krom total paling tinggi yaitu 0,6 mg/L air limbah dan beban pencemaran tertingginya 0,024 kg/ton bahan baku dari hasil kegiatan penggaraman kulit mentah, dengan debit aliran limbah maksimum 40 m<sup>3</sup>/ton bahan baku. Kromium dalam limbah penyamakan kulit berasal dari adanya penggunaan kromium sulfat basa pada proses penyamakan krom (Syah, 2005).

Keberadaan kromium pada limbah cair selalu dihadapkan pada kendala bentuk spesi krom yang berbeda berdasarkan kestabilannya yaitu trivalen (Cr<sup>3+</sup>) dan heksavalen (Cr<sup>6+</sup>). Kromium heksavalen merupakan suatu oksidator kuat yang cenderung stabil ketika berada di lingkungan asam, sedangkan kromium trivalen lebih stabil ketika berada di lingkungan yang cenderung netral. Tahapan penghilangan kromium harus diidentifikasi terlebih dahulu jenisnya supaya proses pemisahan kromium yang akan dilakukan berjalan dengan baik (Narin *et al.*, 2006).

Banyak jenis teknologi yang digunakan untuk menghilangkan polutan logam dalam air, diantaranya adsorpsi, presipitasi, filtrasi membran, dan pertukaran ion. Adsorpsi telah terbukti ekonomis dan efisien untuk menghilangkan logam berat, polutan organik dan warna dalam air tercemar. Adsorben yang banyak digunakan diantaranya karbon aktif dan silika mampu memurnikan air (Karnib *et al.*, 2014). Adsorpsi logam Cr dapat menggunakan flokulan anorganik antara lain alumina aktif, silika gel, kapur padam, ferro sulfat dan aluminium sulfat, bentonit terpillar, serta unggun pasir (Sugihartono, 2016). Selain adsorben tersebut, terdapat adsorben alami yang merupakan makhluk hidup yang memiliki kemampuan adsorpsi terhadap limbah tertentu seperti bioadsorben dari alga laut (*Sargassum sp.*). Bioadsorben tersebut memiliki kemampuan adsorpsi terhadap ion logam krom heksavalen secara optimum pada pH 2 dan mampu mengurangi kadar krom trivalent pada pH>3.



Dikarenakan kemampuannya yang secara alami dapat mengadsorpsi krom, dilakukanlah penelitian mengenai desorpsi krom menggunakan eluen (cairan pelarut yang dapat menyingkirkan analit dari zat teradsorpsi), diantara lain HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan EDTA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eluen yang paling efektif untuk mendesorpsi krom dari alga *Sargassum sp* merupakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Amorim, *et al.*, 2003).

## 2.9 Spektroskopi Inframerah (FTIR)

Spektrofotometer inframerah merupakan instrument yang menentukan adsorpsi spektrum untuk suatu senyawa. Terdapat 2 jenis spektrofotometer yang sering digunakan yaitu tipe dispersif dan *Fourrier Transform Infra Red* (FTIR). Kedua tipe tersebut menghasilkan spectrum suatu senyawa biasanya pada jangkauan 4000-400 cm<sup>-1</sup>. Desain pola optik yang dihasilkan dari analisa suatu senyawa disebut dengan interferogram. Interferogram adalah sebuah isyarat kompleks dengan pola gelombang yang menjelaskan seluruh frekuensi yang dapat membentuk spektrum inframerah. FTIR dapat memisahkan frekuensi absorpsi individu dari interferogram dan menghasilkan sebuah spektrum yang identik dengan aslinya (Palvia *et al.*, 1979).

Terdapat dua jenis vibrasi (getaran) yaitu vibrasi ulur dan vibrasi tekuk. Vibrasi ulur (*stretching vibration*) yaitu vibrasi yang mengakibatkan perubahan panjang ikatan suatu ikatan. Vibrasi tekuk (*bending vibrations*) yaitu vibrasi yang mengakibatkan perubahan sudut ikatan antara dua ikatan. Vibrasi yang digunakan untuk identifikasi adalah vibrasi tekuk, khususnya vibrasi *rocking* (goyangan) yaitu berada di daerah bilangan gelombang 2.000 – 400 cm<sup>-1</sup>, pada daerah bilangan gelombang tersebut merupakan daerah yang khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi pada daerah tersebut. Spektrum gelombang di daerah 2.000 – 400 cm<sup>-1</sup> tiap senyawa



organik mempunyai absorpsi yang unik, sehingga daerah tersebut sering juga disebut sebagai daerah sidik jari (*fingerprint region*) (Sastromidjojo, 2001). Kegunaan yang lebih penting dari spektrum inframerah adalah memberikan keterangan tentang molekul. Serapan setiap tipe ikatan (N-H, C-H, O-H, C-X, C=O, dan sebagainya) hanya diperoleh dalam bagian-bagian kecil tertentu dari daerah vibrasi inframerah (Sastromidjojo, 1992). Di dalam penelitian Putra (2013), melakukan analisis dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada silika gel komersial, silika gel sintetis dari jerami padi, dan silika gel TMSP (3-(trimetoksilil)-1-propanatol). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa spektrum FTIR silika gel komersial dan hasil sintesis tidak jauh berbeda.

## 2.10 Spektrofotometri Serapan Atom (AAS)

Spektrofotometer nyala merupakan spektrofotometer yang secara khusus mengukur konsentrasi bahan kimia berupa atom bukan senyawa yang memakai obyek nyala api pembakar. Berdasarkan metodenya, terdapat dua jenis spektrofotometer nyala yaitu Spektrofotometer Emisi Nyala (*Flame Emission Spektrofotometer/ FES*) dan Spektrofotometer Serapan Atom (*Atomic Absorbption Spectroscopy/ AAS*). Penggunaan AAS semakin diminati karena keunggulan dan kecanggihannya. Analisa dengan AAS bertujuan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif secara akurat (Sari, 2010).

Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom yang menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, tergantung sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. Pemilihan panjang gelombang yang tepat, akan menghasilkan spektrum yang tajam dan dengan intensitas maksimum (Khopkar, 1990).

Sampel berupa molekul akan didisosiasikan (diurai) menjadi atom-atom di dalam nyala api AAS, atom menyerap energi



sehingga elektron-elektronnya mengalami eksitasi. Energi eksitasi ini berasal dari pancaran sinar sebuah sumber cahaya lampu, dimana energi yang terserap sama dengan selisih energi antara dua nivo energi. Peralihan antara dua nivo energi yang melibatkan posisi dasar biasanya mempunyai intensitas pancaran dan serapan yang lebih kuat daripada kemungkinan peralihan yang lain. Peralihan dari posisi dasar ke posisi eksitasi yang pertama disebut garis resonansi. Garis resonansi ini sangat penting bagi atom absorpsi, sebab tiap elemen dalam sampel akan menyerap sinar dengan jumlah jarak gelombang yang terbatas dalam kawasan spektrum yang sempit. Spektrum serapan ini akan dapat menghasilkan data-data mengenai zat sampel. Nyala api gas pembakar atom yang ada dalam sebuah proses AAS seolah-olah berfungsi sebagai kuvet pada spektrofotometer *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis).

Pembuatan kurva standar antara serapan (absorbansi) dengan konsentrasi larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya diharuskan dalam prakteknya. Sampel yang telah diukur serapannya, dapat ditentukan konsentrasinya secara interpolasi atau ekstrapolasi dengan kurva standar. AAS modern dilengkapi dengan sistem komputer kalibrasi, standarisasi dan perhitungan yang secara otomatis dilaporkan dalam bentuk *print out* (Sari, 2010).

Prinsip analisa  $\text{Cr}^{6+}$  secara spektrofotometri yaitu ion  $\text{Cr}^{6+}$  direaksikan dengan difenilkarbazida dalam suasana asam membentuk senyawa kompleks berwarna merah-ungu yang menyerap cahaya tampak pada panjang gelombang 530 nm atau 540 nm. Serapannya yang diukur pada panjang gelombang tersebut sebanding dengan kadar ion krom heksavalen (SNI 6989.71:2009).



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan preparasi silika gel akan dilaksanakan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSIH) Universitas Brawijaya. Sedangkan proses pembuatan silika gel jerami padi dan pengujian adsorpsinya terhadap limbah artifisial dilakukan di Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan (TSAL) Universitas Brawijaya. Lokasi LSIH terletak di kawasan Universitas Brawijaya yang terdapat di titik koordinat  $112^{\circ} 36' 45.88''$  E  $7^{\circ} 57' 20.00''$  S. Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang yang terletak di Jl. Semarang 5 Kota Malang. Pengujian kadar logam krom heksavalen dilakukan di Laboratorium Uji Kualitas Air Perum Jasa Tirta I yang berada di Jl. Surabaya No. 2A Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Penelitian ini dilakukan mulai bulan April 2018 – Oktober 2018.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Penelitian terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembuatan silika gel jerami padi dan tahap pengujiannya dalam mereduksi ion logam krom heksavalen. Alat dan bahan yang digunakan yaitu sebagai berikut.

##### 1. Pembuatan Silika Gel Jerami Padi.

Alat dan bahan yang digunakan berserta fungsinya untuk membuat silika gel jerami padi dijelaskan sebagai berikut.

- a. Jerami padi : sumber bahan yang mengandung silika (bagian batang tanaman padi/ panjangnya 50-60 cm)
- b. KOH : bahan ekstraksi silika
- c. HCl : bahan pembuatan silika gel



- d. Aquades : bahan pengencer larutan dan pembilasan
- e. Timbangan : menimbang massa bahan
- f. Kompor : mengarangkan jerami padi
- g. Furnace : mengabukan jerami padi
- h. Cawan : wadah arang jerami padi saat pengabuan
- i. Blender kering : menggerus abu sampai halus
- j. Beaker glass : wadah pencampuran abu jerami padi dan larutan KOH
- k. Hot plate : memanaskan larutan
- l. Magnetic stirrer : mengaduk larutan
- m. Termometer : mengontrol suhu larutan
- n. Kertas saring : menyaring residu abu yang telah diekstraksi dan memisahkan endapan hidrogel
- o. Corong : wadah kertas saring
- p. Erlenmeyer : wadah penampungan filtrat
- q. Pipet tetes : meneteskan HCl ke dalam larutan kalium silikat
- r. pH meter : mengontrol tingkat keasaman larutan
- s. Alumunium foil : wadah silika gel saat dikeringkan
- t. Ayakan 100 mesh: mengayak abu yang telah halus
- u. Ayakan 200 mesh: mengayak silika gel kering

## 2. Pengujian Silika Gel Jerami Padi

Silika gel jerami padi yang sudah jadi diujikan ke dalam larutan yang mengandung logam krom heksavalen ( $\text{Cr}^{6+}$ ) dengan konsentrasi yang bervariasi. Alat dan bahan yang digunakan antara lain sebagai berikut.

- a. Kristal  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  : bahan baku limbah artifisial
- b. Aquades : bahan pengencer larutan



- c. Labu ukur : wadah pembuatan larutan induk  $\text{Cr}^{6+}$
- d. Silika gel : adsorben untuk mereduksi ion  $\text{Cr}^{6+}$
- e. *Beaker glass* : wadah proses adsorpsi
- f. *Magnetic stirrer* : pengaduk saat proses adsorpsi
- g. Kertas saring : memisahkan larutan limbah yang telah diadsorpsi dengan silika gel
- h. Corong : wadah kertas saring
- i. Erlenmeyer : wadah penampungan limbah yang telah diadsorpsi dengan silika gel
- j. Botol 300 mL : wadah sampel yang telah diadsorpsi
- k. AAS : menganalisa konsentrasi ion  $\text{Cr}^{6+}$  yang tersisa setelah diadsorpsi
- l. FTIR : menganalisa gugus fungsi dalam silika gel

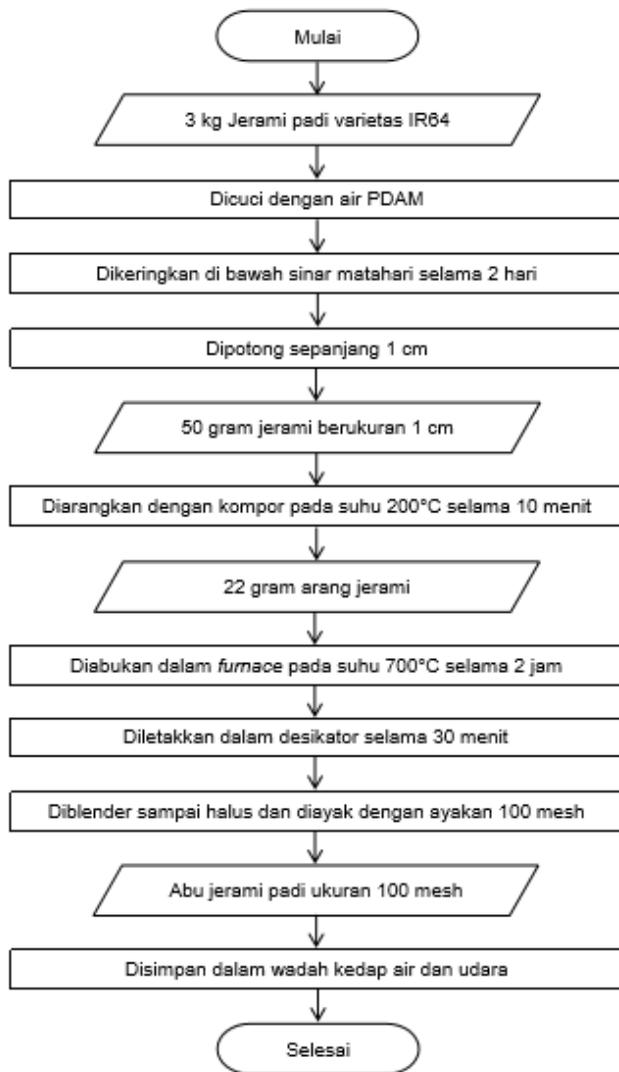
### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental atau percobaan dalam skala laboratorium dan mengadakan percobaan secara langsung untuk melihat dan memperoleh data empiris melalui pengaruh variabel yang diteliti. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu mulai dari preparasi bahan, pembuatan silika gel, pembuatan sampel hingga pengujian sampel. Berikut adalah prosedur dari tiap tahapan.

#### 3.3.1 Preparasi Abu Jerami Padi

Jerami padi jenis IR64 sebanyak 3 kg yang akan digunakan terlebih dahulu dicuci dengan air bersih PDAM untuk menghilangkan kotoran yang memungkinkan menjadi pengganggu proses ekstraksi (Astuti, 2016). Setelah bersih, jerami dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari selama 2 hari, lalu dipotong kecil-kecil sepanjang 1 cm (Astuti, 2016).





**Gambar 3.1** Diagram Alir Proses Pengabuan Jerami Padi

50 gram jerami berukuran 1 cm dipanaskan di atas kompor merek Quantum tipe QGC 211 MES dengan suhu pemanasan 200°C selama 10 menit hingga menjadi arang dengan massa rata-rata 18,75 gram dalam sekali proses. Total sebanyak 1600 gram jerami berukuran 1 cm yang diolah dapat menghasilkan



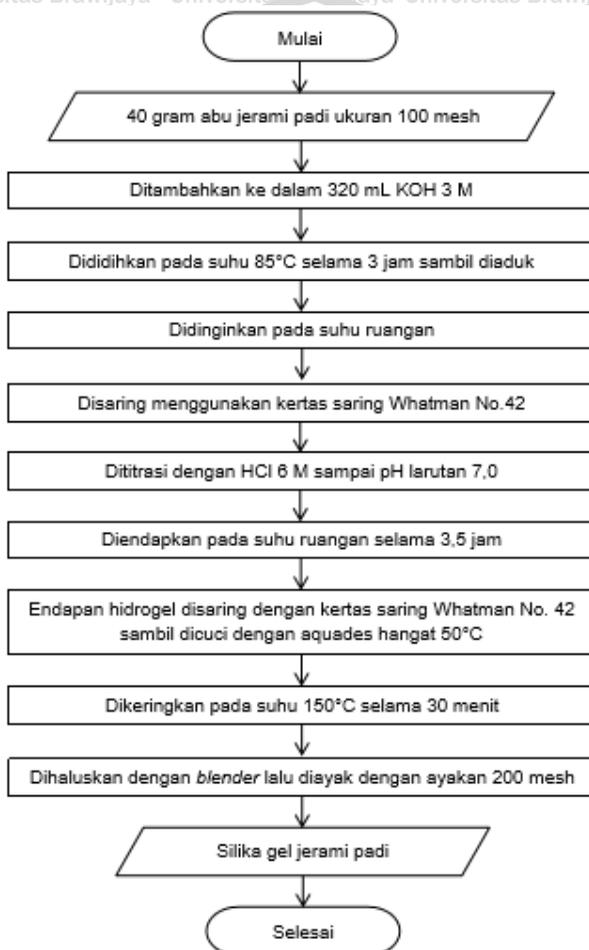
arang total sebanyak 600 gram. Arang sebanyak 22 gram dimasukkan ke dalam cawan porselen, lalu dipanaskan dalam *furnace* (tungku pemanas) pada suhu 700°C selama 2 jam sehingga menghasilkan abu jerami padi (Astuti, 2016). Abu tersebut dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit, lalu ditimbang massanya rata-rata sebanyak 12,77 gram abu jerami tiap proses *furnacing*. Total sebanyak 418 gram arang yang diabukan menghasilkan abu jerami sebanyak 242,6 gram. Abu yang dihasilkan diblender sampai halus dengan *blender* kering supaya mempermudah proses ekstraksi silika dalam abu, lalu diayak dengan ayakan 100 mesh supaya ukuran abu homogen (Astuti, 2016). Proses persiapan abu jerami padi dapat dilihat seperti diagram alir proses pengabuan jerami padi pada **Gambar 3.1**.

### 3.3.2 Pembuatan Silika Gel Jerami Padi

Larutan KOH 3 M dibuat dengan melarutkan 168 gram kristal KOH ke dalam 1 L aquades. Jumlah tersebut ditentukan dengan perhitungan stoikiometri seperti di **Lampiran 1**. Abu jerami padi berukuran 100 mesh ditimbang sebanyak 40 gram dan ditambahkan ke dalam 320 mL KOH 3 M di dalam gelas beaker 500 mL untuk membuat larutan kalium silikat, kemudian dididihkan menggunakan *hot plate* pada suhu 85°C selama 3 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (Wibowo, 2017). Gelas beaker ditutup dengan plastik saat mendidihkan larutan supaya tidak terjadi penguapan larutan KOH terlalu banyak. Setelah mendidih, larutan kalium silikat didinginkan pada suhu ruangan dan disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42, sehingga larutan kalium silikat bersih dari residu abu jerami padi. Larutan kalium silikat tersebut dititrasi dengan HCl 6 M sampai pH larutan 7,0/ netral (Astuti, 2016). Larutan Kalium silikat tersebut didiamkan selama 3,5 jam pada suhu ruangan supaya terbentuk endapan gel atau hidrogel (Wibowo, 2017). Endapan gel yang terbentuk tersebut disaring dengan kertas



saring Whatman No. 42 sambil dicuci dengan aquades hangat 50°C hingga air bilasan netral (Astuti, 2016). Waktu proses pencucian ini selama 7 hari. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C selama 30 menit (Nandiyanto, 2016). Silika gel jerami padi tersebut dihaluskan dengan *blender* lalu diayak dengan ayakan 200 mesh dan ditimbang massa silika gel yang didapatkan (Wibowo, 2017). Proses pembuatan silika gel jerami padi dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Diagram Alir Proses Pembuatan Silika Gel Jerami Padi



### 3.3.3 Penambahan Silika Gel Jerami Padi Untuk Mereduksi Krom Heksavalen

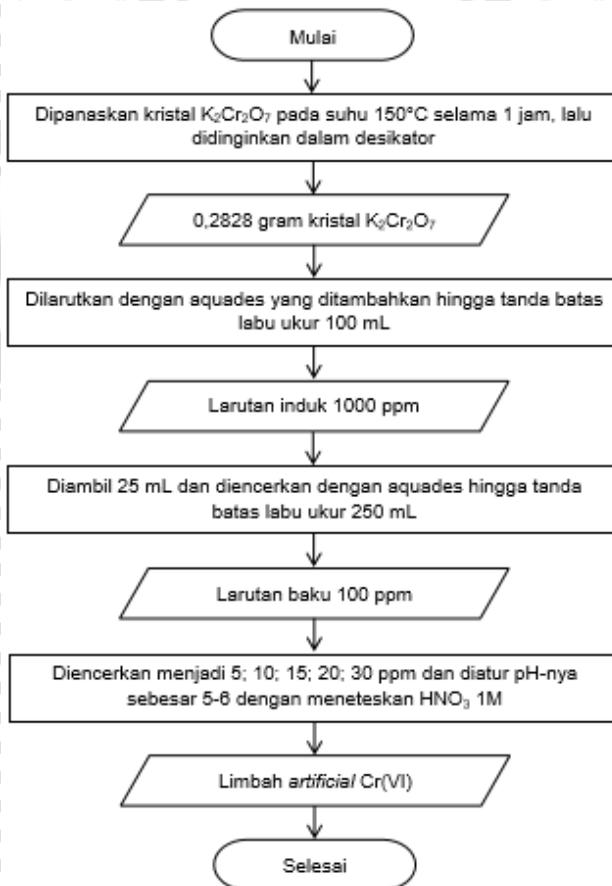
Limbah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah buatan atau artifisial yang diperoleh dari pelarutan 0,2828 gram kristal  $K_2Cr_2O_7$  yang telah dioven selama 1 jam pada suhu  $150^\circ C$  ke dalam 100 mL aquades menjadi larutan induk 1000 mg/L (SNI 6989.71:2009). Larutan induk 1000 mg/L diencerkan menjadi larutan baku 100 mg/L dengan cara melarutkan 25 mL larutan induk ke dalam aquades hingga tanda batas labu ukur ukuran 250 mL.

Variasi konsentrasi limbah artifisial dalam penelitian ini antara lain 5; 10; 15; 20; 30 ppm. Variasi konsentrasi limbah artifisial tersebut dibuat berdasarkan konsentrasi krom pada sampel limbah penyamakan kulit dalam Giacinta *et al.* (2013) yaitu 0,77 ppm dan konsentrasi krom pada sampel limbah penyamakan kulit dalam Sugihartono (2016) sekitar 8,12–11,62 ppm. Pembuatan limbah artifisial dibuat dengan mengencerkan larutan baku 100 mg/L dengan volume tertentu terhadap aquades hingga tanda batas labu ukur berukuran 250 mL. Volume larutan baku 100 mg/L yang diperlukan dalam pembuatan limbah artifisial berkonsentrasi 5; 10; 15; 20; 30 ppm berturut-turut yaitu 25 mL; 12,5 mL; 25 mL; 37,5 mL; 50 mL; 75 mL. Limbah artifisial tersebut diatur tingkat keasamannya dengan meneteskan  $HNO_3$  1M dan dikontrol dengan pH meter hingga pH larutan menjadi 5-6 (Astuti, 2016). Perhitungan massa kristal  $K_2Cr_2O_7$  dan pengenceran larutan dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Pembuatan limbah artifisial dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

Proses adsorpsi dilakukan dengan penambahan 1 gram silika gel jerami padi ke dalam 200 mL limbah buatan (Maulida, 2015). Limbah buatan tersebut mengandung krom heksavalen dengan konsentrasi yang berbeda antara lain 5; 10; 15; 20; 30 ppm. Waktu kontak proses adsorpsi selama 60 menit dengan

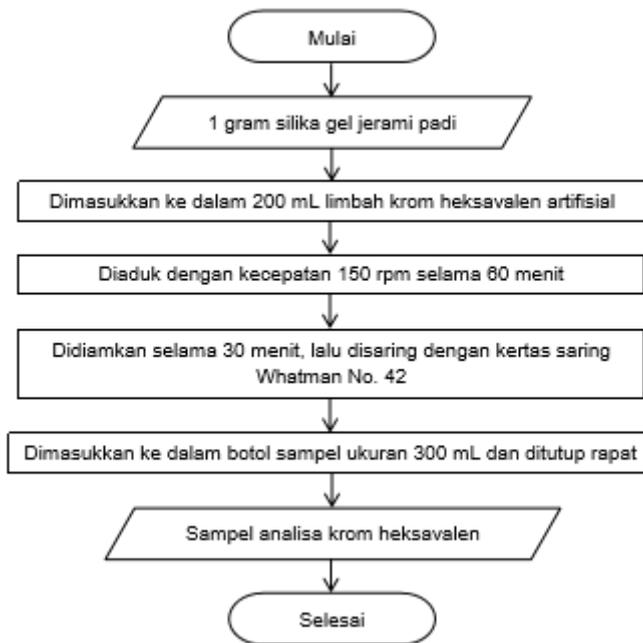


kecepatan pengadukan 150 rpm pada suhu ruangan (Suka, 2008). Keadaan saat proses adsorpsi tersebut dibuat berdasarkan peninjauan pustaka/studi literatur dari beberapa penelitian. Setelah diadsorpsi, limbah didiamkan selama 30 menit lalu disaring dengan kertas saring Whatman No. 42 untuk memisahkan silika gel jerami padi dan limbah yang telah diadsorpsi. Limbah yang telah diadsorpsi dimasukkan ke dalam botol sampel berukuran 300 mL dan ditutup rapat. Diagram alir proses penambahan silika gel jerami padi ke dalam limbah artifisial dapat dilihat di **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Proses Pembuatan Limbah Artifisial





**Gambar 3.4** Diagram Alir Penambahan Silika Gel Jerami Padi dalam Limbah Buatan

Proses adsorpsi ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Sehingga jumlah sampel yang didapat yaitu 15 sampel. Sampel diberi nama terlebih dahulu untuk selanjutnya dianalisa konsentrasi akhir dari krom heksavalen yang tersisa menggunakan AAS. **Tabel 3.1** menjelaskan penamaan sampel uji analisa krom heksavalen di penelitian ini.

**Tabel 3.1** Desain Penelitian

Ulangan	Konsentrasi awal sampel (ppm)				
	5 (C <sub>1</sub> )	10 (C <sub>2</sub> )	15 (C <sub>3</sub> )	20 (C <sub>4</sub> )	30 (C <sub>5</sub> )
U <sub>1</sub> (R <sub>1</sub> )	C <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	C <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	C <sub>4</sub> R <sub>1</sub>	C <sub>5</sub> R <sub>1</sub>
U <sub>2</sub> (R <sub>2</sub> )	C <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	C <sub>4</sub> R <sub>2</sub>	C <sub>5</sub> R <sub>2</sub>
U <sub>3</sub> (R <sub>3</sub> )	C <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> R <sub>3</sub>	C <sub>5</sub> R <sub>3</sub>

Keterangan:

C<sub>1</sub> R<sub>1</sub> : Konsentrasi awal 5 ppm ulangan 1

C<sub>1</sub> R<sub>2</sub> : Konsentrasi awal 5 ppm ulangan 2

C<sub>1</sub> R<sub>3</sub> : Konsentrasi awal 5 ppm ulangan 3

- C<sub>2</sub> R<sub>1</sub> : Konsentrasi awal 10 ppm ulangan 1  
C<sub>2</sub> R<sub>2</sub> : Konsentrasi awal 10 ppm ulangan 2  
C<sub>2</sub> R<sub>3</sub> : Konsentrasi awal 10 ppm ulangan 3  
C<sub>3</sub> R<sub>1</sub> : Konsentrasi awal 15 ppm ulangan 1  
C<sub>3</sub> R<sub>2</sub> : Konsentrasi awal 15 ppm ulangan 2  
C<sub>3</sub> R<sub>3</sub> : Konsentrasi awal 15 ppm ulangan 3  
C<sub>4</sub> R<sub>1</sub> : Konsentrasi awal 20 ppm ulangan 1  
C<sub>4</sub> R<sub>2</sub> : Konsentrasi awal 20 ppm ulangan 2  
C<sub>4</sub> R<sub>3</sub> : Konsentrasi awal 20 ppm ulangan 3  
C<sub>5</sub> R<sub>1</sub> : Konsentrasi awal 30 ppm ulangan 1  
C<sub>5</sub> R<sub>2</sub> : Konsentrasi awal 30 ppm ulangan 2  
C<sub>5</sub> R<sub>3</sub> : Konsentrasi awal 30 ppm ulangan 3

### **3.4 Metode Analisis**

#### **3.4.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Pada Silika Gel**

Silika gel jerami padi yang telah dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dengan spektroskopi inframerah atau FTIR. Tujuannya untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada silika gel. Gugus fungsi dalam silika gel yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi adalah gugus fungsi silanol dan siloksan. Hasil analisa FTIR disuguhkan dalam bentuk grafik spektrum, dimana sumbu x merupakan bilangan gelombang dan sumbu y merupakan presentasi transmitan. Spektrum tersebut terdiri dari puncak gelombang yang kemudian dibandingkan dengan pembacaan puncak gelombang silika gel lain untuk diinterpretasi. Silika gel pembanding yang digunakan antara lain silika gel kiesel-60 dalam Silverstein (1991), silika gel sekam jerami dalam Sriyanto (2015) dan silika gel jerami padi dalam Nandiyanto (2016).

#### **3.4.2 Pengujian Kadar Krom Heksavalen**

Pengujian kadar kromium dilakukan dengan menguji sampel limbah buatan yang telah diadsorpsi dengan silika gel jerami padi. Pengujian dilakukan di Perum Jasa Tirta Malang



dengan metode spektrofotometri serapan atom (AAS) berdasarkan SNI 6989.71:2009. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penurunan konsentrasi ion logam kromium heksavalen dalam limbah buatan yang sudah diketahui konsentrasi awalnya serta membandingkan hasil uji terhadap sampel akhir dengan baku mutu limbah industri penyamakan kulit. Efisiensi adsorpsi dapat diketahui dari hasil perhitungan dengan rumus berikut.

$$\% \text{adsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (2)$$

dimana:

$C_0$  = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi akhir larutan (mg/L)

### 3.4.3 Penentuan Adsorpsi Maksimum

Penentuan adsorpsi maksimum bertujuan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi ion logam krom heksavalen maksimum dalam limbah buatan yang dapat diserap oleh silika gel jerami padi. Penelitian ini akan menggunakan persamaan adsorpsi isotermal Langmuir dan Freundlich untuk mendapatkan persamaan yang dapat menentukan adsorpsi maksimum krom heksavalen oleh silika gel jerami padi. Data konsentrasi kromium heksavalen sebelum dan setelah adsorpsi ditabelkan seperti **Tabel 3.2** berikut.

**Tabel 3.2** Jumlah Krom (VI) yang Teradsorpsi Oleh Silika Gel dengan Variasi Konsentrasi Awal

No.	Cr <sup>6+</sup> awal (ppm)	Massa silika gel (gram)*	Cr <sup>6+</sup> setimbang (ppm)	Cr <sup>6+</sup> teradsorpsi (ppm)	X/m (mg/g)
1	5	1			
2	10	1			
3	15	1			
4	20	1			
5	30	1			

\* tiap variasi konsentrasi akan terdapat 3 kali pengulangan



Adsorpsi isoterm Langmuir diperoleh dari grafik hubungan  $C_e$  terhadap  $C_e/(x/m)$ , sedangkan adsorpsi isoterm Freundlich diperoleh dari grafik hubungan antara  $\log C_e$  terhadap  $\log (x/m)$ . Persamaan garis yang diperoleh pada pola isoterm Langmuir dan Freundlich, diinterpretasikan pada persamaan (7) dan (8) berikut:

$$\text{Langmuir} : \frac{C_e}{\left(\frac{x}{m}\right)} = \frac{1}{a \cdot b} + \frac{C_e}{a} \quad (7)$$

$$\text{Freundlich} : \log \left(\frac{x}{m}\right) = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (8)$$

dimana :

$C_e$  = konsentrasi krom heksavalen dalam larutan setelah adsorpsi (mg/L)

$a$  = kapasitas adsorpsi maksimum silika gel jerami padi (mg/g)

$b$  = konstanta Langmuir (L/mg)

$K$  = konstanta Freundlich (L/mg)

$n$  = konstanta empiris

$\frac{x}{m}$  = jumlah zat teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)

Parameter untuk penentuan model isoterm adsorpsi yang sesuai adalah yang dalam perhitungan memberikan harga koefisien relasi ( $R^2$ ) paling tinggi dan mendekati 1. Misalnya apabila harga koefisien korelasi model isoterm Langmuir lebih besar dibandingkan model isoterm Freundlich, maka model isoterm Langmuir lebih sesuai dari model isoterm Freundlich, begitu pula sebaliknya (Khadijah, 2017).



## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Sintesis Silika Gel Jerami Padi

Massa jerami padi IR 64, arang jerami, dan abu jerami saat tahap persiapan ditimbang dengan neraca analitik di Laboratorium Sentral dan Ilmu Hayati Universitas Brawijaya. Pengukuran massa dilakukan ketika bahan tersebut akan diproses dan setelah diproses. Rata-rata massa bahan sebelum (massa awal) dan sesudah proses (massa hasil) serta total massa bahan sebelum proses dan total massa bahan hasil proses diperlukan untuk mengetahui rendemen bahan. Rendemen merupakan persentase massa bahan yang dihasilkan dari tiap proses terhadap massa awal bahan sebelum diproses. Rendemen total merupakan persentase massa bahan yang dihasilkan tiap proses terhadap jerami padi IR 64 berukuran 1 cm. Rincian massa awal, massa hasil, dan rendemen dapat dilihat di **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Massa dan Rendemen Bahan

Proses	Kondisi		Massa (g)		Rendemen (%)	
	Awal	Hasil	Awal	Hasil	Kondisi Awal	Jerami 1 cm
Peng-arangan	Jerami 1 cm	Arang jerami	50	18,75	37,5	37,5
Furna-cing	Arang jerami	Abu jerami	22	12,77	58,05	15,16
Sintesis	Abu Jerami 100 mesh	Silika gel 200 mesh	40	2,78	6,95	1,04

Sumber: Data Penelitian (2018)

Berdasarkan data rendemen total yang terdapat di **Tabel 4.1**, rendemen total massa arang jerami terhadap jerami 1 cm yang dihasilkan dari pengarangan pada suhu 200°C dan rendemen total massa abu jerami yang dihasilkan dari



pengabuan pada suhu 700°C terhadap massa jerami 1 cm dalam penelitian ini lebih sedikit daripada literatur. Di dalam penelitian Nandiyanto *et al.* (2016), hasil analisa jerami padi Subang dengan *Thermo Gravity Differential Thermal Analysis* (TG-DTA) menunjukkan pada suhu 200-320°C jerami sudah berubah menjadi arang sebanyak 48% massa jerami dan pada suhu lebih dari 500°C jerami sudah berubah menjadi abu sebanyak 22% massa jerami. Sedangkan dalam penelitian ini rendemen arang terhadap jerami hanya sebesar 37,5% dan rendemen abu terhadap jerami hanya sebesar 15,16%.

Penelitian ini menggunakan metode ekstraksi secara basa dengan larutan KOH 3M dan menghasilkan rendemen silika gel kering teradap jerami padi sebesar 1,04%. Artinya, dari seratus persen massa jerami padi IR 64 ukuran 1 cm yang disintesis dapat menghasilkan silika gel ukuran 200 mesh sebanyak 1,04 persen, atau dengan kata lain 1000 gram jerami padi IR 64 dapat menghasilkan silika gel sebanyak 10,4 gram, dengan catatan menggunakan metode yang sama dengan penelitian ini.



Sumber: Dokumentasi penelitian (2018)

**Gambar 4.1** Ekstrak Kalium silikat dari Abu Jerami Padi, (a) silikat sebelum tersaring (b) residu abu jerami (c) filtrat silikat

Kalium silikat yang dihasilkan dari proses ekstraksi abu jerami 100 mesh dengan KOH 3M berupa larutan keruh berwarna abu-abu. Warna abu-abu tersebut dikarenakan adanya residu abu tidak terlarut dalam Kalium silikat. Larutan Kalium silikat yang terbentuk didinginkan pada suhu ruangan dan

mengendapkan residu abu jerami padi. Waktu yang dibutuhkan untuk proses ini sekitar 30 menit. Setelah disaring dengan kertas saring Whatman No. 42, filtrat Kalium silikat yang sudah dipisahkan dari residu abu jerami padi berupa larutan bening tak berwarna. Kenampakan Kalium silikat yang lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.

**Tabel 4.2** Data Presipitasi Kalium silikat dengan HCl 6M

pH Kalium silikat	Volume HCl 6M (mL)	Hasil Massa Silika Gel (g)	Rendemen Silika gel dari abu <sup>*)</sup> (%)
13,57 ± 0,16	136,83 ± 12,73	2,78 ± 0,41	6,95±1,02

Sumber: Hasil penelitian

\*) massa abu jerami padi 40 gram

Penelitian ini melakukan proses sintesis silika gel jerami padi dilakukan sebanyak 6 kali, sehingga terdapat enam gelas beaker Kalium silikat yang terbentuk dimana masing-masing memiliki kondisi pH awal yang sangat basa dan berbeda-beda. Berdasarkan **Tabel 4.2**, sebelum ditambahkan larutan HCl, Kalium silikat rata-rata memiliki pH awal 13,57. Dibutuhkan sekitar 137 mL larutan HCl untuk setiap gelas beaker Kalium silikat dari sekali proses ekstraksi dalam membentuk hidrogel dan menurunkan pH larutan menjadi 7. Presipitasi larutan silikat menggunakan HCl 6M menunjukkan bahwa pH larutan silikat dapat mempengaruhi pembentukan hidrogel. Selanjutnya pembentukan hidrogel mempengaruhi banyaknya massa silika gel yang dihasilkan.

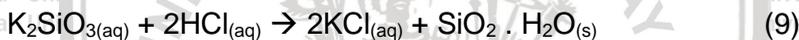
Menurut Suka (2008), pembentukan gel yang optimal terjadi pada pH netral yaitu 7,0, dikarenakan sifat silika tidak larut dalam media dengan suasana netral, sehingga pada kondisi ini pengendapan silika dapat berlangsung secara optimal. Pada pH pembentukan gel <7,0 menunjukkan tidak terbentuk gel tetapi hanya terjadi pembentukan endapan dengan ukuran butir yang beragam dan dianggap kurang mendukung penerapan sol-gel.

Konsentrasi HCl yang digunakan untuk presipitasi larutan silikat juga dapat mempengaruhi hasil massa silika gel kering.



Menurut Sholikha (2011), sintesis silika gel dengan HCl berkonsentrasi besar dapat mempercepat reaksi pembentukan gel sehingga pengadukannya menjadi tidak optimal. Pengadukan yang tidak optimal tersebut dapat menyebabkan hidrogel yang terbentuk berukuran besar dengan bagian dalam masih berupa Kalium silikat dan pada akhir proses pencucian hanya didapatkan sedikit hidrogel.

Penambahan HCl tersebut merupakan bentuk tahap hidrolisis dalam proses sol gel. Endapan gel berwarna putih yang terbentuk (silika hidrosol) berasal dari reaksi pertukaran ion  $K^+$  dalam Kalium silikat dengan ion  $H^+$  dalam HCl (Nandiyanto, 2016). Selain pertukaran ion, saat pembentukan gel terjadi juga melalui reaksi pembentukan ikatan siloksan ( $-Si-O-Si-$ ) dari silikat, sebagaimana reaksi kimia pada persamaan (9) berikut (Handayani, 2015).



Sumber: Dokumentasi Penelitian (2018)

**Gambar 4.2** Sintesis Silika Gel (a) larutan garam KCl, (b) hidrogel, (c) penyaringan dan pencucian hidrogel, (d) silika gel 200 mesh

Hidrogel yang diperoleh setelah presipitasi dengan HCl 6M, hidrogel dibiarkan selama 3,5 jam di suhu ruangan untuk pematangan gel dan mengendapkan gel seperti **Gambar 4.2**.

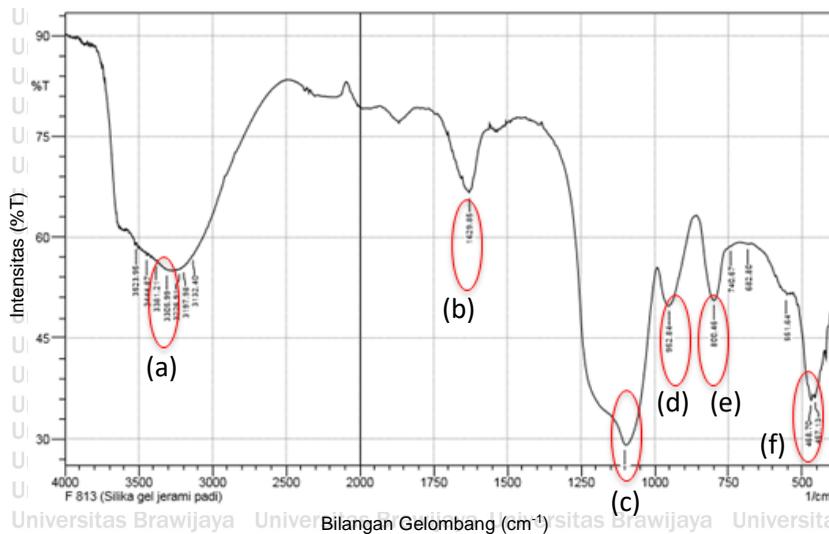
Endapan hidrogel tersebut disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42 sambil dicuci menggunakan aquades hangat (suhu  $50^{\circ}C$ ) untuk menghilangkan kandungan garam hingga pH air bilasan netral. Waktu yang dibutuhkan untuk pencucian

hidrogel dalam penelitian ini ialah 7 hari. Proses pencucian hidrogel juga dapat menghilangkan sisa-sisa asam yang dapat mengganggu proses selanjutnya. Silika gel jerami padi yang dihasilkan berwarna putih (**Gambar 4.2 d**). Hal ini sesuai dengan penelitian Fathonah (2012) yang menyatakan bahwa semakin banyak aquades yang diberikan saat pencucian maka semakin putih warna silika gel yang dihasilkan.

#### 4.2 Karakterisasi Silika Gel Jerami Padi dengan FTIR

Silika yang diperoleh dari jerami padi jenis IR64 dengan metode ekstraksi dikarakterisasi dengan FTIR. Hasil analisis FTIR silika gel berupa spektrum yang dapat dilihat di **Gambar**

#### 4.3



**Sumber:** Laboratorium Sentral Universitas Negeri Malang, 2018  
**Gambar 4.3** Spektrum FTIR Silika Gel Jerami Padi, a) Vibrasi ulur—OH dari Si-OH, b) Vibrasi tekuk —OH dari Si-OH, c) Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si, d) Vibrasi ulur Si=O pada Si-OH, e) Vibrasi ulur simetri Si-O dari Si-O-Si, f) Vibrasi tekuk Si-O-Si



Spektrum tersebut menunjukkan beberapa puncak yang mengindikasikan adanya beberapa gugus fungsi dalam sampel silika gel, baik yang dimiliki oleh silika atau gugus fungsi yang dari pengotor yang tidak dapat dibersihkan seluruhnya. Secara umum, gugus fungsional pada silika gel adalah silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Hasil karakterisasi FTIR kemudian dibandingkan dengan hasil karakterisasi FTIR silika gel kiesel-60, silika gel sekam padi, dan silika gel jerami padi (jerami dari daerah Subang) yang didapatkan dari literatur seperti pada

**Tabel 4.3.**

**Tabel 4.3** Perbandingan Spektrum FTIR dan Interpretasinya

<b>Bilangan Gelombang Silika Gel (cm<sup>-1</sup>)</b>				
<b>Jerami Padi<sup>*)</sup></b>	<b>Kiesel-60<sup>**)</sup></b>	<b>Sekam Padi<sup>***)</sup></b>	<b>Jerami Padi<sup>****)</sup></b>	<b>Interpretasi</b>
3305,99	3415,7	3448,5	3427	Vibrasi ulur -OH dari Si-OH
1629,85	1629,7	1635,5	1641	Vibrasi tekuk -OH dari Si-OH
1099,43	1097,4	1103,2	1083	Vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O-Si
800,46	800,4	798,5	798	Vibrasi ulur simetri Si-O dari Si-O-Si
952,84	966,3	968,2	952	Vibrasi ulur Si-O pada Si-OH
468,70	451,3	470,6	464	Vibrasi tekuk Si-O-Si

*\*) Sumber:* Laboratorium Sentral FMIPA UM (2018)

*\*\*\*) Sumber:* Silverstein (1991)

*\*\*\*\*) Sumber:* Sriyanto (2005)

*\*\*\*\*\*) Sumber:* Nandiyanto (2016)

Berdasarkan hasil uji FTIR, hasil spektra FTIR silika gel jerami padi menunjukkan kemiripan dengan spektra silika pembanding. Pada spektra keempatnya terdapat pita-pita serapan pada bilangan gelombang yang hampir sama. Muncul puncak pada bilangan gelombang 3200-3600 cm<sup>-1</sup> yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus O-H (alkohol) ikatan hidrogen/fenol yang biasanya muncul pada bilangan gelombang



tersebut. Pita serapan di bilangan gelombang 2800-3750  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus  $\text{-OH}$  silanol dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam silika gel (Kalapathy, 2000). Puncak utama yang berkaitan dengan gugus fungsi pada silika gel adalah pita lebar pada bilangan gelombang 3305,99  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya vibrasi ulur gugus  $\text{-OH}$  (hidroksil) dari silanol ( $\text{Si-OH}$ ). Pelebaran pita serapan terjadi karena gugus fungsi  $\text{-OH}$  dan air terserap pada permukaan silika melalui ikatan hidrogen (Khadijah, 2017).

Muncul puncak pada bilangan gelombang 1610-1680  $\text{cm}^{-1}$  yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus  $\text{C=C}$  (alkena) yang biasanya muncul pada bilangan gelombang tersebut. Pada pita serapan rentang tersebut diindikasikan terdapat vibrasi tekuk gugus  $\text{-OH}$  dari silanol yang terikat ditunjukkan pada bilangan gelombang 1629,85  $\text{cm}^{-1}$ . Kemunculan kedua puncak tersebut menunjukkan adanya adsorpsi air selama proses ekstraksi (Handayani, 2015).

Muncul puncak pada bilangan gelombang 1050-1300  $\text{cm}^{-1}$  yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus  $\text{C-O}$  (alkohol/ eter/ asam karboksilat/ ester) yang biasanya muncul pada bilangan gelombang tersebut. Puncak dengan pita serapan kuat dan lebar pada 1099,43  $\text{cm}^{-1}$  diindikasikan terdapat vibrasi ulur asimetri gugus fungsi  $\text{Si-O}$  dari siloksan ( $\text{Si-O-Si}$ ) dalam silika gel. Muncul puncak pada bilangan gelombang 690-900  $\text{cm}^{-1}$  yang kemungkinan menunjukkan adanya gugus cincin aromatik berupa gugus  $\text{C-H}$  yang biasanya muncul pada bilangan gelombang 690-900  $\text{cm}^{-1}$  dan 3010-3100  $\text{cm}^{-1}$ .

Hasil analisis FTIR juga menunjukkan adanya puncak pada bilangan gelombang 675-995  $\text{cm}^{-1}$  yang kemungkinan merupakan gugus  $\text{C-H}$  alkena yang biasanya muncul pada bilangan gelombang 675-995  $\text{cm}^{-1}$  dan 3010-3095  $\text{cm}^{-1}$ , sedangkan puncak pita serapan yang berkaitan dengan gugus silika gel pada rentang gelombang tersebut muncul pada bilangan gelombang 800,46  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan tersebut merupakan vibrasi ulur simetri dari gugus  $\text{Si-O}$  dari siloksan.



Keberadaan gugus fungsi Si-O-Si atau siloksan diperkuat dengan adanya puncak pada bilangan gelombang  $468,7\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi tekuk ikatan Si-O-Si. Puncak lainnya terdapat pada daerah  $952,84\text{ cm}^{-1}$ , yang menunjukkan adanya ikatan antara Si-O dengan logam. Interpretasi data FTIR ini sesuai dengan analisis fungsional silika gel yang dilakukan oleh Silverstein (1991), Sriyanto (2005), dan Nandiyanto (2016).

Kemipiran pola pita serapan pada silika gel jerami padi dan pola pita serapan pada silika pembanding untuk gugus silanol dan gugus siloksan dapat disimpulkan terdapat kemiripan gugus fungsional, hal ini menunjukkan bahwa jerami padi dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan silika gel yang mempunyai kemampuan adsorpsi terhadap ion logam (Khadijah, 2017).

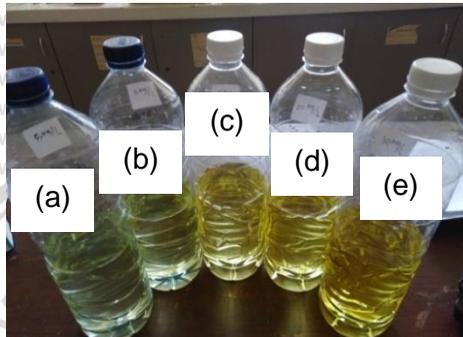
#### **4.3 Pengaruh Silika Gel Jerami Padi Terhadap Limbah Artifisial**

Penambahan silika gel jerami padi dalam limbah artifisial dilakukan untuk mengadsorpsi krom heksavalen dalam limbah artifisial. Rasio adsorben terhadap adsorbat yang diterapkan dalam penelitian ini yaitu 1 gram silika gel jerami padi terhadap 200 mL limbah artifisial dalam erlenmeyer berukuran 500 mL, sehingga dosis adsorben yang digunakan yaitu 5 gram/L. Dosis adsorben yang digunakan merupakan salah satu faktor penting dalam adsorpsi. Karena jika jumlah ion logam dalam limbah lebih banyak, maka akan menyebabkan permukaan silika gel menjadi lebih cepat jenuh. Perbandingan tersebut dianut dari sebuah penelitian mengenai adsorpsi krom heksavalen terhadap adsorben gambut dengan sistem *batch* yang menunjukkan hasil bahwa 200 mL limbah artifisial krom heksavalen dengan variasi konsentrasi 5-25 mg/L dapat diadsorpsi dengan optimum dengan dosis adsorben 4-9 gram/L (Maulida, 2015).

Proses adsorpsi pada penelitian ini dilakukan pada suhu ruangan. Pemilihan kondisi ini disebabkan proses adsorpsi pada



suhu yang semakin tinggi menyebabkan ion logam berat yang akan dijerap adsorben semakin sedikit. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu pada proses adsorpsi, maka pergerakan ion dalam limbah artifisial semakin cepat sehingga jumlah ion logam berat yang terserap oleh adsorben semakin berkurang (Nurhasni, 2010).



Sumber: Dokumentasi penelitian (2018)

**Gambar 4.4** Sampel Limbah Artifisial Krom Heksavalen, (a) konsentrasi 5 mg/L (b) konsentrasi 10 mg/L (c) konsentrasi 15 mg/L (d) konsentrasi 20 mg/L (e) konsentrasi 30 mg/L

Kondisi awal limbah artifisial dari konsentrasi terendah ke tertinggi dapat dilihat dalam **Gambar 4.4** secara berurutan dari gambar botol kiri ke kanan. pH awal limbah artifisial dikondisikan pada rentang pH 5-6. Parameter pH diukur secara langsung menggunakan pH meter, rata-rata pH terukur hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4** Hasil pH Terukur Sampel Limbah Artifisial

Sampel	Konsentrasi Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	pH Limbah	
		Sebelum Adsorpsi	Setelah Adsorpsi
C <sub>5</sub>	30	5,1	6,56 a
C <sub>4</sub>	20	5,2	6,80 b
C <sub>3</sub>	15	5,3	6,97 c
C <sub>2</sub>	10	5,9	7,13 d
C <sub>1</sub>	5	5,7	7,43 e
<b>BNT 5%</b>			0,15

Sumber: Data penelitian (2018)



**Tabel 4.4** menunjukkan bahwa penyerapan ion logam krom heksavalen oleh silika gel dapat meningkatkan pH hingga memenuhi baku mutu PP. No. 81 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Peraturan tersebut menentukan baku mutu parameter pH bagi air kelas II pada tingkat keasaman 6-9 atau netral. Kemampuan penyerapan silika gel jerami padi sebagai adsorben dapat dipengaruhi oleh pH awal limbah artifisial. Hal ini berhubungan dengan adanya reaksi protonasi atau deprotonasi pada permukaan sisi aktif dari adsorben yang mempengaruhi muatan permukaan adsorben, derajat ionisasi dan spesi apa saja yang dapat terserap. Nilai pH juga dapat mempengaruhi kesetimbangan kimia limbah artifisial sebagai adsorbat maupun adsorben yang mempengaruhi efisiensi adsorpsi.

Hasil perhitungan statistik uji ANOVA terhadap data pH akhir (pH setelah adsorpsi) menunjukkan bahwa  $F_{hitung} > F_{tabel}$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa data rata-rata pH setelah adsorpsi tiap perlakuan (konsentrasi  $Cr^{6+}$  limbah artifisial) memiliki perbedaan yang nyata dan signifikan pada taraf kepercayaan 5%. Nilai pembeda antar rata-rata populasi sampel tiap perlakuan yaitu 0,15. Hasil uji lanjut BNT 5% data rata-rata pH akhir dari tiap perlakuan menunjukkan adanya perbedaan yang nyata, dan pH akhir limbah artifisial berpengaruh cukup signifikan pada tiap perlakuan konsentrasi  $Cr^{6+}$  limbah artifisial 30 mg/L, 20 mg/L, 15 mg/L, 10 mg/L, dan 5 mg/L.

Nilai standar deviasi pH pada perlakuan menunjukkan hasil yang sangat kecil (**Lampiran 6**). Nilai standar deviasi yang kecil (0 - 0,15) tersebut menunjukkan bahwa nilai pH pada masing-masing perlakuan tidak memiliki nilai perbedaan yang besar. Hal ini disebabkan oleh pH awal limbah artifisial pada seluruh perlakuan yang rentangnya tidak terlalu besar, sehingga perbedaan nilai pH setelah diadsorpsi juga tidak memiliki rentang yang terlalu jauh.

Jika nilai pH awal dibandingkan dengan efisiensi adsorpsi pada **Tabel 4.5**, maka dapat diketahui pH optimum untuk adsorpsi krom heksavalen dalam limbah artifisial. Diketahui dari hasil penelitian bahwa limbah artifisial sampel C<sub>4</sub> pada pH 5,2 mengalami adsorpsi yang lebih optimum dari pada limbah dengan pH yang lebih tinggi, yaitu dengan efisiensi adsorpsi sebesar 42,67%.

Menurut Nurhasni (2010), sekam padi sebagai adsorben mampu mengadsorpsi ion krom heksavalen secara optimum pada pH 6 dengan efisiensi adsorpsi sebesar 93,33%, sedangkan pada pH 3-5 efisiensinya hanya sebesar 60-80%. Hal ini dikarenakan pada pH asam permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H<sup>+</sup> akibat terprotonasi dan menyebabkan terjadinya tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam, sehingga adsorpsinya pun menjadi rendah. Pengaruh pH netral (pH 6-7) terhadap efisiensi penyerapannya menurun, sebab pada pH tersebut ion logam krom heksavalen dapat mengalami reaksi hidrolisis dalam larutan sehingga bentuk ion logam krom heksavalen tidak stabil dan menyebabkan penurunan kemampuan silika gel jerami padi untuk mengadsorpsi.

**Tabel 4.5** Efisiensi Adsorpsi Silika Gel Jerami Padi Terhadap Cr<sup>6+</sup>

Sampel	Konsentrasi Cr <sup>6+</sup> (ppm)		Efisiensi adsorpsi (%)
	Awal (Co)	Akhir (Ce)	
C <sub>1</sub>	5	4,36 a	12,79 a
C <sub>2</sub>	10	7,26 b	27,43 ab
C <sub>3</sub>	15	11,37 c	24,18 ab
C <sub>4</sub>	20	11,47 c	42,67 b
C <sub>5</sub>	30	19,37 d	35,43 b
<b>BNT 5%</b>		2,27	17,5

Sumber: Data penelitian (2018)

Pengukuran ion logam berat krom heksavalen menggunakan AAS oleh analis Laboratorium Lingkungan di

Perum Jasa Tirta I yang hasilnya secara detail dapat dilihat pada **Lampiran 5**. Rata-rata konsentrasi ion krom heksavalen dan rata-rata efisiensi adsorpsi silika gel jerami padi dapat dilihat di **Tabel 4.5**. Konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  limbah artifisial setelah diadsorpsi tidak dapat diperoleh kondisi yang memenuhi baku mutu parameter krom heksavalen yang ditetapkan dalam PP. No. 81 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air bahkan terhadap kelas IV yang merupakan kualitas air permukaan terburuk diantara yang bisa dimanfaatkan yaitu 1 ppm. Berdasarkan data hasil analisa yang diperoleh, selisih konsentrasi awal dan konsentrasi akhir limbah artifisial yang menunjukkan kecenderungan penurunan yang tidak signifikan bahkan terdapat sedikit kenaikan konsentrasi krom heksavalen, sehingga tidak diperoleh titik optimum. Namun, dapat diketahui bahwa efisiensi adsorpsi terbesar terjadi pada limbah sampel  $\text{C}_4$  dengan konsentrasi awal 20 ppm yaitu 42,67%.

Efisiensi adsorpsi silika gel jerami padi pada konsentrasi awal limbah 30 ppm yaitu 35,43%. Nilai efisiensi tersebut lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi adsorpsi pada limbah dengan konsentrasi awal 20 ppm. Peningkatan konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  dalam limbah artifisial menyebabkan efisiensi adsorpsi silika gel menurun. Hal ini dikarenakan kemampuan menyerap adsorben terhadap ion logam berat  $\text{Cr}^{6+}$  sudah maksimum, dengan kata lain kapasitas serap maksimum silika gel jerami padi telah tercapai pada konsentrasi 20 ppm.

Menurut Nurhasni (2010), penurunan efisiensi penyerapan disebabkan karena pada konsentrasi yang lebih tinggi, jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah pertikel adsorben yang tersedia sehingga permukaannya akan mencapai titik jenuh dan efisiensi penyerapannya pun menurun. Permukaan adsorben yang sudah jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat, dapat terjadi dua hal. Pertama, terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya di atas adsorbat yang



telah terikat di permukaan, gejala ini disebut adsorpsi multilayer. Kedua, tidak terbentuk lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida.

Hasil perhitungan statistik uji ANOVA terhadap data konsentrasi akhir (konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  limbah artifisial setelah adsorpsi) menunjukkan bahwa  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa data rata-rata konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  limbah setelah adsorpsi tiap perlakuan (konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  limbah artifisial sebelum adsorpsi) memiliki perbedaan yang nyata dan signifikan pada taraf kepercayaan 5%. Nilai pembeda antar rata-rata populasi sampel tiap perlakuan yaitu 2,27. Hasil uji lanjut BNT 5% terhadap data rata-rata konsentrasi akhir dari perlakuan konsentrasi awal 5 mg/L berbeda nyata dengan konsentrasi awal 10 mg/L, begitu pun dengan perlakuan konsentrasi awal 10 mg/L terhadap konsentrasi awal 15 mg/L. Namun, perlakuan konsentrasi awal 15 mg/L dan 20 mg/L menunjukkan data rata-rata konsentrasi akhir keduanya tidak memiliki perbedaan yang nyata, sedangkan perlakuan konsentrasi awal 20 mg/L dan 30 mg/L memiliki perbedaan yang nyata.

Selanjutnya, hasil perhitungan uji ANOVA terhadap data efisiensi adsorpsi silika gel jerami padi terhadap ion logam krom heksavalen menunjukkan bahwa  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ . Artinya, data rata-rata efisiensi adsorpsi tiap perlakuan (konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  limbah artifisial sebelum adsorpsi) memiliki perbedaan yang nyata dan signifikan pada taraf kepercayaan 5%. Nilai pembeda antar rata-rata populasi sampel tiap perlakuan yaitu 17,5. Hasil uji lanjut BNT 5% terhadap data rata-rata efisiensi adsorpsi dari tiap perlakuan tidak berbeda nyata.

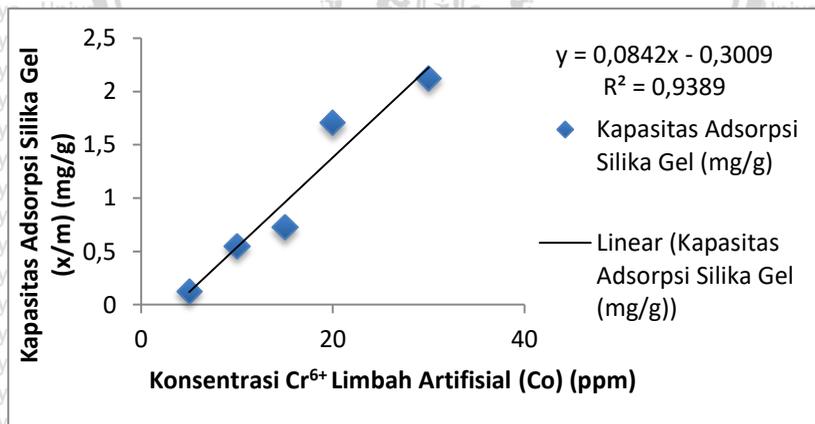
Nilai standar deviasi data konsentrasi akhir pada perlakuan menunjukkan hasil yang sangat kecil (**Lampiran 5**). Nilai standar deviasi yang kecil (0,57 – 2,33) tersebut menunjukkan bahwa nilai pH pada masing-masing perlakuan tidak memiliki



nilai perbedaan yang besar. Berbeda dengan nilai standar deviasi efisiensi adsorpsi yang rentangnya cukup besar (**Lampiran 7**), yaitu 3,78 - 17,74. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kadar krom heksavalen yang diadsorpsi oleh silika gel pada tiap perlakuan dan kapasitas adsorpsi silika gel jerami padi terhadap ion logam krom heksavalen dalam limbah artifisial.

#### 4.4 Analisa Adsorpsi Isotermal Silika Gel Jerami dengan Persamaan Langmuir dan Freundlich

Kesetimbangan adsorpsi digunakan untuk mengetahui kemampuan maksimum silika gel jerami padi sebagai adsorben dalam menyerap ion logam krom heksavalen dalam limbah artifisial sebagai adsorbat. Hasil penelitian dapat menunjukkan kemampuan penyerapan adsorben terhadap ion  $Cr^{6+}$  dalam limbah artifisial pada berbagai variasi konsentrasi adsorbat. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, didapatkan grafik hubungan antara konsentrasi awal  $Cr^{6+}$  dengan kapasitas adsorpsi yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.5**.



Sumber: Data penelitian (2018)

**Gambar 4.5** Kurva Hubungan Kapasitas Adsorpsi Silika Gel dengan Konsentrasi Awal  $Cr^{6+}$



Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi awal krom heksavalen limbah artifisial maka semakin meningkat pula kapasitas adsorpsi silika gel jerami padi. Hubungan antara kapasitas adsorpsi silika gel jerami padi dengan konsentrasi awal krom heksavalen dalam limbah artifisial memiliki linearitas ( $R^2$ ) sebesar 0,93894 atau 93,89%. Keadaan ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi awal limbah, semakin banyak jumlah ion logam yang dapat terikat pada permukaan silika gel dan mencapai titik optimum pada konsentrasi tertentu, kemudian mencapai titik jenuhnya (Fathonah, 2012).

Hasil perhitungan statistik uji ANOVA terhadap data kapasitas adsorpsi maksimum silika gel jerami padi terhadap ion logam krom heksavalen (**Lampiran 11**) menunjukkan bahwa  $F_{hitung} > F_{tabel}$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kapasitas adsorpsi maksimum silika gel tiap perlakuan (konsentrasi  $Cr^{6+}$  limbah artifisial sebelum adsorpsi) memiliki perbedaan yang nyata dan signifikan pada taraf kepercayaan 5%. Nilai pembeda antar rata-rata populasi sampel tiap perlakuan yaitu 0,45. Hasil uji lanjut BNT 5% terhadap data rata-rata kapasitas adsorpsi maksimum dari perlakuan konsentrasi awal 10 mg/L tidak berbeda nyata dengan konsentrasi awal 15 mg/L, namun pada perlakuan konsentrasi awal 15 mg/L memiliki kapasitas maksimum silika gel yang berbeda nyata terhadap perlakuan 5 mg/L dan 20 mg/L. Sedangkan kapasitas maksimum silika gel pada perlakuan 20 mg/L dan 30 mg/L tidak terdapat perbedaan yang nyata antara keduanya. Jadi dapat disimpulkan bahwa meskipun kapasitas maksimum silika gel jerami padi terhadap ion krom heksavalen dalam limbah artifisial meningkat seiring meningkatnya konsentrasi perlakuan, adsorpsi optimumnya pada perlakuan konsentrasi awal 20 mg/L. Sebab antara perlakuan 20 mg/L dan 30 mg/L tidak memiliki perbedaan yang signifikan.



Persamaan adsorpsi isotermal merupakan gambaran interaksi antara jumlah ion logam krom (VI) yang teradsorpsi dengan dan konsentrasi zat yang belum teradsorpsi dalam fase cair (Salam, 2011). Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme penjerapan silika gel jerami padi terhadap ion logam krom (VI) yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Isoterm Langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi *monolayer* atau satu lapis, sehingga adsorpsi hanya terjadi pada permukaannya saja (Purnama, 2016). Konsep adsorpsi menurut isoterm Langmuir yaitu pada permukaan adsorben terdapat situs aktif bersifat homogen yang proporsional dengan luas permukaan, setiap situs aktif hanya mengadsorpsi satu molekul adsorbat saja, sedangkan isoterm Freundlich menganut konsep adsorpsi yang terjadi secara fisorpsi atau banyak lapisan, sehingga permukaan adsorben bersifat heterogen (Khadijah, 2017).

Penentuan adsorpsi maksimum dengan metode isoterm Langmuir pada silika gel jerami padi terhadap ion logam  $\text{Cr}^{+6}$  dilakukan dengan menghitung nilai penurunan konsentrasi ion logam  $\text{Cr}^{+6}$  yang telah diadsorpsi oleh silika gel jerami padi per gram massa silika gel atau disimbolkan sebagai  $x/m$  dalam satuan mg/gr. Data yang dibutuhkan selanjutnya antara lain  $C_e$  (konsentrasi  $\text{Cr}^{6+}$  limbah setelah diadsorpsi dalam ppm) dan nilai  $C_e/(x/m)$  yang didapat dari pembagian nilai  $C_e$  terhadap nilai  $x/m$  tiap sampel. Sedangkan untuk metode isoterm Freundlich dibutuhkan data nilai  $\log(x/m)$  dan  $\log C_e$  yang didapat dengan cara melogaritmakan nilai masing-masing  $x/m$  dan  $C_e$ . Perhitungan tersebut dilakukan dengan aplikasi Microsoft Excel 2010 yang hasilnya dapat dilihat di **Tabel 4.6** dan untuk perhitungannya dapat dilihat di **Lampiran 12**.



**Tabel 4.6** Hasil Perhitungan Konsentrasi  $C_{r^{6+}}$  Teradsorpsi Oleh Silika Gel Jerami Padi Dengan Variasi Konsentrasi Awal

Sampel	$C_o$ (ppm)	$C_e$ (ppm)	Volume Limbah (L)	$C_{\text{teradsorpsi}}$ ( $C_o - C_e$ )	X (g)	X/m (mg/g)
						BNT 5% = 0,45
C <sub>1</sub>	5	4,36	0,2	0,64	0,000128	0,1279 a
C <sub>2</sub>	10	7,26	0,2	2,74	0,000549	0,5486 ab
C <sub>3</sub>	15	11,37	0,2	3,63	0,000725	0,7253 b
C <sub>4</sub>	20	11,46	0,2	8,53	0,001707	1,7067 c
C <sub>5</sub>	30	19,37	0,2	10,63	0,002126	2,1260 c

Sumber: Data Penelitian (2018)

Untuk mendapatkan persamaan dan nilai koefisien, pada isoterm adsorpsi Langmuir dilakukan dengan cara pembuatan grafik hubungan  $C_e/(x/m)$  terhadap  $C_e$ , sedangkan isoterm adsorpsi Freundlich dilakukan dengan pembuatan grafik hubungan  $\log x/m$  terhadap  $\log C_e$ . Pembuatan grafik juga dilakukan dengan aplikasi Microsoft Excel 2010 menggunakan data yang terdapat di **Tabel 4.7**.

**Tabel 4.7** Data Penentuan Konstanta Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

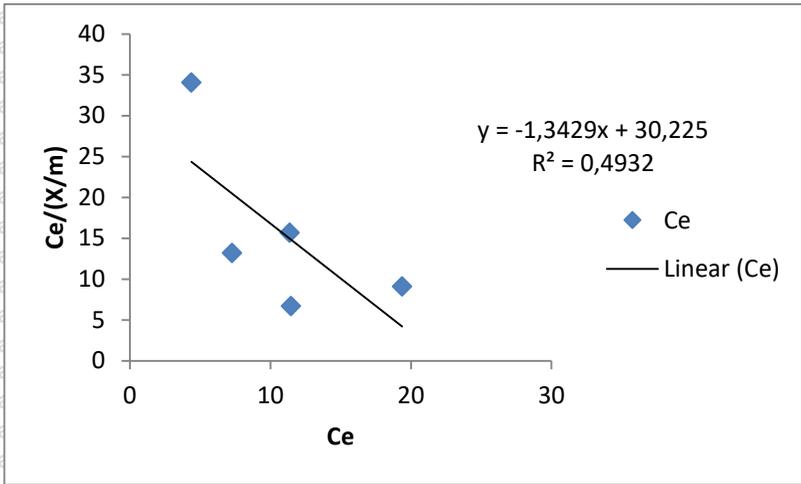
Sampel	Langmuir		Freundlich	
	$C_e$	$C_e/(x/m)$	Log $C_e$	Log $(x/m)$
C <sub>1</sub>	4,3607	34,1032	-0,8932	0,6396
C <sub>2</sub>	7,2570	13,2282	-0,2607	0,8608
C <sub>3</sub>	11,3733	15,6801	-0,1395	1,0559
C <sub>4</sub>	11,4667	6,7188	0,2321	1,0594
C <sub>5</sub>	19,3700	9,1110	0,3276	1,2871

Sumber: Data Penelitian (2018)

Persamaan grafik yang dihasilkan berupa persamaan linear singular yaitu dalam bentuk  $y = ax + b$ , dan dihasilkan koefisien korelasi ( $R^2$ ) antara data pada sumbu x dan y yang menunjukkan linearitas tiap adsorpsi isotermal. Jika koefisien korelasi ( $R^2$ ) semakin mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa data-data yang diperoleh dari penelitian ini sesuai

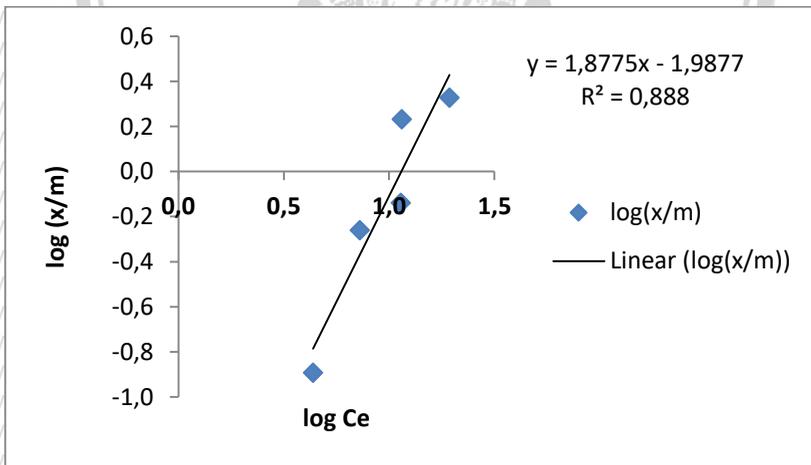


dengan model kesetimbangan adsorpsi tersebut. Grafik isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich yang diperoleh dapat dilihat pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**.



Sumber: Data penelitian (2018)

**Gambar 4.6** Grafik Persamaan Adsorpsi Isotermal Langmuir



Sumber: Data penelitian (2018)

**Gambar 4.7** Grafik Persamaan Adsorpsi Isotermal Freundlich

Berdasarkan kedua grafik yang diperoleh dapat diketahui bahwa data yang diperoleh dalam penelitian ini lebih mengikuti



model persamaan kesetimbangan adsorpsi isoterm Freundlich. Karena nilai koefisien korelasi dari persamaan linier model isoterm Freundlich lebih besar dan lebih mendekati 1 dibandingkan nilai  $R^2$  model isoterm Langmuir yaitu 0,888 atau 88,80%, sedangkan  $R^2$  model isoterm Langmuir bernilai 0,4932 atau 49,32%. Persamaan linear yang diperoleh pada model isoterm Langmuir yaitu  $y = -1,3429x + 20,225$ , sedangkan persamaan linear untuk model isoterm Freundlich yaitu  $y = 1,8775x - 1,9877$ .

**Tabel 4.8** Nilai Konstanta Persamaan Adsorpsi Isotermal

Model Isoterm	Konstanta	Nilai Konstanta
Langmuir	a	-0,7447 mg/g
	b	-0,0444 L/mg
Freundlich	n	0,5326 L/mg
	K	0,051428

*Sumber:* Data penelitian (2018)

Persamaan garis linear model isoterm Langmuir dan model isoterm Freundlich yang diperoleh kemudian diinterpretasikan pada persamaan (7) dan (8). Menurut model isoterm Langmuir terdapat konstanta a menggambarkan jumlah adsorbat yang dijerap atau kapasitas adsorpsi untuk membentuk lapisan sempurna pada permukaan adsorben, sedangkan untuk konstanta b merupakan konstanta yang bertambah nilainya dengan kenaikan ukuran molekuler yang menunjukkan kekuatan ikatan molekul adsorbat pada adsorben. Menurut persamaan isoterm Freundlich terdapat konstanta n dan K yang nilainya tergantung pada suhu, adsorben, dan unsur-unsur yang dijerap. Konstanta n menggambarkan intensitas dari adsorpsi, sedangkan nilai konstanta K menunjukkan kapasitas adsorpsi dari adsorben (Victoria, 2009). Nilai konstanta a, b, n, dan K pada isoterm adsorpsi dalam **Tabel 4.8** tidak dapat dibandingkan satu sama lain, karena asumsi atau konsep adsorpsi keduanya berbeda.



Nilai konstanta isoterm yang diperoleh kemudian dapat digunakan untuk menghitung besar penurunan konsentrasi ion logam krom heksavalen dalam suatu larutan dengan menimbang berapa gram silika gel daun tebu yang dibutuhkan per 200 mL air yang mengandung kontaminan logam krom heksavalen atau menghitung penurunan konsentrasi agar hasilnya sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan yaitu tidak lebih dari 0,05 ppm.

Dikarenakan data untuk isoterm Freundlich dalam penelitian ini lebih linear dari isoterm Langmuir, maka penentuan adsorpsi maksimum yang lebih sesuai untuk diterapkan adalah isoterm Freundlich. Oleh karena itu, mekanisme adsorpsi silika gel terhadap ion logam krom heksavalen dalam limbah artifisial cenderung berlangsung secara fisisorpsi, karena ion logam  $\text{Cr}^{6+}$  terperangkap dalam struktur silika gel yang berpori. Silika gel jerami padi juga tergolong sebagai silika yang amorf dan terdiri dari partikel dalam bentuk  $(\text{SiO}_2)_n$ .

Silika gel memiliki ukuran pori-pori yang besar sehingga silika gel merupakan adsorben alami, sehingga terdapat ruang pengunci yang memberi media dengan luas permukaan yang besar. Ruang tersebut menyebabkan timbulnya gaya van der Waals antara permukaan adsorben dan ion logam  $\text{Cr}^{6+}$ . Gaya van der Waals terjadi ketika gaya tarik molekul antara larutan dan permukaan media lebih besar daripada gaya tarik substansi terlarut dan larutan, sehingga zat terlarut tersebut dapat diadsorpsi ke permukaan adsorben. Gaya tarik menarik tersebut timbul akibat fluktuasi distribusi muatan dalam silika gel jerami padi dan ion logam krom heksavalen (Mar'atus, 2012).



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang penurunan kadar ion logam krom heksavalen menggunakan silika gel hasil sintesis dari jerami padi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan seperti di bawah ini.

1. Hasil analisis FTIR silika gel jerami padi menunjukkan karakteristik silika gel yaitu adanya gugus fungsi silanol dan siloksan pada permukaannya yang mampu mengadsorpsi ion logam krom heksavalen dalam limbah.
2. Efisiensi adsorpsi terbesar terjadi pada limbah dengan konsentrasi awal 20 ppm yaitu sebesar 42,67%.
3. Persamaan isoterm Freundlich lebih sesuai dalam menentukan adsorpsi maksimum silika gel jerami padi terhadap ion logam  $\text{Cr}^{6+}$  dalam limbah artifisial dibandingkan persamaan isoterm Langmuir dengan korelasi linear ( $R^2$ ) sebesar 0,888, dengan nilai konstanta  $n = 0,0514$  dan  $K = 0,5326$  L/mg.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis terkait penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut.

1. Penelitian lanjutan yang perlu dilakukan yaitu menurunkan pH awal limbah supaya ion logam  $\text{Cr}^{6+}$  lebih terionisasi dan lebih optimum lagi penurunan konsentrasinya hingga ambang baku mutu.
2. Untuk produksi silika gel secara komersial sebaiknya lebih mengoptimumkan lagi proses presipitasi dan pematangan hidrogelnya supaya massa silika gel kering yang didapat lebih banyak.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fatlawy, Y.F.K., Majeed, M.R., Dhedan, B.M.. 2016. **Study of the Efficiency of Extracted Silica from Rice Husk Ash in Reducing the Concentration of Some Heavy Metal in Industrial Wastewater.** Iraqi Journal of Science. 57(1A): 66-71
- Aman, P.S.U.. 2013. **Pengaruh Suhu dan Waktu pada Ekstraksi Silika dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara.** Prosiding SNTK TOPI 2013. ISSN. 1907-0500. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Astuti, H. R. M.. 2016. **Sintesis Silika Gel dari Limbah Daun Tebu untuk Menurunkan Konsentrasi Ion Logam Besi (Fe).** Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Badan Pengkajian Teknologi Pertanian NTB. 2011. **Pemanfaatan jerami Sebagai Sumber Pakan Potensial.** Dilihat 1 Maret 2018. [http://ntb.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php?option=com\\_content&view=article&id=572:pemanfaatan-jerami-sebagai-sumber-pakan-potensial&catid=49:info-teknologi&itemid=81](http://ntb.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php?option=com_content&view=article&id=572:pemanfaatan-jerami-sebagai-sumber-pakan-potensial&catid=49:info-teknologi&itemid=81)
- Badan Penyuluhan Dan Pengembangan SDM Pertanian. 2015. **Panen Dan Pengelolaan Pasca Panen Padi.** Dalam Pelatihan Teknis Budidaya Panen Padi Bagi Penyuluh Pertanian Dan Babinsa. Pusat Pelatihan Pertanian
- Badan Standarisasi Nasional. 2009. **SNI 6989.71:2009 tentang Air dan Air Limbah.** Bagian 71: Cara Uji Krom Heksavalen. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Fathonah, R.S., Mahardiani, L., Sukardjo, J.S.. 2012. **Preparasi dan Aplikasi Silika Gel yang Bersumber Dari Biomassa Untuk Adsorpsi Logam Berat.** Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV. Surakarta. Universitas Negeri Surakarta.



- Giacinta, M. A. S., Salimin, Z., dan Junaidi. 2013. **Pengolahan Logam Berat Khrom (Cr) Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Dengan Proses Koagulasi Flokulasi dan Presipitasi**. Jurnal Teknik Lingkungan. 2(2)
- Handayani, P.A., Nurjanah, E., dan Rengga, W.D.P. 2015. **Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel**. Jurnal Bahan Alam Terbarukan. 4(2): 55-59
- Kalpathy, U., Proctor, A., Shults, J. 2000. **A Simple Method for Production of Pure Silica From Rice Hull Ash**. Bioresource Technology. 73: 257-262
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., Olam, Z. 2014. **Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite**. Energy Procedia. 50: 113-120
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah**. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Kementrian Pertanian RI. 2017. **Produksi Padi Menurut Provinsi, 2013 – 2017**. Dilihat 22 Januari 2018. [http://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TP-ARAM%20II%202017\(pdf\)/20-ProdPadi.pdf](http://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TP-ARAM%20II%202017(pdf)/20-ProdPadi.pdf)
- Khadijah, M. dan Sulastri, S.. 2017. **Isoterm Adsorpsi Kation Mg(II) Oleh Silika Gel Dari Bagasse Tebu**. 6(3): 90-97
- Khopkar, S. M. 1990. **Konsep Dasar Kimia Analitik**. UI Press. Jakarta.
- Kusumaningtyas, Arum. 2017. **Cerita Padi: IR64 dan Inpari**. Dilihat 4 Desember 2018. [redaksiindonesia.com](http://redaksiindonesia.com)
- Makarim, A. Karim dan Suhartatik, E. 2009. **Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi**. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Subang. Hal. 296-308
- Mar'atus, I.S. dan Saputro, A.N.C. 2012. **Preparasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Logam Nikel**



**(Ni) Dalam Limbah Elektroplating.** Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV. Surakarta. Universitas Negeri Surakarta.

Mathew, B.B., Jaishankar, M., Biju, V.G. dan Beeregowda, K.N.. 2016. **Role of Bioadsorbents in Reducing Toxic Metals.** Journal of Toxicology. 2016(4369604): 1-13

Maulida, W., Mahmud, Mu'min, B.. 2015. **Studi Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Krom Heksavalen (Cr<sup>6+</sup>) Terhadap Adsorben Gambut dengan Sistem Batch.** Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.

Miller, R.. 2006. **The Elements: What You Really Want To Know.** Twenty-First Century Books. Minneapolis.

Mulida, W., Mahmud, M. dan Badaruddin. 2015. **Studi Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Krom Heksavalen (Cr<sup>6+</sup>) Terhadap Adsorben Gambut Dengan Sistem Batch.** Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.

Myers, R.L.. 2007. **The 100 Most Important Chemical Compounds.** Greenwood Press. London. Hal.244-245

Nandiyanto, A.B.D., Rahman, T., Fadhlulloh, M.A., Abdullah, A.G. Hamidah, I., dan Mulyanti, B. 2016. **Synthesis Of Silica Particles From Rice Straw Waste Using A Simple Extraction Method.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Narin, I., Surme, Y., Soylak, M., dan Dogan M. 2006. **Speciation of Cr(III) and Cr(VI) in Environmental Samples by Solid Phase Extraction on Ambersorb 563 Resin.** J.Hazard Mater B.. 136: 579-584

Nurhasni, Hendrawati, dan Saniyyah, N. 2010. **Penyerapan Ion Logam Cd dan Cr Dalam Air Limbah Penggunaan Sekam Padi.** Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

Oscik. 1982. **Adsorption.** Ellis Horwood Limited. England.



Palvia, D.L., Lampman, G.M., dan Kriz, G.S. 1979. **Introduction To Spectroscopy: A Guide For Students of Organic Chemistry.** Harcourt Brace College Publishers. New York.

Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001a Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Prabowo, D.. 2016. **Uji Efektivitas Bio-Insektisida Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum* L.) dan Rimpang Jeringau (*Acorus Calamus* L.) Terhadap Hama Wereng Coklat (*Nilaparvata Lugens*) pada Tanaman Padi.** Skripsi. Universitas Medan Area. Medan.

Purnama, H. dan Kurnianto, A.R.. 2016. **Pemanfaatan Tongkol Jagung Untuk Adsorpsi Zat Warna *Reactive Blue* 19.** 3<sup>rd</sup> Research Coloqium 2016. 41-47

Putra, G. H.. 2013. **Adsorpsi Timbal Dengan Hibrida Merkupto-Silika Dari Abu Jerami Padi.** Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Radojević, Miroslav dan Bashkin, Vladmir N. 1999. **Practical Environmental Analysis.** The Royal Society of Chemistry. Cambridge.

Rajput, N.. 2015. **Methods Of Preparation Of Nanoparticles – A Review.** International Journal of Advances in Engineering & Technology. 7(4): 1806-1811

Salam, O.E.A., Reiad, N.A., dan ElShafei, M.M.. 2011. **A Study Of The Removal Characteristics Of Heavy Metals From Wastewater By Low-Cost Adsorbents.** Journal of Advanced Research. (2): 297–303

Sari, N. K.. 2010. **Analisa Instrumentasi.** Yayasan Humaniora. Yogyakarta.

Sastrohamidjojo, H. 1992. **Spektroskopi Inframerah: Cetakan Pertama.** Penerbit Liberti. Yogyakarta.

Sastrohamidjojo, H. 2001. **Kimia Dasar.** Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.



Sekarnurani, D.A.. (2017). **Analisis Pendapatan Petani Padi Pada Anggota Gapoktan Sumber Mulyo Desa Banjaran Kecamatan Bangsri Kabupaten Jepara**. Skripsi. Universitas Diponegoro. Semarang.

Sholikha, I., Friyatmoko, W.K., Utami, E.D.S., dan Widyaningsih, D. 2010. **Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel Dari Limbah Abu Sekam Padi (*Oryza Sativa*) Dengan Variasi Konsentrasi Pengasaman**. Jurnal Penelitian Mahasiswa UNY. V (2): 1-13

Silverstein, R.M., Bassler, G.C., Morrill, T.C. 1991. **Spectrometric Identification of Organic Compounds, 4<sup>th</sup> Edition**. John Wiley and Sons Inc.. New York.

Singh, N. dan Gupta, S.K. 2016. **Adsorption of Heavy Metals: A Review**. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 5(2): 2267-2281

Sriyanti, T, Nuryono dan Narsito. 2005. **Pengaruh Keasaman Medium dan Imobilisasi Gugus Organik Pada Karakter Silika Gel Dari Abu Sekam Padi**. J. Kim. Sains & Apl. VIII (3): 74-80

Sugihartono. 2016. **Pemisahan Krom Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Gelatin dan Flokulan Anorganik**. Majalah Kulit, Karet dan Plastik. 32(1): 21-30

Suka, I.G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., Trisnawati, E.. 2008. **Karakteristik Silika Sekam Padi Dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi**. MIPA. 37(1): 47-52

Sulardjo. 2013. **Pemanfaatan Limbah Padi Untuk Industri**. Magistra. 25(84): 81-90

Sulastri, S. dan Kristianingrum, S.. 2010. **Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi Dan Pemanfaatan**. Prosiding Seminar Nasional Penelitian,



- Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, hal.211-216
- Sumami. 2009. **Uji Krom Heksavalen (Cr(VI)) Secara Ekstraksi Dan Penentuannya Dengan Spektrofotometri Serapan Atom**. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Syaf, A.H.. 2005. **Karakteristik Industri Pengolahan Kulit dan Dampak Limbah Terhadap Lingkungan Sosial Ekonomi Masyarakat Sekitar (Studi Kasus Sentra Industri Kulit Sukaregang Kabupaten Garut Jawa Barat)**. Tesis. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Victoria. 2009. **Adsorpsi Asam Lemak Bebas Dan Zat Warna Menggunakan Campuran Kaolin-Limbah Padat Tapioka**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Wibowo, E.A.P., Arzanto, A.W., Maulana, K.O., Hardayanti, I.K., Septyaningsih, D.H., dan Widiarti, N. 2017. **Preparation and Characterization of Silica Nanoparticles from Rice Straw Ash and Its Application as Fertilizer**. Journal of Chemical Pharmaceutical Research. 9(10): 193-199
- Yunus, M.. 2017. **Penetapan Kadar Silika Pada Batu Granit Dengan Metode Gravimetri**. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara. Medan.

